

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

к. екон. наук, доцент

Вячеслав ФОМЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Освітньої програми «Геодезія та землеустрій»

За спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»

ПРОЄКТ СТВОРЕННЯ ГЕОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА ДЛЯ ПОТРЕБ АГРОСКАУТИНГУ

Науковий керівник: ст.викладач

каф. геодезії, землеустрою та земельного
кадастру,

Ольга ПАНАСЮК

Рецензент:

Лідія СМОЛЕНСЬКА

Виконав здобувач денної форми навчання

Сергій ЧЕБАН

Засвідчую, що кваліфікаційна робота

містить результати власних досліджень.

Використання ідей і текстів інших авторів

має посилання на відповідне джерело

Сергій ЧЕБАН

ОДЕСА – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет геодезії, землеустрою та агроінженерії
Кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру
Освітній рівень другий (магістерський)
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
В.о. завідувача кафедри

к.е.н., доцент В'ячеслав ФОМЕНКО

«_____» _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Сергію ЧЕБАНУ

(прізвище, ім'я, по батькові ЗВО)

1. Тема роботи: Проєкт створення географічної інформаційної системи сільськогосподарського підприємства для потреб агроסקаутингу

Керівник роботи: ст.викладач каф. геодезії, землеустрою та земельного кадастру Ольга ПАНАСЮК, затверджений наказом закладу вищої освіти від «4» лютого 2026 р. № 09-з.

2. Строк подання здобувачем роботи 12.06.2026

3. Вихідні дані до роботи: планово-картографічний матеріал в масштабі 1:10000 на район робіт, перелік нормативних документів, методичні рекомендації з використання програмного забезпечення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, огляд нормативних джерел та спеціальної літератури за темою кваліфікаційної роботи, створення географічної інформаційної системи, просторовий аналіз, статистична обробка та візуалізація даних, ГІС як основа агроסקаутингу, висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): План господарства ФГ «Чебан», Проєкт ГІС для потреб агроסקаутингу ФГ «Чебан», Проєктні поля спостережень агроסקаутингу ФГ «Чебан»

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи (кваліфікаційного проєкту)	Строк виконання етапів КР	Примітка
1	Отримання завдання та об'єкту робіт. аналітичний огляд літератури та спеціальної літератури з питань ГІС.		
2	Написання розділу: Створення географічної інформаційної системи. Розробка креслення: План господарства ФГ «Чебан»		
3	Написання розділу: Створення географічної інформаційної системи Розробка креслення: проєкт ГІС для потреб агроסקаутингу ФГ «Чебан»		
4	Написання розділів: Просторовий аналіз, статистична обробка та візуалізація даних: ГІС як основа агроסקаутингу Розробка креслення: Проєктні поля спостережень агроסקаутингу ФГ «Чебан»		
5	Оформлення кваліфікаційної роботи в цілому. Перевірка на плагіат. Попередній захист на кафедрі		

Здобувач ОС «Бакалавр»

_____ (підпис)

Сергій ЧЕБАН

Науковий керівник

_____ (підпис)

Ольга ПАНАСЮК

Гарант ОПІ

Тетяна МОВЧАН

РЕФЕРАТ

Проект створення географічної інформаційної системи сільськогосподарського підприємства для потреб агроскаутингу. Сергій ЧЕБАН. Кваліфікаційна робота. ОДАУ, кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру. 2026. 75 с. текстової частини, 17 таблиць, 7 рисунків, 3 вкладки.

Текстова частина включає: вступ, огляд нормативних джерел та спеціальної літератури за темою кваліфікаційної роботи, створення географічної інформаційної системи, просторовий аналіз, статистична обробка та візуалізація даних, ГІС як основа агроскаутингу, висновки.

Графічна частина включає: План господарства ФГ «Чебан», Проект ГІС для потреб агроскаутингу ФГ «Чебан», Проектні поля спостережень агроскаутингу ФГ «Чебан»

Ключові слова: ГЕОГРАФІЧНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, АГРОСКАУТИНГ, ПРОСТОРОВА ТА АТРИБУТИВНА ІНФОРМАЦІЯ, СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКЕ ПІДПРИЄМСТВО.

В кваліфікаційній роботі розкрито нормативно-методичне обґрунтування та практичне виконання розробки географічної інформаційної системи на прикладі території сільськогосподарського підприємства для потреб агроскаутингу.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НОРМАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ТА СПЕЦІАЛЬНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	7
РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ ГЕОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	15
2.1 Основи створення ГІС з врахуванням цільового призначення	15
2.2 Створення проєкту ГІС та його оформлення	25
2.3 Просторова інформації для створення географічної інформаційної системи	36
2.4 Атрибутивна інформація для створення географічної інформаційної системи	44
РОЗДІЛ 3. ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ, СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ	51
3.1 Розрахунок метричних характеристик	51
3.2 Розрахунок статистичних характеристик	54
3.3 Складання діаграми за результатами розрахунків	56
РОЗДІЛ 4. ГІС ЯК ОСНОВА АГРОСКАУТИНГУ	59
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	70
ДОДАТКИ	
ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ	
1. План господарства ФГ «Чебан»	
2. Проєкт ГІС для потреб агроскаутингу ФГ «Чебан»	
3. Проєктні поля спостережень агроскаутингу ФГ «Чебан»	

ВСТУП

Сільське господарство України займає важливе місце в економіці країни. При цьому ефективне управління угіддями та своєчасний контроль стану посівів напрямку впливають на врожайність і витрати підприємства. Одним із сучасних інструментів такого управління є географічні інформаційні системи (ГІС), які дозволяють зберігати, аналізувати і відображати просторові дані про поля, угіддя та стан рослин.

Агроскаутинг є одним із сучасних методів контролю стану посівів у процесі вирощування сільськогосподарських культур. Під час обстеження полів агроном фіксує появу бур'янів, шкідників, хвороб рослин та інших факторів, які можуть негативно впливати на врожайність. На практиці результати таких обстежень часто записують у таблиці або паперові журнали, що не завжди дозволяє швидко аналізувати інформацію та визначати проблемні ділянки поля. Використання ГІС дає можливість поєднати результати спостережень із координатами місцевості та відобразити їх безпосередньо на карті господарства.

Актуальність теми полягає у тому, що сучасне сільське господарство поступово переходить до використання цифрових технологій для управління виробничими процесами. Географічні інформаційні системи дозволяють швидше обробляти просторові дані, контролювати стан посівів та приймати більш обґрунтовані рішення під час проведення агротехнічних заходів. Для більшості середніх господарств впровадження ГІС є перспективним напрямом підвищення ефективності агровиробництва та організації агроскаутингу.

Мета роботи – розробити та наповнити ГІС сільськогосподарського підприємства, яка включає просторові та атрибутивні дані, необхідні для проведення агроскаутингу, і показати, як ця ГІС може використовуватися на практиці.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– вивчити нормативно-правову базу та спеціальну літературу за темою;

- визначити склад і структуру ГІС для потреб агроскаутингу;
- створити проєкт ГІС в програмному комплексі: завантажити растрову підоснову, виконати геопросторову прив'язку, створити та наповнити векторні шари;
- сформувати просторову та атрибутивну інформацію господарства;
- виконати просторовий аналіз: розрахувати метричні та статистичні характеристики угідь;
- показати, як створена ГІС застосовується для потреб агроскаутингу.

Об'єкт дослідження – система просторових і атрибутивних даних сільськогосподарського підприємства.

Предмет дослідження – методи та засоби створення ГІС для потреб агроскаутингу на базі програмного комплексу для створення ГІС.

Отже, тематика кваліфікаційної роботи відповідає сучасним вимогам цифровізації, актуальна в умовах розвитку аграрного сектору, землеустрою та впорядкування угідь.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД НОРМАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ТА СПЕЦІАЛЬНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Поява географічних інформаційних систем пов'язана з розвитком методів просторового аналізу та картографування. Одним із перших прикладів використання просторового аналізу вважають карту Джона Сноу, створену під час епідемії холери у Лондоні в XIX столітті. У подальшому розвиток комп'ютерної техніки дозволив перейти до створення цифрових карт і перших геоінформаційних систем. Починаючи з 1980-х років, ГІС-технології активно впроваджуються у різних сферах діяльності, зокрема і в сільському господарстві.

Правова база, що регулює створення та використання географічних інформаційних систем (ГІС) в Україні, формується комплексом нормативно-правових актів різного рівня – від Конституції до галузевих стандартів. Для сільськогосподарського підприємства, що впроваджує ГІС для агроскаутингу, особливого значення набуває розуміння ієрархії цих документів та їх практичного змісту.

Основоположним документом у сфері геопросторових даних є Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» від 13.04.2020 № 554-IX. Цей закон встановлює правові та організаційні засади створення і функціонування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні. Закон визначає ключові терміни – «геопросторові дані», «геоінформаційна система», «метадані», «геопортал» – і закріплює принципи роботи з геоінформацією: актуальність, достовірність, відкритість, інтероперабельність та інноваційність. Для підприємств, які розробляють власні ГІС, документ є основою щодо стандартів збору та зберігання просторових даних [17].

На підставі зазначеного закону Кабінет Міністрів України прийняв Постанову КМУ «Про затвердження Порядку функціонування національної

інфраструктури геопросторових даних» від 26.05.2021 № 532. Цей документ конкретизує пункти реалізації положень закону на практиці. Зокрема, Порядок визначає вимоги до оприлюднення геопросторових даних через офіційні вебсайти або геопортали, регулює питання взаємодії між різними держателями геоданих та встановлює стандарти відповідно до міжнародних норм ISO та ДСТУ. Для сільськогосподарських підприємств важливим є положення про відкритий доступ до базових геопросторових наборів даних, які можна використовувати для агромоніторингу [13].

Ключовим нормативним актом у галузі земельних відносин є Земельний кодекс України від 25.10.2001 № 2768-III. Кодекс регулює відносини щодо використання та охорони земель, визначає категорії земель сільськогосподарського призначення, порядок ведення державного земельного кадастру та права землевласників і землекористувачів. У контексті агроסקаутингу Земельний кодекс є нормативною основою для ідентифікації та обліку земельних ділянок, що підлягають моніторингу: він встановлює, які саме відомості про земельну ділянку мають бути задокументовані та яким чином вони зберігаються у державних реєстрах [4].

Важливим документом є Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» від 23.12.1998 № 353-XIV зі змінами. Він регулює відносини у сфері топографо-геодезичної та картографічної діяльності, встановлює вимоги до якості геодезичних і картографічних матеріалів, що використовуються як основа для ГІС. Закон визначає державну геодезичну референцну систему координат, систему висот та систему гравіметричних вимірювань, дотримання яких є обов'язковим для підприємств, що формують власні геопросторові бази даних у рамках агроסקаутингових проєктів [19].

Особливе місце займає Закон України «Про землеустрій» від 22.05.2003 № 858-IV. Відповідно до статті 7 цього закону, правову основу землеустрою становлять Конституція України, Земельний кодекс, Закон про топографо-

геодезичну і картографічну діяльність, Закон про національну інфраструктуру геопросторових даних та інші нормативні акти. Відповідний закон регламентує розробку документації із землеустрою, яка є невід'ємною частиною даних для будь-якої ГІС сільськогосподарського підприємства: проекти відведення, технічна документація на межування, матеріали ґрунтового обстеження тощо [16].

Стратегічним документом, що визначає цілі цифровізації аграрного сектору, є Розпорядження КМУ «Про схвалення Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках» від 15.11.2024 № 1163-р. Стратегія визначає як пріоритет модернізацію та цифровізацію аграрного сектору, включаючи впровадження систем дистанційного моніторингу полів, цифрових технологій для управління агропідприємствами, оптимізацію використання добрив і засобів захисту рослин. Документ прямо підтримує розвиток агроскаутингових систем на базі ГІС як інструменту підвищення ефективності землекористування [18].

Законодавче регулювання охорони персональних і ділових даних при роботі з ГІС забезпечує Закон України «Про захист персональних даних» від 01.06.2010 № 2297-VI. Оскільки ГІС сільськогосподарського підприємства може містити відомості про власників земельних ділянок, орендодавців та інших фізичних осіб, закон встановлює вимоги до збору, зберігання та обробки таких відомостей. Підприємство, що розробляє ГІС, зобов'язане дотримуватись принципів законності обробки даних, визначеності мети та відповідного рівня захисту [15].

Технічні вимоги до геопросторових даних та ГІС регламентуються стандартами серії ДСТУ ISO 19100 та Технічними вимогами до специфікацій геопросторових даних національної інфраструктури геопросторових даних (Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України 10 листопада 2021 року № 347). Зокрема, ДСТУ ISO 19131:2019 «Географічна інформація. Специфікація геоінформаційного продукту» – це національний стандарт України, який

встановлює вимоги до опису та змісту специфікацій наборів геопросторових даних. Стандарт є ключовим документом для створення Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) в Україні. Він визначає Структуру специфікації (Як саме розробник має описувати набір даних (метадані, систему координат, якість, способи постачання тощо); інтероперабельність (Забезпечує можливість спільного використання даних різними організаціями та системами завдяки єдиному підходу до їх опису); вимоги до технічної документації [2].

З точки зору цифрового обміну сільськогосподарськими даними важливим є Закон України «Про електронні документи та електронний документообіг» від 22.05.2003 № 851-IV. Закон встановлює основні організаційно-правові засади електронного документообігу та використання електронних документів, визначає поняття електронного документа, електронного підпису та порядок їх застосування. Для ГІС, яка генерує звіти агроскаутингу, фіксує стан полів та передає ці дані різним підрозділам підприємства, норми цього закону регулюють юридичну силу такої документації [11].

Постанова КМУ «Про затвердження Порядку ведення державного земельного кадастру» від 17.10.2012 № 1051 також визначає важливі елементи. Порядок регулює формування, ведення та використання відомостей державного земельного кадастру, що є основним джерелом офіційних даних про земельні ділянки в Україні. Для агроскаутингової ГІС кадастрові відомості є базовим шаром просторових даних: саме на їх основі формуються межі моніторингових ділянок, прив'язуються результати обстежень ґрунтів і визначаються зони агровиробництва [12].

Наукова та навчально-методична база з ГІС є достатньо розвиненою як на міжнародному, так і на вітчизняному рівні. Аналіз ключових джерел дає змогу сформулювати теоретичне підґрунтя для розробки ГІС сільськогосподарського підприємства та визначити кращі практики у сфері агроскаутингу.

Фундаментальним теоретичним джерелом у галузі ГІС є праця нідерландських авторів за редакцією Р. де Бая «Principles of Geographic Information Systems» [34]. Підручник охоплює теоретичні засади ГІС – від просторового представлення даних у векторній та растровій моделях до методів геопросторового аналізу, просторових запитів і тематичного картографування. Особливу цінність становить детальний опис компонентної архітектури ГІС: апаратного та програмного забезпечення, даних, користувачів і методів. Видання використовується в багатьох університетах світу як базовий навчальний матеріал і є відправною точкою для будь-якого дослідника, що вивчає ГІС.

Комплексним вступом до практичного застосування ГІС є класична праця Пола Лонглі, Майкла Гудчайлда та інших «Geographic Information Science and Systems» [46]. Книга охоплює увесь спектр знань про ГІС – від концептуальних основ геопросторового мислення до прикладних методів аналізу даних та впровадження систем у реальних організаціях. Автори детально розглядають просторову статистику, моделювання геопроектів, питання точності та якості даних. Видання стало хрестоматійним у світовій ГІС-освіті й зберігає свою актуальність завдяки всебічному охопленню матеріалу.

«Фундаментом» для вивчення ГІС в українських університетах є перелік навчальної літератури, який охоплює як теорію побудови баз даних, так і практичні алгоритми аналізу.

Самойленко В. М., Корогода Н. П. у своїй праці «Географічні інформаційні системи та технології» [22] детально розглядають архітектуру ГІС, типи моделей даних (растрові, векторні, об'єктно-орієнтовані) та методи цифрування карт. Велика увага приділяється математичним основам – системам координат та картографічним проекціям, без знання яких неможлива коректна робота в програмах. Автори пояснюють життєвий цикл ГІС-проекту: від збору польових даних до візуалізації та створення фінальних карт. Окремий розділ присвячений геоінформаційному моделюванню – створенню цифрових моделей рельєфу (ЦМР)

та проведенню гідрологічного аналізу. Це видання допомагає зрозуміти не просто «на які кнопки тиснути», а як система працює «під капотом».

Світличний О. О., Плотницький С. В. в підручнику «Основи геоінформатики» [23] розкривають системне розуміння ГІС як наукової дисципліни. Головний акцент зроблено на аналітичних функціях ГІС. Книга описує логічні та математичні операції над шарами даних, побудову буферних зон, мережевий аналіз (наприклад, пошук найкоротшого шляху) та статистичну обробку просторової інформації. У посібнику чітко розмежовані поняття ГІС-інструментарію та ГІС-технологій. Описано структуру апаратного та програмного забезпечення, а також роль фахівця в управлінні цими системами. Книга дає гарну базу для розуміння того, як інтегрувати дані дистанційного зондування Землі (супутникові знімки) у середовище ГІС.

Видання Національного університету оборони України у праці «Географічні інформаційні системи» [25] фокусується на актуальному програмному забезпеченні (зокрема, перехід від старого ArcGIS Desktop до ArcGIS Pro та розвиток відкритого QGIS). Розглядаються питання хмарних ГІС та роботи з веб-картами, що зараз є стандартом індустрії. Хоча посібник має військовий ухил, викладені в ньому методи є універсальними. Тут добре розписано роботу з GPS-даними, мобільними ГІС-додатками для збору даних у полі та принципи побудови ситуаційних центрів.

«Геоінформаційні системи у ґрунтознавстві» Ямелинця Т. С. побудований за принципом «крок за кроком». У ньому детально розписані лабораторні роботи: від того, як підвантажити топографічну карту, до створення складних тематичних карт. Велика увага приділяється роботі з атрибутивними таблицями – серцем будь-якої ГІС. Автор вчить правильно заповнювати бази даних, виконувати запити (SQL) та пов'язувати зовнішні таблиці з географічними об'єктами. Це критично важлива навичка для будь-якого ГІС-спеціаліста, незалежно від галузі [29].

В національній системі ГІС значне місце посідає навчальний посібник Павленка Н.А. «Геоінформаційні системи», в якому розкрито проблеми використання геоінформаційних систем та технологій при автоматизації обробки інформації про об'єкти будь-якого походження – штучні чи природні, моніторинг, опис, аналіз, моделювання стану яких і прийняття управлінських рішень щодо поліпшення їх характеристик є неповними без просторового аналізу. Розглянуто питання використання інструментальних засобів пакета ArcGIS 9 фірми ESRI – лідера у сфері ГІС-технологій [10].

Грунтовним практичним керівництвом з відкритого програмного забезпечення ГІС є «QGIS User Guide» [51] – офіційна документація проєкту QGIS, що постійно оновлюється спільнотою. Посібник детально описує можливості QGIS: роботу з векторними і растровими шарами, підключення до просторових баз даних, використання аналітичних інструментів та модулів для дистанційного зондування. В контексті розробки агроскаутингової ГІС QGIS є привабливою платформою завдяки безкоштовній ліцензії, широкій підтримці форматів даних і можливості розширення за допомогою Python-скриптів. Документація є незамінним ресурсом для технічної реалізації проєкту.

Детальний аналіз застосування ГІС в аграрному секторі представлено у збірнику «GIS Applications in Agriculture» за редакцією Ф. Пірса та Д. Клея [50]. Видання охоплює методологію точного землеробства, застосування ГІС для управління ґрунтами, моніторингу врожайності та планування агрохімічних обробок. Автори розглядають конкретні приклади інтеграції ГІС з системами глобального позиціонування (GPS) та технологіями дистанційного зондування для агровиробничих підприємств. Книга є важливим методологічним джерелом для обґрунтування архітектури агроскаутингової ГІС.

Важливими є праці вітчизняних та закордонних вчених із дотичних напрямків – ґрунтознавство, екологія, інноваційні рішення в сільському

господарстві [8, 27, 28, 43, 48, 54, 58, 57], - як база та підґрунтя для створення аграрної ГІС та її подальшого розвитку згідно потреб сучасності.

Агроскаутинг як система моніторингу стану посівів та виявлення агробіологічних загроз є відносно молодого, але динамічно розвиненою галуззю, що синтезує досягнення агрономії, дистанційного зондування та геоінформаційних технологій. Академічна та прикладна література з цієї теми охоплює широкий спектр підходів – від класичних методів польового обстеження до сучасних безпілотних систем моніторингу.

Концептуальну основу точного землеробства – системи, в якій агроскаутинг є одним із ключових інструментів – закладено у праці Д. Кент Шеннона, Девіда Е. Клея, Кеннета А. Саддута «Introduction to Precision Agriculture» [56]. Матеріал ознайомлює з ключовими концепціями точного землеробства: просторовою мінливістю ґрунтових характеристик і врожайності, методами збору просторових даних (GPS, сенсори, дистанційне зондування), системами диференційованого внесення ресурсів. В публікації показано, як агроскаутинг і ГІС інтегруються у замкнений цикл управління агровиробництвом.

Із сучасних вітчизняних технічних видань доцільно відзначити методичні матеріали компанії EOS Data Analytics «Satellite Monitoring in Precision Agriculture» – провідного українського розробника аналітичних ГІС-рішень для сільського господарства. Матеріали описують сучасні алгоритми обробки мультиспектральних супутникових знімків для оцінки стану посівів, автоматизованого виявлення стресових зон та прогнозування врожайності. Для проєкту агроскаутингової ГІС ці матеріали є орієнтиром щодо інтеграції супутникових знімків як одного з основних шарів просторових даних [55].

Проведений огляд нормативних джерел та спеціальної літератури дозволяє зробити висновки, що нормативно-правова база України у сфері геопросторових даних є достатньо розвиненою та формується комплексом законів і підзаконних актів, ключовими серед яких є Закон «Про національну інфраструктуру

геопросторових даних», Земельний кодекс України, Закон «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» та технічні стандарти. Стратегія розвитку сільського господарства України до 2030 року прямо підтримує впровадження цифрових технологій і ГІС в аграрному секторі, що свідчить про державне визнання важливості агроскаутингових систем для підвищення ефективності агровиробництва. Наукова та методична література з ГІС охоплює широкий спектр питань – від теоретичних засад геопросторового аналізу до практичних аспектів точного землеробства та агроскаутингу. Зарубіжні та вітчизняні видання формують теоретичну базу для обґрунтування архітектурних і функціональних рішень агроскаутингової ГІС.

Наявна нормативна база та наукова література підтверджують актуальність та обґрунтованість теми кваліфікаційної роботи – розробки ГІС сільськогосподарського підприємства для потреб агроскаутингу.

РОЗДІЛ 2

СТВОРЕННЯ ГЕОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Основи створення ГІС з врахуванням цільового призначення

Географічні інформаційні системи є потужним інструментом для збору, зберігання, обробки, аналізу та відображення просторово-прив'язаної інформації. У сучасному світі ГІС-технології знайшли широке застосування в різних галузях людської діяльності – від управління природними ресурсами та містобудування до військової справи й охорони навколишнього середовища. Проте особливе місце серед усіх сфер застосування займає сільське господарство, де просторова складова є невід'ємною частиною будь-якого виробничого процесу. Адже, сільськогосподарська діяльність безпосередньо пов'язана з конкретними ділянками земної поверхні, якість і продуктивність яких визначається цілою низкою просторово розподілених факторів.

Перед створенням географічної інформаційної системи необхідно визначити, для яких саме завдань вона буде використовуватись. Від цього залежить склад даних, структура шарів, набір атрибутивної інформації та методи аналізу. Для агроскаутингу ГІС повинна забезпечувати зручний облік польових спостережень, можливість швидкого оновлення інформації та відображення результатів на карті.

Для сільськогосподарської ГІС, орієнтованої на потреби агроскаутингу, цільове призначення полягає у забезпеченні оперативного просторового обліку стану посівів, фіксації осередків ураження шкідниками та хворобами, відстеження динаміки розвитку рослин протягом вегетаційного сезону та підтримки прийняття управлінських рішень щодо проведення захисних і агротехнічних заходів. Таке цільове призначення визначає специфічні вимоги до системи: висока оперативність оновлення даних, зручний інтерфейс для польових операторів,

можливість інтеграції з даними дистанційного зондування Землі та здатність генерувати практично орієнтовані звіти і картографічні матеріали.

Розглядаючи теоретичні основи створення сільськогосподарської ГІС, необхідно звернутися до просторової неоднорідності сільськогосподарських угідь. Вона є основою для розуміння того, навіщо взагалі потрібен просторовий підхід до управління аграрним виробництвом. Сільськогосподарські поля відрізняються між собою за рельєфом, типами ґрунтів, рівнем зволоження та іншими показниками. Навіть у межах одного поля окремі ділянки можуть мати різний стан рослин і різну врожайність. Саме тому використання ГІС дозволяє більш детально аналізувати територію та враховувати особливості окремих ділянок під час ведення господарства.

Важливою теоретичною основою сільськогосподарської ГІС є управлінські зони, які передбачають поділ поля на відносно однорідні ділянки за сукупністю агрономічно значимих ознак. Управлінські зони є просторовою основою для диференційованого внесення добрив, засобів захисту рослин і регуляторів росту в системі точного землеробства. Формування управлінських зон є типовою задачею просторового аналізу в ГІС і базується на оверлеї та класифікації множини тематичних шарів: ґрунтових карт, карт врожайності попередніх років, карт вмісту поживних елементів, карт рельєфу. Результатом цього аналізу є просторово диференційована картографічна основа для прийняття агрономічних рішень.

Концепція просторово-часового аналізу є ще одним теоретичним підґрунтям, на якому будується сільськогосподарська ГІС. Агроекосистема – це динамічна система, що постійно змінюється у часі під впливом природних і антропогенних факторів. Стан посівів, що фіксується агроскаутом у певний момент, є лише миттєвим знімком процесу, що відбувається в часі. Для повноцінного розуміння ситуації і правильного прогнозування її розвитку необхідно мати можливість відстежувати зміни у часі та порівнювати поточний стан з попередніми спостереженнями. ГІС забезпечує цю можливість через

зберігання даних з прив'язкою до часу і надання інструментів для часового порівняння та аналізу динаміки просторових процесів.

Загальні принципи створення ГІС можна умовно поділити на кілька взаємопов'язаних груп (рисунок 2.1): методологічні, організаційні, технічні та інформаційні. Кожна з цих груп охоплює певний аспект проектування та функціонування системи, і лише їх комплексне дотримання дозволяє створити повноцінну, ефективно функціонуючу ГІС.

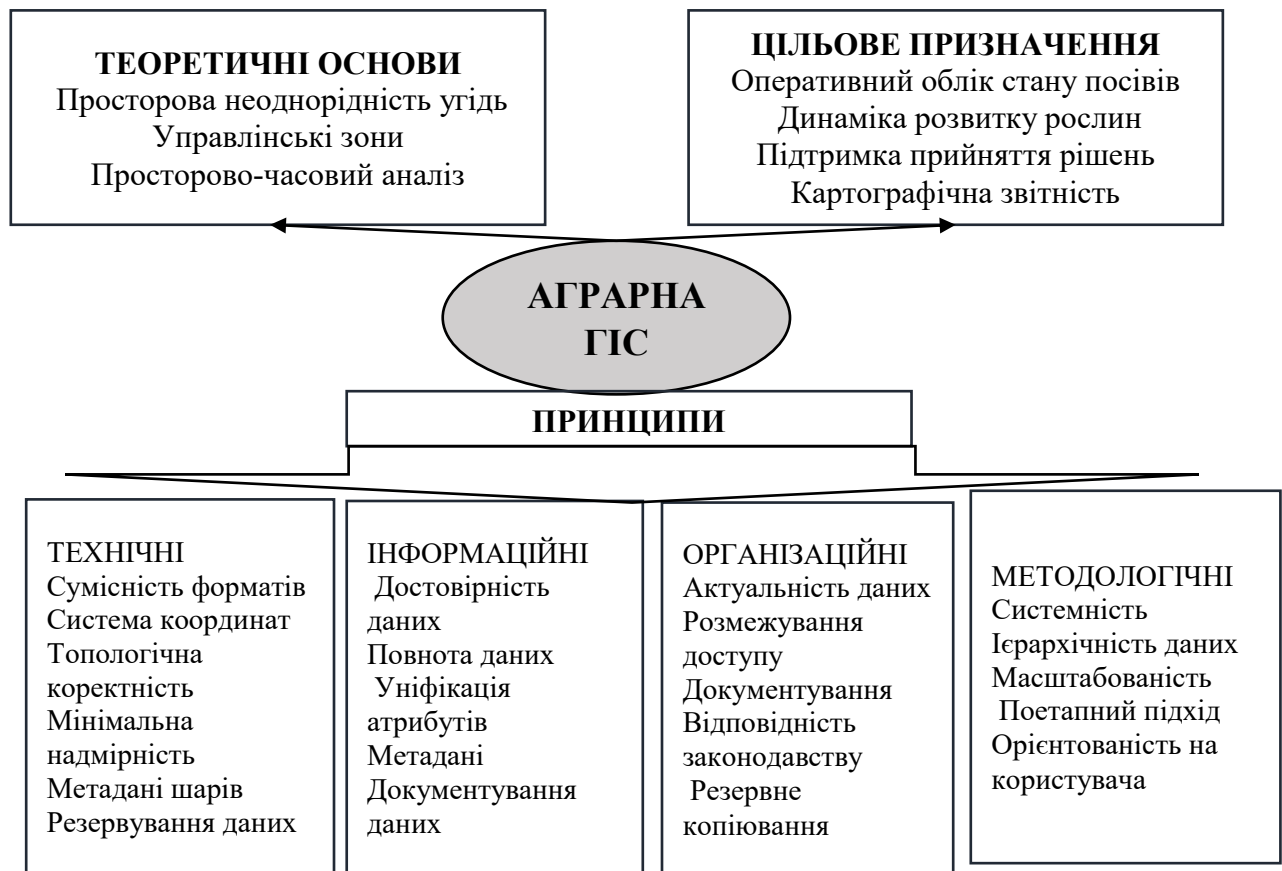


Рисунок 2.1 - Структурна схема основ і принципів створення ГІС для потреб агроскаутингу

Насамперед система повинна бути зручною для роботи користувача, містити актуальні дані та забезпечувати можливість подальшого оновлення інформації. Також важливе значення має правильна організація структури шарів і сумісність усіх просторових даних між собою.

Принцип ієрархічності означає організацію даних у вигляді впорядкованої ієрархічної структури, де інформація вищого рівня узагальнює та систематизує дані нижчого рівня. У сільськогосподарській ГІС ця ієрархія може виглядати наступним чином: окреме поле – виробнича ділянка – агровиробничий масив – господарство в цілому. Кожен рівень ієрархії відповідає певному масштабу відображення та певному рівню деталізації інформації. Такий підхід дозволяє гнучко керувати відображенням даних залежно від поставленої задачі – від загального огляду стану господарства до детального аналізу конкретної ділянки поля.

Принцип масштабованості передбачає можливість поступового нарощування функціональності та обсягу даних системи без необхідності її повного перепроєктування. Сільськогосподарська ГІС повинна бути здатна розвиватися разом із потребами господарства: до неї мають додаватися нові шари даних, нові функції аналізу, нові інструменти візуалізації. Для забезпечення масштабованості на етапі проектування необхідно передбачити модульну архітектуру системи та стандартизовані інтерфейси між окремими її компонентами.

Організаційні принципи регламентують порядок роботи з ГІС у напрямі виробничих процесів господарства. Ключовим серед них є принцип актуальності даних, який передбачає регулярне й своєчасне оновлення інформації в системі. Для агроскаутингу цей принцип має особливе значення, оскільки прийняття управлінських рішень засновується на поточному стані посівів, а не на архівних даних.

Принцип розмежування прав доступу передбачає диференційоване надання прав на перегляд, редагування та адміністрування даних різним категоріям користувачів системи. Агроном-скаут, агроном господарства, керівник виробничого підрозділу і директор підприємства мають різні потреби в інформації та різний рівень відповідальності за прийняті рішення. Відповідно, їм надаються

різні рівні доступу до даних і різні набори інструментів для роботи з системою. Правильно налаштована система розмежування доступу підвищує інформаційну безпеку і водночас знижує ризик випадкового пошкодження або втрати даних.

Принцип документування передбачає ведення повноцінної технічної документації системи: опису структури бази даних, переліку використаних джерел даних, методики виконання просторових аналізів, інструкцій для користувачів різних рівнів. Якісна документація є необхідною умовою для забезпечення довготривалої підтримки системи, особливо в умовах можливої зміни персоналу, відповідального за роботу з ГІС.

Технічні принципи охоплюють вимоги до апаратного та програмного забезпечення, форматів даних і методів їх обробки. Принцип сумісності форматів даних є особливо важливим у контексті сучасного аграрного виробництва, де активно використовуються різноманітні джерела просторової інформації: дані GPS-навігаторів сільськогосподарської техніки, знімки безпілотних літальних апаратів, матеріали дистанційного зондування Землі із супутників, векторні карти, створені за допомогою різних ГІС-пакетів. Всі ці дані повинні бути приведені до єдиної системи координат і єдиного формату для забезпечення їх сумісності в рамках однієї ГІС.

Вибір системи координат є одним із ключових технічних рішень при проектуванні сільськогосподарської ГІС. Для України стандартною є державна система координат УСК-2000, яка забезпечує сумісність з офіційними картографічними матеріалами та даними державного земельного кадастру. Водночас для оперативної роботи з даними GPS і матеріалами дистанційного зондування Землі часто використовується система координат WGS-84. Сучасне ГІС-програмне забезпечення дозволяє здійснювати трансформацію між цими системами координат, що забезпечує можливість інтеграції різноманітних просторових даних в єдиній ГІС.

Принцип мінімальної надмірності даних передбачає уникнення дублювання просторової інформації в різних шарах системи. Кожен просторовий об'єкт повинен зберігатися в базі даних лише один раз, а всі атрибутивні дані, пов'язані з ним, повинні зберігатися у відповідних таблицях і бути доступними через механізми реляційних зв'язків. Порушення цього принципу призводить до збільшення обсягу бази даних, ускладнення процедур оновлення та підвищення ризику виникнення суперечностей між різними частинами системи.

Технічний принцип топологічної коректності передбачає відповідність просторових даних правилам топології: лінійні об'єкти повинні не мати розривів і самоперетинів, полігональні об'єкти – не перекриватися і не мати «прогалін» між собою там, де їх не повинно бути. Топологічна коректність є необхідною умовою для виконання просторових аналізів, що базуються на просторових відношеннях між об'єктами. Для сільськогосподарської ГІС топологічна коректність шарів полів, кварталів і виробничих масивів є критично важливою, оскільки від неї залежить точність розрахунку площ і правильність результатів оверлейного аналізу.

Інформаційні принципи визначають підходи до збору, структурування та актуалізації даних у ГІС. Принцип достовірності даних вимагає використання лише перевірених джерел просторової та атрибутивної інформації. Для сільськогосподарської ГІС до таких джерел відносяться: матеріали державного земельного кадастру, польові обстеження, виконані сертифікованими фахівцями, дані агрохімічного обстеження ґрунтів, метеорологічні спостереження офіційних станцій, а також знімки дистанційного зондування Землі, отримані з надійних і авторизованих постачальників.

Принцип повноти даних передбачає охоплення всіх просторових об'єктів і всіх тематичних характеристик, необхідних для досягнення цілей системи. Водночас цей принцип не означає прагнення зібрати якомога більше інформації – він стосується саме тих даних, які безпосередньо впливають на вирішення

поставлених завдань. Для ГІС агроскаутингу повнота даних означає наявність актуальних просторових даних про всі поля господарства, повний облік усіх виявлених проблем (хвороби, шкідники, бур'яни, механічні пошкодження) та їх просторове поширення, а також наявність необхідної фонові інформації (грунти, рельєф, гідрографія).

Принцип уніфікації атрибутивних даних передбачає використання стандартизованих класифікаторів і довідників при описі просторових об'єктів. Так, назви культур, видів шкідників і хвороб, типів ґрунтів та інших характеристик повинні вноситися в систему відповідно до затверджених класифікаторів, а не у довільній формі. Це дозволяє уникнути плутанини при аналізі даних і забезпечує можливість коректного порівняння інформації за різні роки та різні підрозділи господарства.

Важливим організаційно-методологічним принципом є поетапний підхід до створення ГІС. Спроба одночасно вирішити всі завдання і врахувати всі аспекти системи неминує призводити до затягування процесу впровадження та зниження якості кінцевого результату. Натомість поетапний підхід передбачає поступове нарощування функціональності: спочатку створюється базовий набір шарів і атрибутивних даних, необхідних для вирішення найбільш критичних задач, а потім система поступово розширюється і вдосконалюється відповідно до нових потреб і можливостей.

Для сільськогосподарської ГІС перший етап, як правило, включає створення базових просторових шарів: межі господарства, межі полів (робочих ділянок), основна дорожня мережа і гідрографія. Ці шари є фундаментом, на якому будуються всі подальші тематичні шари. Другий етап зазвичай пов'язаний із наповненням системи агрономічними даними: сівооборотами, результатами ґрунтових обстежень, даними про врожайність. Третій і наступні етапи передбачають інтеграцію оперативних даних агроскаутингу, підключення джерел дистанційного зондування Землі та розробку інструментів аналізу і звітності.

Проектування архітектури ГІС є ще одним важливим принциповим кроком перед початком практичної роботи зі створення системи. Архітектура ГІС охоплює опис всіх компонентів системи та їх взаємозв'язків: просторової бази даних, програмного забезпечення для роботи з нею, інтерфейсів для введення та перегляду даних, механізмів обміну даними з зовнішніми системами. Правильно спроектована архітектура забезпечує гнучкість, надійність і ефективність функціонування системи протягом усього її життєвого циклу.

Окремої уваги заслуговує принцип орієнтованості ГІС на кінцевого користувача. Нерідко трапляється ситуація, коли розробники системи зосереджуються на технічній досконалості рішення, залишаючи поза увагою зручність практичного використання. Для сільськогосподарської ГІС, де значна частина роботи виконується в польових умовах, ергономіка інтерфейсу є критично важливою. Агроном-скаут, що здійснює обстеження посівів, повинен мати можливість швидко і зручно внести дані безпосередньо на полі, не відволікаючись на вивчення складних інтерфейсів і процедур.

Взаємозв'язок між цільовим призначенням ГІС і принципами її побудови є двостороннім. З одного боку, цільове призначення визначає пріоритетність тих чи інших принципів: для оперативної системи агроскаутингу принцип актуальності даних є більш критичним, ніж для архівної картографічної системи. З іншого боку, дотримання загальних принципів побудови ГІС забезпечує досягнення цільового призначення системи навіть у мінливих умовах реального виробництва, коли вимоги до системи можуть змінюватися і розширюватися з часом.

Не менш важливим є принцип інтегрованості ГІС з іншими інформаційними системами господарства. Сучасне аграрне підприємство, як правило, використовує кілька програмних рішень паралельно: системи планування виробництва, облікові системи, метеорологічні сервіси, платформи точного землеробства. Ефективна сільськогосподарська ГІС має бути не ізольованим інструментом, а органічно вписаним компонентом єдиної інформаційної екосистеми господарства. Це

досягається через підтримку стандартизованих форматів обміну даними, наявність відкритих API-інтерфейсів і можливість налаштування автоматичного імпорту/експорту даних за розкладом або за подією.

Принцип документування просторових метаданих є невід'ємною складовою якісно спроектованої ГІС. Метадані – це структурований опис просторових даних, що містить інформацію про їх джерело, дату збору, систему координат, точність, ліцензійні умови використання та інші характеристики. Відсутність метаданих робить набори просторових даних потенційно ненадійними, оскільки неможливо оцінити їх актуальність і точність без знання умов, за яких вони були отримані. Для сільськогосподарської ГІС метадані особливо важливі при роботі з різновіковими шарами – наприклад, коли поточні дані агроскаутингу порівнюються з результатами попередніх сезонів або з архівними знімками дистанційного зондування Землі.

Отже, під час створення ГІС для потреб агроскаутингу необхідно враховувати як особливості просторових даних, так і практичні потреби господарства. Правильна організація структури проєкту, своєчасне оновлення інформації та зручність роботи із системою дозволяють ефективно використовувати ГІС у сільськогосподарському виробництві.

2.2 Створення проєкту ГІС та його оформлення

Першим етапом практичної роботи зі створення географічної інформаційної системи сільськогосподарського підприємства є підготовка та завантаження вихідних растрових даних. Растрове зображення є основою для подальшої просторової прив'язки, дешифрування та векторизації об'єктів угідь.

Для роботи використовувалось растрове зображення території досліджуваного підприємства Великодолинської селищної територіальної громади Одеської області. Характеристики вихідного растра наведено в таблиці 2.1.

Для додавання растрового зображення у проєкт використовувався стандартний інструмент додавання даних у програмі ArcMap. Після вибору потрібного файлу зображення відображалось у робочому вікні карти та в списку шарів. Далі перевірялись його основні характеристики та правильність відображення у проєкті.

Таблиця 2.1 – Характеристика вихідного растрового зображення

Параметр	Значення
Назва файлу	Чебан_кваліфікаційна
Формат файлу	.TIFF
Розмір зображення (пікселі)	2603*2292
Роздільна здатність (dpi)	96 пікселів на дюйм
Джерело отримання	ОДАУ
Масштаб вихідного матеріалу	1:10000

Після завантаження растр відображається у вікні карти. На даному етапі зображення ще не має координатної прив'язки або може мати неточну попередню прив'язку, що визначається за масштабом та положенням зображення відносно вікна відображення.

У панелі Table of Contents перевіряються властивості завантаженого шару: відображається назва файлу, умовний знак (символ), що відповідає растровому типу даних. При натисканні правою кнопкою миші на назву шару та виборі «Properties» відкривається вікно властивостей шару, в якому на вкладці «Source» відображається шлях до файлу, тип даних, кількість рядків і стовпців, а також інформація про систему координат (за наявності).

Просторова прив'язка растрового зображення є обов'язковим етапом підготовки даних, який забезпечує коректне суміщення растра з іншими просторовими даними в єдиній системі координат. Прив'язка здійснюється шляхом встановлення відповідності між пікселями зображення та реальними координатами на місцевості.

Для виконання просторової прив'язки активується панель інструментів «Georeferencing» через меню «Customize» → «Toolbars» → «Georeferencing». Процес прив'язки базується на визначенні контрольних точок – характерних точок, координати яких відомі з еталонних джерел (топографічних карт, геодезичних вимірювань, ортофотопланів з відомою системою координат, даних GPS тощо).

Для кожної контрольної точки вказуються її координати на растрі (у пікселях) та відповідні реальні координати на місцевості.

Додавання контрольних точок здійснюється інструментом «Add Control Points». Спочатку клікають на характерній точці растра, потім вводять її реальні координати вручну через діалогове вікно або клацають на відповідне місце еталонного шару. Контрольні точки відображаються як на растрі, так і в таблиці прив'язки.

Для забезпечення необхідної точності прив'язки рекомендується використовувати не менше чотирьох добре розподілених по всій площі зображення контрольних точок. Контрольними точками обрано 4 крайні перехрестя сітки ниток. Визначено умовну систему координат для навчальних цілей.

Після досягнення прийнятної похибки виконується трансформація растра командою «Georeferencing» → «Rectify...». В результаті прив'язки растровий шар набуває координат системи та правильно розміщується відносно інших просторових об'єктів.

Векторні шари є основними структурними елементами ГІС, в яких зберігаються просторові об'єкти у вигляді точок, ліній або полігонів разом з їхніми атрибутивними характеристиками.

Перед початком векторизації необхідно створити набір порожніх векторних шарів із заздалегідь визначеною геометрією та атрибутивною структурою.

Для потреб агроскаутингу та управління земельними ресурсами сільськогосподарського підприємства в проєкті створено такі векторні шари, перелік яких наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Перелік векторних шарів проєкту ГІС

№	Назва шару	Тип геометрії	Формат	Призначення
1	Рілля	Полігон	Shapefile (.shp)	Конттури полів ріллі
2	Сади	Полігон	Shapefile (.shp)	Конттури сільськогосподарських угідь - садів
3	Пасовище	Полігон	Shapefile (.shp)	Конттури сільськогосподарських угідь - пасовища
4	Ліс	Полігон	Shapefile (.shp)	Конттури заліснених територій
5	Лісосмуги	Полігон	Shapefile (.shp)	Полезахисні та інші захисні насадження
6	Грунтові дороги	Полігон	Shapefile (.shp)	Польові дороги та під'їзди до полів
7	Магістральна дорога	Полігон	Shapefile (.shp)	Конттури магістральної дороги
8	Кладовище	Полігон	Shapefile (.shp)	Конттури інфраструктурного об'єкту - кладовищ
9	Господарські двори	Полігон	Shapefile (.shp)	Конттури інфраструктурного об'єкту - господарських дворів
10	Населений пункт	Полігон	Shapefile (.shp)	Конттури інфраструктурного об'єкту - населених пунктів
11	Річка	Полігон	Shapefile (.shp)	Конттури гідрографії - річка
12	Озеро	Полігон	Shapefile (.shp)	Конттури гідрографії - озера

13	Болото	Полігон	Shapefile (.shp)	Контури заболоченої території
14	Ділянки обстеження	Полігон	Shapefile (.shp)	Зони агроскаутингового обстеження
15	Точки спостереження	Точка	Shapefile (.shp)	Місця відбору проб та фіксації спостережень
16	Горизонталі	Полілінія	Shapefile (.shp)	Зображення рельєфу

Для створення нового векторного шару використовується інструмент «ArcCatalog», доступний як окрема програма або як вбудована панель. В ArcCatalog обирається каталог для збереження файлів шейп-формату (Shapefile), після чого виконується команда «New» → «Shapefile». У діалоговому вікні «Create New Shapefile» вказується назва файлу, тип геометрії (Point, Polyline або Polygon), а також система координат, яка має відповідати системі координат проєкту.

Система координат задається кнопкою «Edit» у полі «Spatial Reference». Для досліджуваної території використовується умовна система координат. Усі створювані шари повинні мати однакову систему координат для забезпечення коректного суміщення в проєкті.

Після створення файлів шейп-формату вони завантажуються в проєкт командою «Add Data». Кожен шар відображається в панелі Table of Contents та може бути переведений у режим редагування для подальшого введення об'єктів.

Проєкт ГІС у форматі .mxd об'єднує всі завантажені шари, налаштування відображення, системи координат та параметри макету карти.

Грамотна організація структури проєкту є запорукою зручності подальшої роботи, можливості редагування та обміну даними між користувачами.

Структура проєкту організована за ієрархічним принципом відповідно до тематичних груп шарів.

Рекомендована структура проєкту наведена в таблиці 2.4.

Порядок розміщення шарів у панелі Table of Contents визначає порядок їх відображення у вікні карти: шари, розташовані вище, перекривають нижні. Тому

растрова підоснова розміщується в самому низу списку, а точкові та лінійні шари – у верхній частині. Полігональні шари з прозорою заливкою або контурним відображенням можна розміщувати поверх інших полігональних шарів.

Файли шейп-формату зберігаються у структурованих папках на диску. Після завершення формування структури проєкт зберігається у форматі .mxd командою «File» → «Save As» із вказівкою шляху та назви файлу. Назва файлу проєкту: Чебан_кваліфікаційна.

Таблиця 2.4 – Структура проєкту ГІС сільськогосподарського підприємства

Група шарів	Шар	Тип геометрії	Порядок відображення
Агровиробнича інформація	Точки спостереження	Точка	1 (верхній)
Рельєф	Горизонталі	Полілінія	2
Агровиробнича інформація	Ділянки обстеження	Полігон	3
Угіддя та поля	Рілля	Полігон	3
Угіддя та поля	Сади	Полігон	3
Угіддя та поля	Пасовища	Полігон	3
Угіддя та поля	Лісосмуги	Полігон	3
Угіддя та поля	Грунтові дороги	Полігон	3
Угіддя та поля	Ліс	Полігон	3
Водні об'єкти та заболочена місцевість	Озера	Полігон	3
Водні об'єкти та заболочена місцевість	Річка	Полігон	3
Водні об'єкти та заболочена місцевість	Болото	Полігон	3
Інфраструктура	Магістральна дорога	Полігон	3

Інфраструктура	Кладовище	Полігон	3
Інфраструктура	Господарські двори	Полігон	3
Інфраструктура	Населений пункт	Полігон	3
Підоснова	Растр (прив'язаний)	Растр	4 (нижній)

Векторизація – це процес оцифрування просторових об'єктів на основі растрової підоснови шляхом обведення їхніх контурів або нанесення точок у векторному середовищі. Якість векторизації безпосередньо визначає геометричну точність та тематичну повноту створюваної ГІС.

Для введення в режим редагування конкретного векторного шару використовується панель інструментів «Editor». Вона активується через меню «Customize» → «Toolbars» → «Editor». Редагування розпочинається командою «Editor» → «Start Editing», після чого у спадному списку «Create Features» обирається цільовий шар та тип об'єкта для нанесення.

Векторизація полігональних об'єктів (контурів полів, ділянок обстеження) виконується інструментом «Polygon». Векторизація лінійних об'єктів (доріг, каналів) виконується інструментом «Line». Точкові об'єкти (точки спостереження, місця відбору проб) наносяться інструментом «Point». Для переміщення, видалення або коригування форми вже нанесених об'єктів використовуються інструменти «Edit Tool» та «Edit Vertices».

Після завершення редагування кожного шару виконується команда «Editor» → «Save Edits» для збереження змін та «Editor» → «Stop Editing» для виходу з режиму редагування. Зберігати результати редагування рекомендується регулярно в процесі роботи для уникнення втрати даних.

Після завершення первинної векторизації необхідно провести перевірку та вдосконалення геометричної точності і топологічної коректності векторних даних. Топологічна коректність означає відповідність просторових відношень між об'єктами встановленим правилам: відсутність перекриттів між полігонами одного

шару, відсутність прогалин між суміжними полігонами, правильна вкладеність об'єктів тощо.

Підвищення геометричної точності досягається налаштуванням параметрів прив'язки (Snapping). Функція Snapping дозволяє автоматично «прилипати» курсору до вузлів, ребер або кінцевих точок об'єктів при наближенні на задану відстань. Для активації відображається панель «Snapping» через «Editor» → «Snapping» → «Snapping Toolbar». Рекомендується ввімкнути прив'язку до вершин (Vertex) та ребер (Edge) суміжних полігонів. Допуск прив'язки встановлюється в меню «Editor» → «Options» на вкладці «General» у полі «Snapping tolerance» і задається в пікселях або одиницях карти.

Для виявлення та усунення топологічних помилок використовується набір інструментів Topology.. Для шарів сільськогосподарських угідь, зокрема, застосовуються такі топологічні правила, наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Топологічні правила, що застосовуються до векторних шарів

Групи шарів	Топологічне правило	Опис помилки, що усувається
Угіддя та поля, Водні об'єкти та заболочена місцевість, Інфраструктура	Must Not Overlap	Перекриття між полігонами полів
Угіддя та поля, Водні об'єкти та заболочена місцевість, Інфраструктура	Must Not Have Gaps	Прогалини між суміжними полігонами
Угіддя та поля, Водні об'єкти та заболочена місцевість, Інфраструктура	Must Be Covered By Feature Class Of	Поля мають бути в межах господарства
Агровиробнича інформація (точки спостережень)	Must Be Covered By Feature Class Of	Точки спостережень мають бути в межах ділянок обстежень

Агровиробнича інформація (Ділянки обстеження)	Must Not Overlap	Перекриття ділянок обстеження
Горизонталі	Must Not Have Dangles	Обірвані кінці лінійних об'єктів

Загальні результати перевірки топологічної коректності після виправлення помилок наведені в таблиці 2.6. Після усунення всіх топологічних помилок виконується повторна перевірка та збереження відредагованих шарів. Геодані вважаються топологічно коректними за умови відсутності зафіксованих помилок у вікні «Error Inspector».

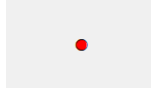
Таблиця 2.6 – Результати перевірки топологічної коректності

Тип помилки	Кількість до виправлення	Кількість після виправлення	Метод виправлення
Перекриття полігонів	4	0	Ручне редагування
Прогалини між полігонами	7	0	Автоматичне / ручне
Обірвані кінці ліній	23	0	Ручне редагування
Дублікати об'єктів	4	0	Видалення дублікатів

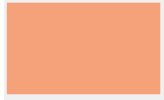
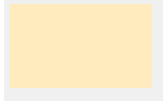
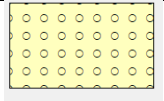
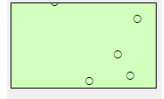
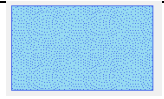
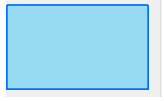
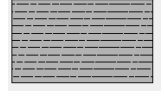
Завершальним етапом створення ГІС є картографічне оформлення шарів та складання макету тематичної карти для подальшого друку або експорту в растровий чи векторний формат. Картографічне оформлення включає налаштування умовних знаків, кольорів та підписів об'єктів, а макет карти – компоновку всіх обов'язкових елементів картографічного твору.

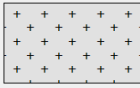
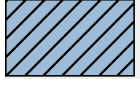
Оформлення кожного шару виконується у вікні «Layer Properties» на вкладці «Symbology». Для полігональних шарів задаються колір заливки (Fill Color), колір і товщина контуру (Outline Color/Width). Для лінійних шарів – тип лінії, її колір і товщина. Для точкових шарів – тип маркера, розмір і колір. Параметри умовних знаків, прийняті в проєкті, наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Параметри умовних знаків векторних шарів

Група шарів	Шар	Тип геометрії	Умовний знак
1	2	3	4
Агровиробнича інформація	Точки спостереження	Точка	
Рельєф	Горизонталі	Полілінія	

продовження таблиці 2.7.

1	2	3	4
Агровиробнича інформація	Поля обстеження	Полігон	
Угіддя та поля	Рілля	Полігон	
Угіддя та поля	Сади	Полігон	
Угіддя та поля	Пасовища	Полігон	
Угіддя та поля	Лісосмуги	Полігон	
Угіддя та поля	Грунтові дороги	Полігон	
Угіддя та поля	Ліс	Полігон	
Водні об'єкти та заболочена місцевість	Озера	Полігон	
Водні об'єкти та заболочена місцевість	Річка	Полігон	
Водні об'єкти та заболочена місцевість	Болото	Полігон	

Інфраструктура	Магістральна дорога	Полігон	
Інфраструктура	Кладовище	Полігон	
Інфраструктура	Господарські двори	Полігон	
Інфраструктура	Населений пункт	Полігон	

Підписи об'єктів (Labels) налаштовуються на вкладці «Labels» вікна «Layer Properties». Для шару меж полів рекомендується увімкнути підпис за полем «Назва поля» або «Номер поля». Точки спостереження підписуються за ідентифікатором або датою обстеження.

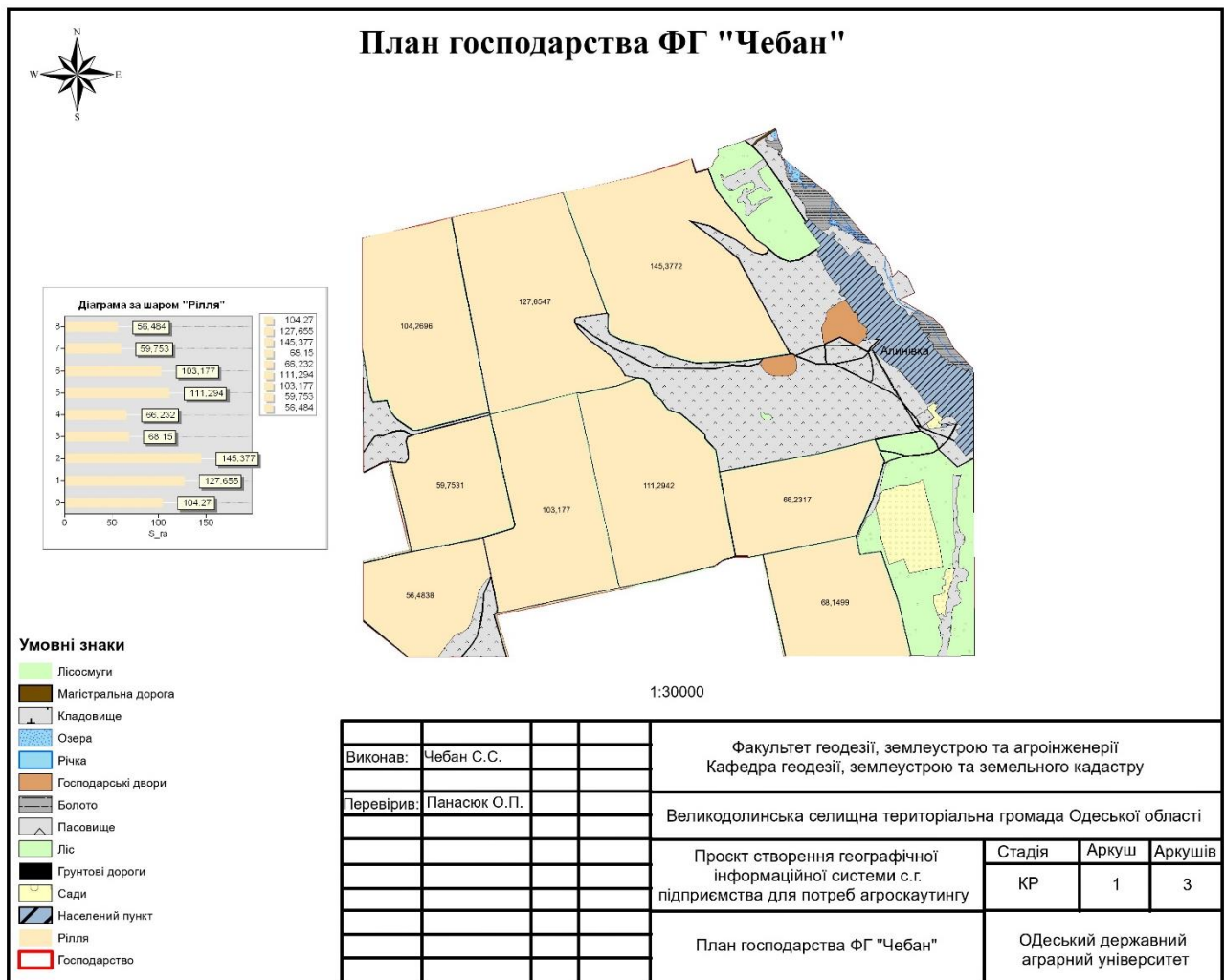
Для переходу до режиму компоновки карти виконується перемикання з «Data View» до «Layout View» через меню «View» → «Layout View» або відповідну кнопку в нижній частині вікна карти. У режимі «Layout View» відображається аркуш паперу з вже доданими картографічними елементами.

Параметри сторінки (формат паперу, орієнтація) задаються через «File» → «Page and Print Setup». Для даної карти прийнято формат А3. Розташування та розмір картографічного поля налаштовуються шляхом переміщення і масштабування фрейму даних (Data Frame) на аркуші.

До макету карти додаються обов'язкові елементи картографічного оформлення через меню «Insert»: масштабна лінійка («Scale Bar»), стрілка півночі («North Arrow»), легенда («Legend»), назва карти («Title»), рамка («Neatline»), діаграма. Додатково вставляється текстовий блок із вихідними даними.

Легенда формується автоматично на основі підключених шарів. У майстрі легенди «Legend Wizard» задаються шари, що включаються до легенди, кількість стовпців, розмір зразків умовних знаків та шрифт підписів. Зайві або службові шари виключаються з легенди.

Після завершення оформлення макет карти експортується у графічний файл командою «File» → «Export Map». Параметри експорту: формат –PDF, роздільна здатність – 300 dpi. Готовий картографічний матеріал є основою для агроскаутингових звітів та прийняття управлінських рішень у господарстві (рис 2.1.).



Рисуєт 2.1 - План господарства ФГ «Чебан»

Таким чином, у результаті виконаних робіт сформовано повноцінний проєкт ГІС сільськогосподарського підприємства, який включає прив'язаний растровий знімок, 16 векторних шарів із тематичними об'єктами, перевірені на топологічну коректність, та оформлений макет тематичної карти масштабу 1:30000.

2.3 Просторова інформація для створення географічної інформаційної системи

Просторова інформація є основою будь-якої географічної інформаційної системи і визначає її значення для розв'язання прикладних задач. У контексті сільськогосподарського підприємства просторові дані – це відомості про місцезнаходження, форму, розміри та взаємне розташування об'єктів угідь, інфраструктури та природних компонентів ландшафту, що прив'язані до конкретних координат на поверхні Землі. Якість, повнота і точність просторових даних безпосередньо визначають достовірність результатів геопросторового аналізу, а отже – обґрунтованість управлінських рішень у сфері агроскаутингу.

Формування просторової бази даних ГІС сільськогосподарського підприємства здійснюється з різних джерел, кожне з яких має свої переваги, обмеження і специфіку використання. Вибір джерел визначається наявністю ресурсів, необхідною точністю та цільовим призначенням системи. Основні джерела просторових даних, застосовані при формуванні ГІС, можна згрупувати за кількома класами: картографічні матеріали, дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), геодезичні вимірювання та відкриті геопросторові ресурси.

Вихідною основою для формування просторових даних у даному проєкті слугувало растрове зображення масштабу 1:10 000, характеристики якого детально описано у підрозділі 2.2. Растровий матеріал пройшов геопросторову прив'язку, що забезпечило його відповідність заданій системі координат і дозволило використовувати як підоснову для векторизації просторових об'єктів. Масштаб 1:10 000 є оптимальним для детального відображення меж сільськогосподарських угідь, контурів полів і елементів інфраструктури та відповідає вимогам точності, що ставляться до ГІС агроскаутингового призначення.

Важливим класом просторових даних (таблиця 2.8.) є матеріали дистанційного зондування Землі – супутникові та аерофотознімки, які надають

об'єктивну, актуальну і просторово безперервну інформацію про стан поверхні. Для потреб агроскаутингу особливу цінність становлять мультиспектральні супутникові знімки, які дозволяють обчислювати вегетаційні індекси (зокрема NDVI – нормалізований різницевий вегетаційний індекс), що характеризують стан рослинного покриву та відображають зони стресу посівів задовго до появи видимих симптомів. Відкриті супутникові знімки із сенсорів Sentinel-2 та Landsat-8/9 мають достатню просторову роздільну здатність (10 та 30 м відповідно) для агрономічного моніторингу та є безкоштовними у використанні.

Таблиця 2.8 – Характеристика джерел просторових даних для ГІС сільськогосподарського підприємства

Джерело даних	Тип даних	Просторова точність	Актуальність	Умови доступу
Растровий знімок (підоснова)	Растр (.TIFF)	1:10 000	застаріла	Надано ОДАУ
Публічна кадастрова карта України	Вектор / WMS	0,1–0,5 м	Постійно оновлюється	Обмежений у зв'язку з воєнним станом
Sentinel-2 (ESA)	Растр, мультиспектр.	10 м / піксель	5 діб (перельот)	Безкоштовно (Copernicus)
OpenStreetMap	Вектор (Shapefile / GeoJSON)	1–10 м	Краудсорсинг	Відкритий доступ (ODbL)
Топографічна карта М 1:25 000	Растр (скановані аркуші)	1:25 000	Архівні (1980–2010 рр.)	Геодезичний фонд
GPS-вимірювання (польові)	Точки / треки (.gpx)	1–3 м (GNSS)	Поточний сезон	Власні збори

Публічна кадастрова карта України (ПКК, map.land.gov.ua) є ще одним важливим відкритим джерелом просторових даних для ГІС

сільськогосподарського підприємства. ПКК містить офіційні межі земельних ділянок, що зареєстровані в Державному земельному кадастрі, та дозволяє отримати дані про кадастрові номери, категорії та цільове призначення земель. Використання кадастрових даних забезпечує юридичну відповідність просторових даних ГІС офіційним реєстрам, що є важливим для документального супроводу агроскаутингових робіт. Наразі вона закрита для широкого доступу в зв'язку з воєнним станом в країні. Відкриті векторні дані проєкту OpenStreetMap (OSM) є додатковим джерелом інформації про дорожню мережу, населені пункти та гідрографію. Незважаючи на те, що точність даних OSM може поступатися офіційним картографічним матеріалам, вони є актуальними, безкоштовними і часто містять детальну інформацію про локальну інфраструктуру, корисну при плануванні маршрутів польових обстежень.

Векторні просторові дані в проєкті ГІС представлені трьома геометричними типами: полігони, лінії та точки. Кожен тип відображає відповідні категорії просторових об'єктів і має власну логіку формування, атрибутивного опису та картографічного відображення. Детальний перелік векторних шарів, створених у проєкті, наведено у таблиці 2.2 (підрозділ 2.2). Полігональні шари є переважаючим типом у сільськогосподарській ГІС, оскільки основним об'єктом управління є земельні ділянки – поля, угіддя, зони обстеження – які мають площинний характер.

Геодезична основа просторових даних відіграє ключову роль у забезпеченні точності та сумісності різних шарів ГІС. Всі просторові дані повинні бути прив'язані до єдиної системи координат – це є обов'язковою умовою коректного геопросторового аналізу та суміщення різнорідних джерел. В Україні для ведення державного земельного кадастру застосовується державна геодезична система координат УСК-2000, яка є аналогом міжнародної системи ETRS89. Водночас, більшість GPS-приймачів і відкритих геопросторових сервісів використовують систему WGS-84, яка є міжнародним стандартом супутникового позиціонування.

Для навчального проєкту ГІС використовується умовна прямокутна система координат. Водночас, у реальному виробничому проєкті є обов'язковим використання УСК-2000 або WGS-84, а також забезпечення трансформацій між цими системами засобами ГІС-програмного забезпечення.

Точність просторових даних (таблиця 2.9.) є критично важливою характеристикою для агроскаутингової ГІС. Вона визначається як відхилення між координатами просторових об'єктів у ГІС та їх реальним місцеположенням на місцевості. Для сільськогосподарських ГІС виділяють кілька рівнів точності залежно від завдань.

При визначенні меж полів для реєстрації та обліку землекористування необхідна точність становить 0,1-0,5 м. Для оперативного агроскаутингового картографування – 1-3 м. Для стратегічного планування та моніторингу – 5–10 м. Дотримання відповідного рівня точності забезпечується вибором відповідних методів збору просторових даних і якістю вихідних матеріалів.

Таблиця 2.9 – Вимоги до точності просторових даних для різних завдань агроскаутингової ГІС [46]

Завдання ГІС	Допустима похибка положення	Мінімальна одиниця картографування	Рекомендований метод збору даних
Реєстрація меж земельних ділянок	0,1–0,5 м	0,01 га	GNSS-геодезія (RTK)
Картографування полів та угідь	0,5–2,0 м	0,1 га	Векторизація по знімку 1:10 000
Фіксація точок агроскаутингу	1–5 м	Точковий об'єкт	GPS-приймач смартфона
Зони ураження шкідниками	2–10 м	0,5 га	Векторизація по знімку / GPS-обхід
Стратегічний аналіз врожайності	5–30 м	1 га	Супутниковий знімок Sentinel-2

Просторові дані у ГІС формуються через процес векторизації, що детально описаний у підрозділі 2.2.

Якість векторизованих контурів залежить від чіткості растрової підоснови, кваліфікації виконавця та налаштувань точності прив'язки. Для агроскаутингового проєкту особливу увагу приділяють точності векторизації меж полів ріллі, оскільки саме від неї залежить точність розрахунку площ і правильність розподілу результатів агроскаутингу по конкретних полях.

Загальний обсяг векторизованих об'єктів по шарах наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Результати векторизації об'єктів ГІС

Назва шару	Кількість об'єктів	Загальна площа (га) / довжина (м)
Рілля	9	726,1543
Сади	3	22,6181
Пасовище	26	110,8174
Ліс	5	59,4013
Лісосмуги	14	14,7248
Грунтові дороги	43	26,0093
Магістральна дорога	1	0,2509
Кладовище	1	0,8856
Господарські двори	2	10,1208
Населений пункт	1	51,9681
Річка	7	0,4943
Озеро	4	1,1091
Болото	2	16,3568
Поля обстеження	2	116,1425
Точки спостереження	40	-
Горизонталі	60	-

Просторові відношення між об'єктами ГІС описуються через топологічну структуру векторних даних. Топологія визначає просторові зв'язки між об'єктами: суміжність полігонів, перетини ліній, включеність точок у межі полігонів тощо. Топологічно коректні дані є необхідною умовою для виконання просторових

аналізів: розрахунку площ, накладання шарів (overlay), побудови буферних зон і мережевого аналізу. Перевірка топологічної коректності виконується відповідно до правил, описаних у підрозділі 2.2, і є обов'язковим етапом підготовки просторових даних до аналізу.

Метадані просторових даних є невід'ємною складовою якісної ГІС. Метадані – це структурований опис просторових даних, що включає інформацію про їх походження, дату створення, систему координат, просторову точність, умови ліцензування та обмеження використання. Відповідно до ДСТУ ISO 19131:2019 «Географічна інформація. Специфікація геоінформаційного продукту», яка є чинним національним стандартом України, кожен набір геопросторових даних має супроводжуватися повноцінними метаданими, що забезпечують можливість його ідентифікації, оцінки якості та правильного використання (таблиця 2.11).

Таблиця 2.11 – Перелік просторових шарів ГІС та їх метадані

Назва шару, групи шарів	Тип геометрії	Формат зберігання	Система координат	Джерело даних	Рік створення / оновлення
Сільськогосподарські угіддя (Рілля, сади, пасовище)	Полігон	Shapefile (.shp)	Умовна (навч.)	Векторизація по підоснові	2026
Агровиробничі об'єкти (Ділянки обстеження, Точки спостереження)	Полігон	Shapefile (.shp)	Умовна (навч.)	польові дані	2026
Горизонталі	Полілінія	Shapefile (.shp)	Умовна (навч.)	Векторизація по підоснові	2026
Гідрографія (річка, озеро, болото)	Полігон	Shapefile (.shp)	Умовна (навч.)	Векторизація по підоснові	2026
Дорожня мережа (Грунтові дороги, магістральна дорога)	Полігон	Shapefile (.shp)	Умовна (навч.)	OSM	2026
Лісова рослинність (лісосмуги, ліси)	Полігон	Shapefile (.shp)	Умовна (навч.)	OSM	2026
Господарські об'єкти (Кладовище,	Полігон	Shapefile (.shp)	Умовна (навч.)	Векторизація по підоснові	2026

господарські двори)					
Населений пункт	Полігон	Shapefile (.shp)	Умовна (навч.)	Векторизація по підоснові	2026
Растрова підоснова	Растр	GeoTIFF (.tif)	Умовна (навч.)	Надано ОДАУ	2026

Растрові просторові дані займають особливе місце в агроскаутинговій ГІС, виступаючи як джерело фонові підоснови та як самостійний аналітичний шар. Вихідний растровий знімок, що використовується як підоснова для векторизації (характеристики наведені в таблиці 2.1), доповнюється растровими шарами дистанційного зондування – зокрема, знімками Sentinel-2 для обчислення вегетаційних індексів та ЦМР (цифровою моделлю рельєфу) для аналізу топографічних умов. Растрові шари зберігаються у форматі GeoTIFF, який забезпечує збереження координатної прив'язки безпосередньо у файлі та підтримується всіма сучасними ГІС-пакетами.

Організація зберігання просторових даних є важливим аспектом архітектури ГІС. У межах навчального проєкту просторові дані зберігаються у форматі Shapefile, який є найбільш поширеним відкритим векторним форматом і підтримується переважною більшістю ГІС-пакетів. Формат Shapefile складається з кількох пов'язаних файлів: .shp (геометрія), .dbf (атрибутивна таблиця), .shx (просторовий індекс), .prj (система координат). Усі файли одного шару мають зберігатися в одній папці з однаковою назвою і різними розширеннями. Файли проєкту систематизовані у папках відповідно до тематичних груп шарів, що забезпечує зручне управління даними.

Таким чином, просторова інформація для ГІС сільськогосподарського підприємства формується з різноманітних джерел, проходить процедури геодезичної прив'язки, векторизації та топологічної перевірки. Система просторових шарів охоплює всі категорії угідь і об'єктів господарства, що є необхідним для комплексного агроскаутингового аналізу та формування управлінських рішень. Якість і точність просторових даних визначає ефективність

усього проєкту ГІС і є фундаментом для наповнення системи атрибутивною інформацією, що розглядається у наступному підпункті.

2.4 Атрибутивна інформація для створення географічної інформаційної системи

Атрибутивна інформація є другою рівноцінною складовою географічної інформаційної системи поряд із просторовими даними. Якщо просторові дані визначають місцеположення, форму та розміри об'єктів, - то атрибутивна інформація описує змістовні характеристики цих об'єктів. Поєднання просторового компонента з атрибутивним забезпечує аналітичну потужність ГІС: можливість обирати об'єкти за тематичними критеріями, будувати тематичні карти та виконувати просторово-атрибутивний аналіз.

В архітектурі ГІС атрибутивна інформація зберігається в атрибутивних таблицях – реляційних базах даних, у яких кожен рядок відповідає одному просторовому об'єкту, а кожен стовпець – одній характеристиці цього об'єкту (полю).

Технологія зв'язку між просторовою геометрією і атрибутивною таблицею реалізується через унікальний ідентифікатор об'єкта – поле FID (Feature ID), що автоматично присвоюється ГІС кожному об'єкту при його створенні. Завдяки цьому зв'язку будь-яке просторове виділення об'єктів на карті автоматично відображає відповідні рядки в атрибутивній таблиці, і навпаки.

Проектування атрибутивної структури ГІС є етапом, що виконується до початку заповнення таблиць даними. Правильно спроектована структура забезпечує повноту опису об'єктів, зручність введення і пошуку даних, можливість подальшого розширення системи та сумісність з іншими інформаційними системами господарства. При проектуванні для кожного атрибутивного поля визначаються: назва поля (коротка, без пробілів, бажано латиницею для сумісності), тип даних (текстовий, числовий, дата, логічний), допустима довжина

або діапазон значень, обов'язковість заповнення та зв'язок із класифікаторами чи довідниками.

Атрибутивна структура кожного векторного шару ГІС проєктується відповідно до тематичного призначення шару та завдань агроскаутингу.

Розглянемо детально структуру атрибутивних таблиць основних шарів проєкту. Найбільш інформаційно насиченим є шар «Рілля», що є основним об'єктом агроскаутингового моніторингу. Кожен полігон цього шару відповідає окремому полю або контуру ріллі та описується комплексом агрономічних і адміністративних атрибутів.

Таблиця 2.12 – Структура атрибутивної таблиці шару «Рілля»

Назва поля	Тип даних	Довжина	Обов'язкове	Опис і приклад значення
FID	Ціле число (Long)	-	Так (авто)	Унікальний ідентифікатор об'єкта (автоматично)
Shape	Geometry	-	Так (авто)	полігону
S_га	Дробове (Double)	-	Так	Площа поля у гектарах, за формулою: 104,2696
S	Дробове (Double)	-	Так	Площа поля у метрах квадратних (розрах. автоматично): 1042696
P	Дробове (Double)	-	Так	Периметр у метрах: 4206
Kultura	Текст (String)	50	Так	Назва культури поточного сезону: «озима пшениця», «Соняшник»
Grunt_Typ	Текст (String)	80	Ні	Тип ґрунту за класифікатором: «chorn.zv»
Kadaastrovi	Текст (String)	25	Ні	Кадастровий номер ділянки:

				3465739405:00:222:2839
--	--	--	--	------------------------

Атрибутивна таблиця шару «Ділянки обстеження» (таблиця 2.13.) має особливе значення для агроскаутингової ГІС, оскільки саме цей шар є операційним: до нього вносяться результати кожного польового обстеження посівів. Структура таблиці повинна забезпечувати повний опис виявленої фітосанітарної ситуації та бути зручною для формування звітів.

Зовнішній вигляд атрибутивної таблиці шару «Рілля» наведено на рисунку 2.2.

Рілля									
	FID	Shape *	Id	S	P	\$ ra	Grunt	Kadastrovi	Kultura
	0	Polygon	0	1042696	4206	104,2696	chorn.zv	3465739405:00:222:2839	озима пш
	1	Polygon	0	1276547	5156	127,6547	chorn.zv	3465739405:00:222:2840	озима пш
	2	Polygon	0	1453772	6173	145,3772	chorn.pd	3465739405:00:222:2841	ріпак
	3	Polygon	0	681499	3365	68,1499	chorn.pd	3465739405:00:222:2842	соняшни
	4	Polygon	0	662317	3357	66,2317	chorn.pd	3465739405:00:222:2843	соняшни
	5	Polygon	0	1112942	4303	111,2942	chorn.pd	3465739405:00:222:2845	озимий я
	6	Polygon	0	1031770	4582	103,177	chorn.pd	3465739405:00:222:2847	рапс
	7	Polygon	0	596978	3136	59,6978	chorn.zv	3465739405:00:222:2848	озимий я
	8	Polygon	0	564672	2940	56,4672	chorn.zv	3465739405:00:222:2849	озимий я

Рисунок 2.2 - Атрибутивна таблиця шару «Рілля»

Таблиця 2.13 – Структура атрибутивної таблиці шару «Поля обстеження»

Назва поля	Тип даних	Обов'язкове	Опис і приклад значення
FID	Ціле число (Long)	Так (авто)	Унікальний ідентифікатор (автоматично)
ID_Pola	Ціле число (Long)	Так	FID пов'язаного поля (зовн. ключ до шару «Рілля»)
Data_Obst	Дата (Date)	Так	Дата проведення обстеження: 17.03.2026
Shkidnyk	Текст (String)	Так	Назва шкідника / хвороби / бур'яну: гусениця
Poshiren	Дробове (Float)	Ні	Поширеність (%): частка уражених гусениця рослин або площ: 25 м кв

Zakhid	Текст (String)	Ні	Рекомендований захисний захід: «Обробка фунгіцидом...»
Agronom	Текст (String)	Так	ПІБ агронома-скаута, що проводив обстеження: Cheban
S_ha	Дробове (Double)	Так	Площа ділянки обстеження у гектарах: 25,1234

Атрибутивна таблиця шару «Точки спостереження» описує конкретні місця на полі, де агроном-скаут фіксував обстеження: відбирав проби ґрунту, вів підрахунок шкідників або фіксував симптоми хвороб. Кожна точка прив'язана до конкретної ділянки обстеження через атрибутивне поле-зв'язок (зовнішній ключ).

Вигляд атрибутивної таблиці «Точки спостереження» наведений на рисунку 2.3.

Table										
Точки спостереження										
	FID	Shape *	Id	ID pola	Data obs	Shkidnik	Poshiren	Zakhid	Agronom	S ha
	0	Point	0	0	23.03.2026	гусен	10	оброб	Cheban	59,7909
	1	Point	0	0	23.03.2026	гусен	20	оброб	Cheban	59,7909
	2	Point	0	0	23.03.2026	гусен	20	оброб	Cheban	59,7909
	3	Point	0	0	23.03.2026	гусен	20	оброб	Cheban	59,7909
	4	Point	0	0	23.03.2026	гусен	20	оброб	Cheban	59,7909
	5	Point	0	0	23.03.2026	гусен	30	оброб	Cheban	59,7909
	6	Point	0	0	23.03.2026	гусен	40	оброб	Cheban	59,7909
	7	Point	0	0	23.03.2026	попел	20	оброб	Cheban	59,7909
	8	Point	0	0	23.03.2026	попел	30	оброб	Cheban	59,7909
	9	Point	0	0	23.03.2026	попел	40	оброб	Cheban	59,7909
▶	10	Point	0	0	24.03.2026	попел	20	оброб	Cheban	59,7909
	11	Point	0	0	24.03.2026	попел	30	оброб	Cheban	59,7909
	12	Point	0	0	24.03.2026	попел	60	оброб	Cheban	59,7909
	13	Point	0	0	24.03.2026	попел	70	оброб	Cheban	59,7909
	14	Point	0	0	24.03.2026	попел	40	оброб	Cheban	59,7909
	15	Point	0	0	24.03.2026	попел	30	оброб	Cheban	59,7909
	16	Point	0	0	24.03.2026	попел	23	оброб	Cheban	59,7909
	17	Point	0	0	24.03.2026	попел	40	оброб	Cheban	59,7909
	18	Point	0	0	30.03.2026	попел	43	оброб	Cheban	59,7909
	19	Point	0	0	30.03.2026	попел	40	оброб	Cheban	59,7909
	20	Point	0	0	30.03.2026	жуки	56	оброб	Cheban	59,7909
	21	Point	0	0	30.03.2026	жуки	34	оброб	Cheban	59,7909
	22	Point	0	0	30.03.2026	жуки	32	оброб	Cheban	59,7909
	23	Point	0	0	30.03.2026	жуки	58	оброб	Cheban	59,7909
	24	Point	0	0	30.03.2026	жуки	58	оброб	Cheban	59,7909
	25	Point	0	0	30.03.2026	жуки	39	оброб	Cheban	59,7909
	26	Point	0	0	30.03.2026	жуки	60	оброб	Cheban	59,7909
	27	Point	0	0	30.03.2026	жуки	70	оброб	Cheban	59,7909
	28	Point	0	0	31.03.2026	жуки	30	оброб	Cheban	59,7909
	29	Point	0	0	31.03.2026	жуки	43	оброб	Cheban	59,7909
	30	Point	0	0	31.03.2026	жуки	45	оброб	Cheban	59,7909
	31	Point	0	0	31.03.2026	жуки	56	оброб	Cheban	59,7909
	32	Point	0	0	01.04.2026	жуки	54	оброб	Cheban	59,7909
	33	Point	0	0	02.04.2026	жуки	34	оброб	Cheban	59,7909
	34	Point	0	0	02.04.2026	жуки	35	оброб	Cheban	59,7909
	35	Point	0	0	02.04.2026	жуки	36	оброб	Cheban	59,7909
	36	Point	0	0	02.04.2026	жуки	34	оброб	Cheban	59,7909
	37	Point	0	0	02.04.2026	жуки	34	оброб	Cheban	59,7909
	38	Point	0	0	02.04.2026	жуки	34	оброб	Cheban	59,7909
	39	Point	0	0	02.04.2026	жуки	34	оброб	Cheban	59,7909

Рисунок 2.3 - Атрибутивна таблиця «Точки спостереження»

Зв'язки між атрибутивними таблицями різних шарів встановлюються через реляційні відношення. У реляційних базах даних зв'язки між таблицями реалізуються через спільні поля – ключі. Наприклад, кожна ділянка обстеження (шар «Поля обстеження») пов'язана з конкретним полем (шар «Рілля») через поле ID_Pola, значення якого відповідає FID відповідного поля. Такий підхід дозволяє уникнути дублювання інформації: характеристики поля зберігаються лише один раз у таблиці шару «Рілля», тоді як таблиця ділянок обстеження лише посилається на відповідний запис. Реляційний зв'язок між таблицями встановлюється в ArcGIS через операцію Join або Relate.

Інструменти роботи з атрибутивними даними включають: вбудований редактор атрибутивної таблиці (Table), засоби пошуку та фільтрації записів (Select by Attributes / Find & Replace), калькулятор поля (Field Calculator) для обчислення значень за формулами, засоби сортування та статистики. Для агроскаутингового проєкту особливо важливим є використання Field Calculator для автоматичного розрахунку площ полів і ділянок обстеження та обчислення похідних показників – наприклад, відсотка ураженої площі від загальної площі поля.

Атрибутивна інформація шарів інфраструктури та природних об'єктів (гідрографія, дорожня мережа, лісосмути тощо) є менш деталізованою порівняно з агровиробничими шарами, проте також має важливе значення для аналізу умов агроскаутингу. Так, для шару «Лісосмути» важливими атрибутами є вид деревних порід і вік насаджень, оскільки лісосмути є потенційними резерватами шкідників і хвороб. Для шару «Гідрографія» – тип водойми (річка, озеро, водосховище, меліоративний канал), оскільки перезволоження ґрунту є чинником розвитку корневих гнилей і збільшення тиску ґрунтових шкідників.

Введення атрибутивних даних здійснюється через два основних механізми (таблиця 2.14). Перший – ручне введення у вікні атрибутивної таблиці або через форму властивостей об'єкта (вікно «Identify» або «Attributes»). Цей спосіб застосовується для введення описових даних, що не піддаються автоматичному розрахунку. Другий – автоматичний розрахунок за допомогою Field Calculator із використанням вбудованих функцій. Зокрема, площі полігонів розраховуються автоматично функцією «!shape.area@hectares!» у Python-режимі Field Calculator, що виключає помилки ручного введення і суттєво прискорює роботу.

Таблиця 2.14 – Класифікація атрибутивних даних за типами та їх використання в ГІС

Тип атрибута	Тип поля в	Приклади значень	Метод введення	Використання в аналізі
--------------	------------	------------------	----------------	------------------------

	БД			
Ідентифікаційний	Integer / String	FID, ID_Pola, Kadas_N	вручну	Прив'язка, зв'язок таблиць
Описовий (якісний)	String (Text)	Kultura, Grunt_Typ, Shk_Nazva	Вручну	Тематичне картографування, фільтрація
Кількісний (числовий)	Double / Float / Integer	Ploshcha_ha, Poshyr_Prots	Авторозрахунок	Статистика, градування, розрахунки
Часовий	Date	Data_Obst, Data_Onovl	Вручну	Динамічний аналіз, часові фільтри
Логічний	Short Integer (0/1)	Obrobleno (0 – ні, 1 – так)	Вручну / авто	Контроль виконання заходів

Важливим аспектом роботи з атрибутивними даними є забезпечення їх актуальності. Атрибутивні дані сільськогосподарської ГІС мають різну частоту оновлення залежно від типу. Дані про межі полів і кадастрові номери змінюються рідко – лише при реорганізації землекористування. Дані про культуру поточного сезону оновлюються щорічно – перед початком і після завершення вегетаційного сезону. Дані агроскаутингу оновлюються щотижнево або навіть щоденно в період активного вегетаційного розвитку посівів. Забезпечення своєчасного оновлення атрибутивних даних є організаційним завданням, вирішення якого потребує чіткого регламенту роботи з ГІС і призначення відповідальних осіб.

Тематичне картографування на основі атрибутивних даних є одним із ключових способів візуалізації інформації в ГІС. Функція «Symbology» у ArcGIS дозволяє диференціювати умовні знаки шарів залежно від значень атрибутивних полів. Для полів ріллі доцільно застосовувати диференціацію за культурою (Unique Values по полю Kultura) – кожній культурі призначається окремий колір заливки. Для ділянок обстеження – диференціацію за ступенем ураження (Graduated Colors по полю Stupin_Ur або Poshyr_Prots): від зеленого (відсутність проблем) через жовтий (слабке ураження) до червоного (критичний рівень). Такі карти є потужним інструментом візуальної комунікації результатів агроскаутингу і дозволяють агроному господарства та керівництву підприємства швидко оцінити фітосанітарну ситуацію.

Таким чином, атрибутивна інформація є основою ГІС сільськогосподарського підприємства. Правильно спроектована та якісно заповнена система атрибутивних таблиць перетворює набір геометричних об'єктів на повноцінну інформаційну систему, здатну відповідати на конкретні агрономічні запити: які поля заражені конкретним шкідником, яка площа потребує обробки, хто і коли проводив обстеження.

РОЗДІЛ 3

ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ, СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ

3.1 Розрахунок метричних характеристик

Після того як усі векторні шари створено, перевірено на топологічну коректність і заповнено атрибутивними даними, переходимо до просторового аналізу – до отримання конкретних числових характеристик об'єктів. Перший і найпростіший вид такого аналізу – розрахунок метричних характеристик: площ, периметрів, довжин і похідних від них показників форми. Ці числа надалі є вхідними даними для статистичної обробки (підрозділ 3.2) і побудови діаграми (підрозділ 3.3).

Метричні характеристики розраховуються двома основними способами: автоматично через Field Calculator і напівавтоматично через інструмент Summary Statistics з панелі ArcToolbox.

Перш ніж запускати будь-які розрахунки, в атрибутивній таблиці кожного шару треба переконатися, що для результату є окреме числове поле. Якщо такого поля немає – його необхідно створити вручну.

Щоб додати нове поле, потрібно відкрити атрибутивну таблицю шару: правий клік на назві шару в панелі Table of Contents → «Open Attribute Table». У верхньому рядку таблиці клацнути кнопку «Table Options» (іконка з маленьким випадаючим меню) → «Add Field...». У діалоговому вікні «Add Field» вводиться назва поля (наприклад, S), тип даних обирається «Double» (подвійна точність, підходить для площ у гектарах), довжина за замовчуванням. Натиснути «ОК» – нове поле з'явиться в кінці таблиці.

Аналогічним чином додається поле P (Double) для периметру в метрах і поле Koef_Komp (Double) для коефіцієнта компактності – безрозмірного показника, який характеризує, наскільки форма поля близька до кола (чим ближче

значення до 1 – тим компактніша форма, типово поля мають значення 1,5–3,5). У таблиці 3.1 наведені формули для розрахунку кожного поля засобами Field Calculator.

Таблиця 3.1 – Поля атрибутивної таблиці та вирази

Шар	Атрибутивне поле	Спосіб
Рілля, усі полігональні	P_ha (Double)	Field Calculator (Python): !shape.area@hectares!
Рілля, усі полігональні	P (Double)	Calculate geometry: Perimeter
Ділянки обстеження	Poshyr_Prots (Float)	Field Calculator (Python): [Ploshcha_ha] / [Pola_ha] * 100

Field Calculator – це вбудований інструмент ArcMap для масового заповнення або перерахунку значень атрибутивного поля за формулою. Його перевага в тому, що він обробляє всі об'єкти шару одночасно – не потрібно вводити значення для кожного поля окремо вручну.

Покрокова процедура розрахунку площі для шару «Рілля»:

1. Відкрити атрибутивну таблицю шару «Рілля» через правий клік → «Open Attribute Table».
2. Перейти в режим редагування: на панелі Editor натиснути «Editor» → «Start Editing», обрати шар «Рілля».
3. Правий клік на заголовку стовпця «S_ha» → «Field Calculator...».
4. У вікні «Field Calculator» перевірити, що вибрано мову «Python» (перемикач «Parser» у верхньому рядку).
5. У поле виразу ввести: !shape.area@hectares! і натиснути «ОК».

6. ArcMap автоматично обчислить і запише площу кожного полігону в гектарах. Після розрахунку для всіх полів ріллі та збереження змін («Editor» → «Save Edits» → «Stop Editing») результати зводяться в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Метричні характеристики полів ріллі

№ поля	FID	Площа (га)	Периметр (м)
1	0	104,2696	4206
2	1	127,6547	5156
3	2	145,3772	6173
4	3	68,1499	3365
5	4	66,2317	3357
6	5	111,2942	4303
7	6	103,1170	4582
	Разом по ріллі:	726,1543	-

Окрім характеристик окремих полів, для потреб агроскаутингу важливо мати зведену метричну картину всього господарства: яка частка площі відведена під рілля, яка – під пасовища, ліси, дороги та інфраструктуру. Ці дані є основою для розрахунку навантаження на агроєкосистему і планування обсягів агроскаутингового обстеження.

Зведені дані по всіх шарах ГІС із площами та відсотками наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Зведені метричні характеристики угідь сільськогосподарського підприємства

№	Угіддя / шар	Площа, га	% від загальної	Кількість контурів
1	Рілля (враховуючи поля обстеження)	842,2968	60,38	9
2	Сади	25,9757	1,86	3
3	Пасовище	221,1275	15,85	26
4	Заліснені території, в т.ч.:			
	ліс	94,5483	6,78	
	лісосмуги	14,7248	1,06	14
6	Водні об'єкти	1,6034	0,11	12
7	Болота	16,3568	1,17	
8	Дороги, в т.ч.:			
	грунтові	26,0093	1,86	43
	магістральна	0,2509	0,02	1

9	Інфраструктура, в т.ч.			
	господарські двори	10,1208	0,73	2
	населений пункт	51,9681	3,73	1
	кладовище	0,8856	0,06	1
	ЗАГАЛЬНА ПЛОЩА	1395,108	100,00	

Значення площ беруться безпосередньо з атрибутивних таблиць (результати розрахунку через Field Calculator), а відсотки розраховуються від загальної площі господарства.

Отже, результатом підрозділу 3.1 є повністю заповнені атрибутивні таблиці всіх шарів ГІС із розрахованими площами в гектарах, периметрами в метрах і коефіцієнтами компактності для полів ріллі. Ці числові дані є вхідними для наступного кроку – статистичного аналізу.

3.2. Розрахунок статистичних характеристик

Отримавши метричні дані (площі, периметри, коефіцієнти компактності), переходимо до їх статистичної обробки. Статистичний аналіз у ГІС дозволяє відповісти на практичні агрономічні питання: яке середнє поле у господарстві, наскільки сильно поля відрізняються між собою за розміром, яка загальна площа кожної категорії угідь. ArcGIS Desktop 10.5 має кілька стандартних інструментів для цього – вбудована статистика атрибутивної таблиці та інструмент Summary Statistics з ArcToolbox.

Найшвидший спосіб отримати статистику по окремому полю атрибутивної таблиці – скористатися вбудованою функцією «Statistics». Ця функція доступна прямо в таблиці без запуску додаткових інструментів.

Покрокова процедура для шару «Рілля», поле S_ha:

1. Відкрити атрибутивну таблицю шару «Рілля».
2. Правий клік на заголовку стовпця «S_ha» → «Statistics...».

3. ArcMap відкриє вікно «Statistics of Рілля.S_ha» з такими показниками: Count (кількість об'єктів), Minimum (мінімум), Maximum (максимум), Sum (сума),

Mean (середнє), Standard Deviation (стандартне відхилення), а також гістограма розподілу.

Приклад розрахунку для площі шару «Рілля» наведений на рисунку 3.1.

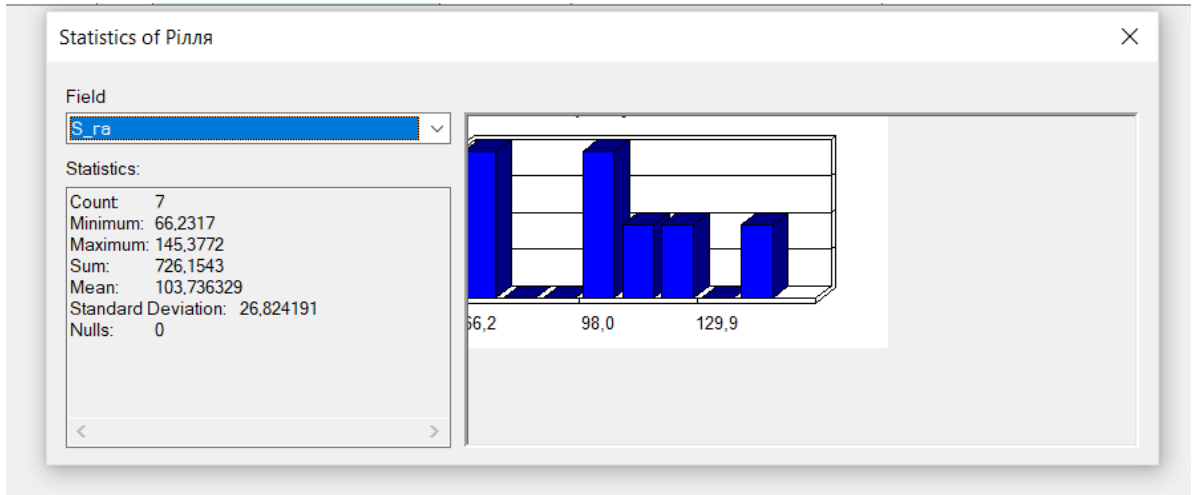


Рисунок 3.1 - Розрахунок статистики для площі у гектарах по шару «Рілля»

Якщо потрібно розрахувати статистику одночасно для кількох шарів або отримати результат у вигляді окремої таблиці (яку можна зберегти як файл і підключити до проєкту), використовується інструмент Summary Statistics зі стандартного набору ArcToolbox.

Де знаходиться інструмент: ArcToolbox → «Analysis Tools» → «Statistics» → «Summary Statistics». Якщо панель ArcToolbox не відкрита, її можна викликати через меню «Geoprocessing» → «ArcToolbox», або кнопкою з червоною скринькою на стандартній панелі.

Параметри інструменту Summary Statistics:

Input Table – обирається шар, наприклад «Рілля».

Output Table – шлях і назва вихідної таблиці.

Statistics Field(s) – у першому стовпці обрати «S_ha», у другому стовпці «Statistic Type» вибрати зі списку потрібні операції: SUM (сума), MIN (мінімум), MAX (максимум), MEAN (середнє), STD (стандартне відхилення). Щоб додати кілька рядків, натискається кнопка «+» або «Add Another».

Case Field – необов'язкове поле для групування. Якщо вказати поле «Kultura», інструмент розрахує статистику окремо для кожної культури. Це корисно, якщо в межах шару «Рілля» є поля з різними культурами.

Приклад розрахунку статистики за площею з врахуванням культури наведений на рисунку 33.2.

Рілля_Statistics2						
	FID *	Kultura	FREQUENCY	SUM S ra	MEAN S ra	STD S ra
▶	1	озима пш	2	231,9243	115,96215	16,535763
	2	озимий я	1	111,2942	111,2942	0
	3	рапс	1	103,177	103,177	0
	4	ріпак	1	145,3772	145,3772	0
	5	соняшни	2	134,3816	67,1908	1,356372

Рисунок 3.2 - Розрахунок статистичних характеристик шару «Рілля» з врахуванням площі в гектарах та культури

Після натискання «ОК» ArcMap створить нову таблицю, яку можна відкрити подвійним кліком і переглянути результати. Ця таблиця автоматично приєднується до проєкту і доступна в панелі Table of Contents у вкладці «Standalone Tables».

3.3 Складання діаграми за результатами розрахунків

Діаграма – це не просто ілюстрація, а повноцінний аналітичний елемент, що будується безпосередньо з атрибутивних даних проєкту і автоматично оновлюється при зміні даних. На відміну від зовнішніх програм (Excel, Google Sheets), діаграма прив'язана до конкретного шару і відображає саме ті значення, що зберігаються в ГІС.

Для цієї кваліфікаційної роботи будується діаграма за шаром «Рілля» як найбільш наочного шару з візуалізації відсоткового складу.

Інструмент побудови діаграм знаходиться у вікні атрибутивної таблиці. Процедура виконується такими кроками:

1. Відкрити атрибутивну таблицю шару «Рілля».

2. У верхньому рядку таблиці натиснути «Table Options» → «Create Graph...». Відкривається майстер побудови діаграм «Create Graph Wizard».

3. На першому кроці майстра «Graph Type» обирається тип діаграми: «Horizontal Bar». Клік «Next».

4. На кроці «General» заповнюються заголовок («Title»): наприклад, «Діаграма за шаром «Рілля» і підзаголовок («Subtitle»). Відмітити галочку «Show Legend» для відображення легенди.

5. Натиснути «Finish» – діаграма відкриється у вікні «Graph» і одночасно стане доступною в проєкті.

Після створення базової діаграми її вигляд можна відредагувати. Для цього потрібно двічі клікнути на діаграмі – відкриється вікно «Graph Properties» з кількома вкладками.

На вкладці «Appearance» налаштовується загальний вигляд: розмір і шрифт заголовка, відображення значень у відсотках безпосередньо на секторах (опція «Show labels as percent» або «Show labels as value»), тривимірний вигляд діаграми (опція «3D», якщо потрібно).

Кольори окремих секторів змінюються подвійним кліком на секторі діаграми – відкривається палітра кольорів.

Готову діаграму необхідно включити в картографічний макет (Layout View) – саме там вона стає частиною кінцевого картографічного твору поряд із картою, легендою, масштабною лінійкою та стрілкою на північ.

Щоб додати діаграму в Layout View у вікні «Graph» натискається правий клік → «Add to Layout». Діаграма автоматично додається у Layout View у вигляді переміщуваного об'єкта. Її розмір регулюється перетягуванням за кутові маркери, положення – перетягуванням за будь-яке місце об'єкта.

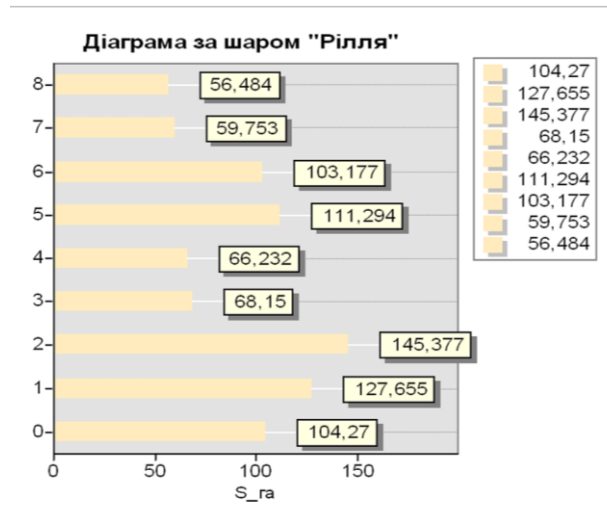


Рисунок 3.3 - Діаграма за шаром «Рілля»

Розміщення діаграми в макеті: традиційно діаграма розміщується у правій або нижній частині макету поряд із легендою, в даному випадку – в лівій поряд з легендою. Рекомендований розмір: не менше 8×8 см, але не більше чверті площі аркуша – щоб не перекривати основний картографічний матеріал.

Після завершення оформлення макету зі всіма елементами (карта, легенда, масштабна лінійка, стрілка на північ, діаграма, назва карти, рамка) виконується експорт у фінальний графічний файл. Команда: «File» → «Export Map...». Рекомендовані параметри: формат PDF, роздільна здатність 300 dpi, зберегти у папку проєкту з назвою на кшталт «Cheban_Karta_A3.pdf».

Також збереженню підлягають: файл проєкту .mxd (команда «File» → «Save»), всі файли Shapefile із заповненими атрибутивними таблицями і таблиці Summary Statistics у форматі .dbf.

Отже, діаграма утінь господарства є завершальним кроком просторового аналізу в рамках розділу 3. Вона поєднує числові результати метричного та статистичного аналізу у наочну графічну форму, зручну для сприйняття агрономом-практиком і керівником підприємства.

РОЗДІЛ 4

ГІС ЯК ОСНОВА АГРОСКАУТИНГУ

Агроскаутинг – це регулярне обстеження полів з метою виявлення та оцінки стану посівів. Агроном-скаут обходить поле за заздалегідь визначеним маршрутом, фіксує наявність шкідників, хвороб і бур'янів, відзначає зони механічних пошкоджень, посухового або водного стресу, нерівномірного розвитку рослин. На основі цих спостережень агроном приймає рішення про необхідність хімічної обробки, підживлення або інших заходів.

До появи ГІС результати скаутингу записувалися на паперових бланках або вносилися в таблиці Excel. Такий підхід має кілька суттєвих обмежень. По-перше, неможливо побачити просторову картину: де саме на полі виявлено проблему, яку площу вона займає, чи поширюється вона з краю до центру чи навпаки. По-друге, важко порівнювати дані за різні дати одного сезону або за різні роки. По-третє, передача даних між польовим скаутом і головним агрономом займає час і часто супроводжується помилками.

ГІС вирішує ці проблеми. Кожне спостереження агронома-скаута одразу отримує просторову прив'язку і вноситься до атрибутивної таблиці шару «Точки спостереження» або «Ділянки обстеження». Головний агроном у будь-який момент може відкрити карту і побачити актуальну фітосанітарну ситуацію по всіх полях господарства. ГІС дозволяє будувати тематичні карти: наприклад, карту поширення попелиці станом на конкретну дату, або карту зон із перевищенням економічного порогу шкодочинності для певного шкідника.

Таким чином, ГІС перетворює агроскаутинг із паперового обліку на систему просторового управління фітосанітарним станом посівів.

Перш ніж виходити в поле, агроном-скаут має спланувати маршрут обстеження. ГІС дозволяє зробити це ефективно: спираючись на карту полів і шар «Ділянки обстеження», можна заздалегідь визначити, які зони потребують

першочергової уваги, і побудувати раціональний маршрут з урахуванням під'їзних доріг та розміщення полів.

У нашому проєкті шар «Поля обстеження» містить два полігони загальною площею 116,14 га (Рис.4.1.). Ці ділянки виділені на найбільших полях ріллі і охоплюють зони, де ймовірність виявлення фітосанітарних проблем є найвищою відповідно до агрономічного досвіду. При плануванні маршруту на карті позначаються стартова і кінцева точки обходу, а також місця обов'язкових зупинок для підрахунку шкідників.

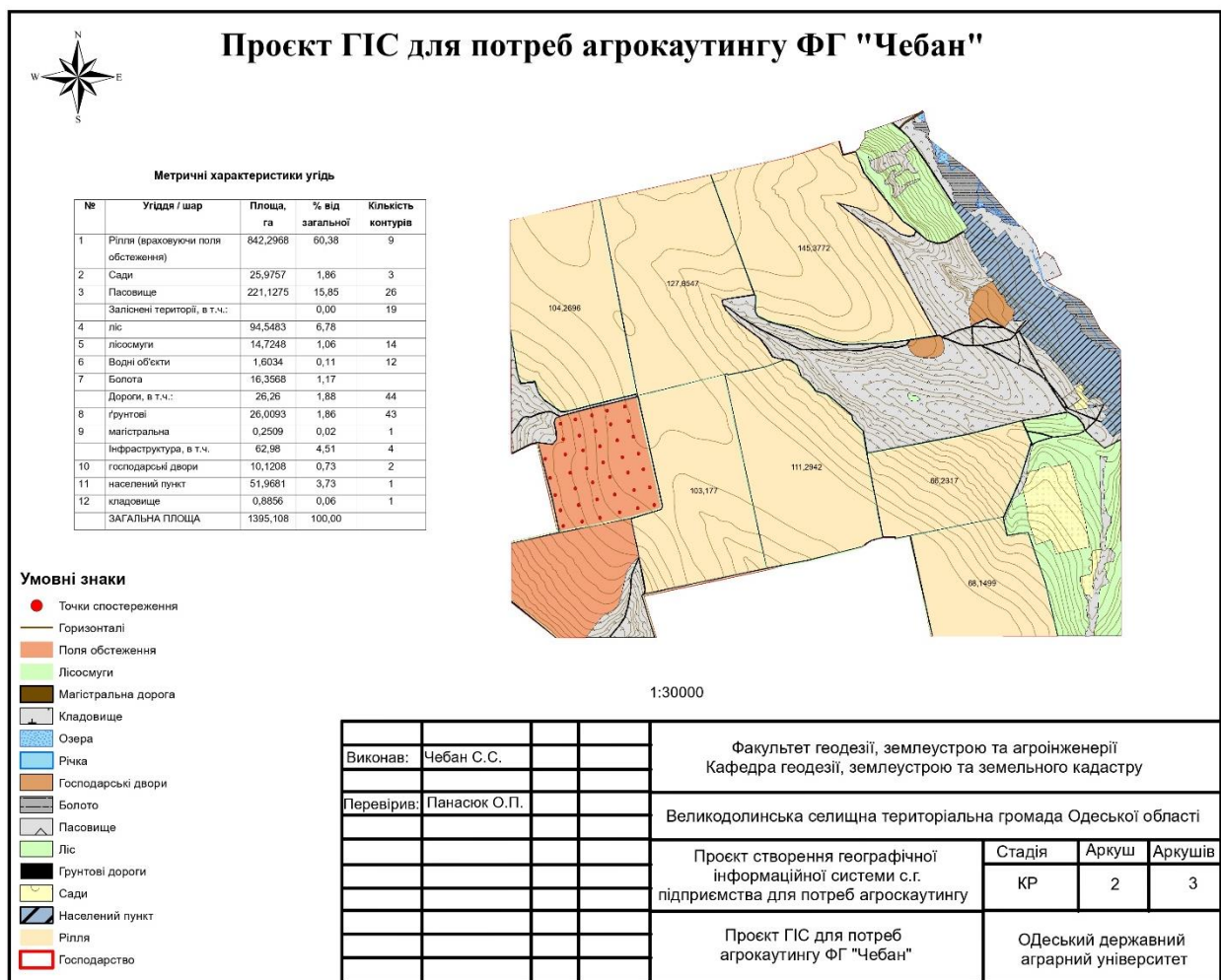


Рисунок 4.1 – Поля обстежень ФГ «Чебан»

Стандартний метод скаутингу на полях ріллі – метод конверту або діагоналі. При методі діагоналі скаут рухається по двох діагоналях поля, роблячи зупинки

через рівні проміжки. На кожній зупинці він оглядає задану кількість рослин (зазвичай 10–20 штук) і записує кількість уражених екземплярів, вид шкідника або хвороби, стадію розвитку.

У ГІС ці зупинки фіксуються як точкові об'єкти в шарі «Точки спостереження». Для нашого господарства у цьому шарі є 40 точок. Кожна точка описана атрибутами: дата обстеження, вид шкідника або хвороби, ступінь поширеності, ім'я агронома. Така структура дозволяє в будь-який момент зробити просторовий запит, наприклад: «показати всі точки, де виявлено попелицю з поширеністю більше 20%» – і побачити їх на карті.

Для планування маршруту в програмних комплексах використовується функція виділення об'єктів і навігація по карті. Зі смартфона він може також вносити нові точки безпосередньо в полі, якщо підприємство використовує мобільний ГІС-клієнт.

Після повернення з поля, або безпосередньо в полі (якщо наявна веб-версія чи додаток) агроном-скаут вносить результати до атрибутивних таблиць ГІС.

Якщо під час скаутингу виявлено нову проблему в точці, де раніше спостережень не було, агроном додає нову точку до шару «Точки спостереження». Для цього панель Editor перемикається в режим редагування, обирається шар «Точки спостереження», інструментом «Point» клікається на місці знаходження на карті. Після нанесення точки відкривається форма атрибутів, куди вносяться: дата обстеження, вид шкідника або хвороби (наприклад: «попелиця злакова»), поширеність (у відсотках або в штуках на рослину), стадія розвитку шкідника, рекомендований захід і прізвище скаута.

Якщо ж скаутинг підтвердив або уточнив стан відомої ділянки, агроном оновлює атрибути вже існуючого запису: відкриває таблицю, знаходить потрібний рядок (наприклад, за датою або FID) і вносить поточні значення.

Паралельно оновлюються атрибути шару «Ділянки обстеження»: якщо поширеність проблеми на ділянці перевищила економічний поріг шкодочинності,

поле «Zakhid» заповнюється рекомендованим заходом – наприклад, «Обробка інсектицидом Бі-58 у нормі 1,5 л/га».

Після внесення даних агроном зберігає зміни командою «Editor» → «Save Edits» і виходить з режиму редагування. Тепер оновлена інформація доступна головному агроному або керівнику підприємства при наступному відкритті проєкту.

Для забезпечення якості даних при внесенні доцільно використовувати домени (Domains) – обмежені списки допустимих значень для текстових полів. Наприклад, для поля «Shkidnyk» можна створити домен із переліком найпоширеніших шкідників і хвороб для культур, що вирощуються в господарстві: попелиця, п'явиця, кліщ, іржа, борошниста роса, коренева гниль тощо. Це виключає помилки при введенні (опечатки, варіанти написання) і забезпечує коректну роботу фільтрів і запитів.

Після внесення даних скаутингу ГІС дозволяє будувати тематичні карти, що наочно показують фітосанітарну ситуацію на полях господарства. Тематичне картографування виконується через функцію «Symbology» у вікні властивостей шару.

Для шару «Точки спостережень» ефективним є відображення за типом «Graduated Colors» по полю «Poshiren» (поширеність у відсотках). Ця функція ділить значення поля на кілька класів і присвоює кожному класу свій відтінок кольору – від зеленого (низька поширеність) до червоного (висока поширеність або перевищення економічного порогу шкодочинності). Агроном або керівник підприємства, відкривши карту, одразу бачить, які поля потребують першочергового втручання.

Такий спосіб відображення робиться наступним чином: правий клік на шарі «Ділянки обстеження» → «Properties» → вкладка «Symbology» → у лівому списку обирається «Graduated Colors» → у полі «Value» вибирається «Poshiren» → задається кількість класів (зазвичай 4–5) і кольорова шкала (наприклад, «Green to

Red»). Натиснути «ОК» – карта автоматично перефарбовує полігони відповідно до значень поля.

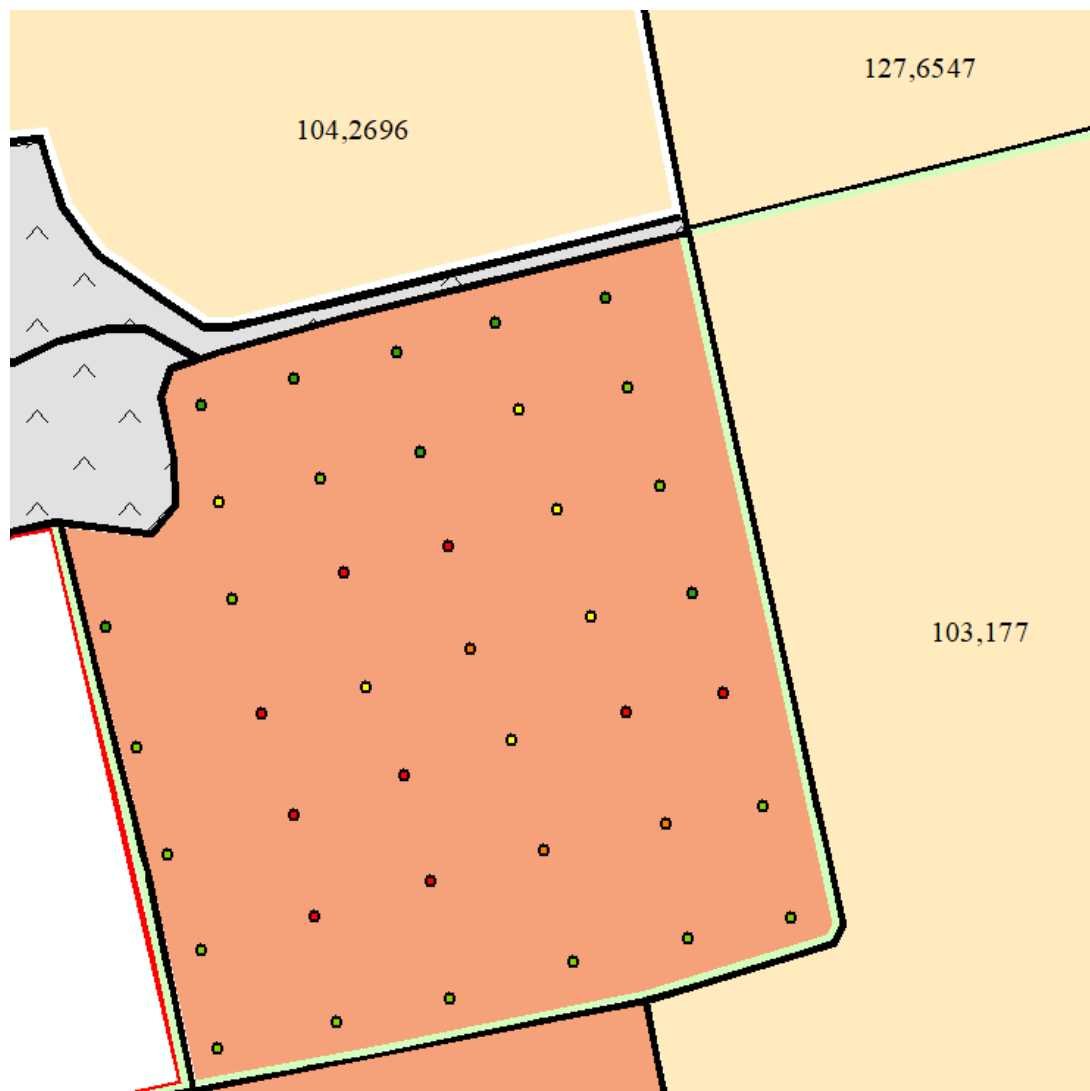


Рисунок 4.2 - Кольорове відображення точок спостереження за типом «Graduated Colors» по полю «Poshiren» (поширеність у відсотках)

Крім карт поточного стану, ГІС дозволяє порівнювати ситуацію за різні дати одного сезону. Для цього в атрибутивній таблиці застосовується фільтр «Select by Attributes»: наприклад, обираються всі записи, де «Data_Obst» = конкретна дата. Виділені точки відображаються на карті і дають картину стану на ту дату. Порівнюючи карти за різні дати, агроном може відстежити динаміку розвитку

осередку ураження: поширюється він, стабілізувався чи зменшується після проведеної обробки.

Одна з ключових переваг ГІС перед звичайними таблицями – можливість виконувати просторові запити: відбирати об'єкти не лише за атрибутивними критеріями, але й за просторовим положенням відносно інших об'єктів.

Розглянемо кілька прикладів просторових запитів, актуальних для агроскаутингу в нашому господарстві.

Перший приклад – знайти всі точки спостереження, де виявлено шкідника, в межах конкретного поля ріллі. Для цього використовується інструмент «Select by Location» (меню «Selection» → «Select by Location»). У налаштуваннях: «Target layer» – «Точки спостереження», «Source layer» – «Рілля», «Spatial selection method» – «are within the source layer feature». Після виконання всі точки, що знаходяться в межах полів ріллі, будуть виділені. Якщо попередньо виділити конкретне поле в шарі «Рілля», то запит відбере точки лише для цього поля. Результат відображається і в таблиці, і на карті одночасно.

Другий приклад – побудова буферної зони навколо лісосмуги для оцінки зони ризику заселення шкідниками. Лісосмуги є резерватами для ряду шкідників (попелиці, клопів, листоблішок), тому поля в межах 100–200 м від лісосмуги потребують більш частого скаутингу в певні фенологічні фази. Інструмент: ArcToolbox → «Analysis Tools» → «Proximity» → «Buffer». Параметри: вхідний шар – «Лісосмуги», відстань буфера – 150 м. Отриманий шар буферної зони накладається на шар «Рілля» інструментом «Intersect» або «Clip» – і агроном отримує зони ріллі, що знаходяться в небезпечній близькості до лісосмуг.

Третій приклад – підрахунок кількості точок спостереження з певним шкідником на одиницю площі поля. Цей показник характеризує інтенсивність ураження поля і дозволяє порівнювати поля між собою. Розраховується через атрибутивні запити: спочатку «Select by Attributes» відбирає точки з потрібним шкідником, потім Summary Statistics підраховує їх кількість по полях (якщо в

точках є поле «ID_Pola»), а результат ділиться на площу поля. Це простий, але ефективний показник щільності осередку ураження.

Завершальним кроком роботи зі скаутинговими даними в ГІС є формування звіту. Звіт агроскаутингу – це документ, що фіксує результати обстеження, надає рекомендації з обробки і є підставою для прийняття управлінського рішення.

Звіт складається з двох частин: картографічної та табличної. Картографічна частина – це тематична карта поля або господарства з нанесеними точками спостереження та зонами ураження. Таблична частина – це зведена таблиця результатів скаутингу: по кожному полю вказується культура, дата обстеження, виявлений шкідник або хвороба, поширеність (%), ступінь ураження, рекомендований захід.

Таким чином, завдяки ГІС агроскаутинговий звіт формується не вручну, а напівавтоматично: дані вже є в системі, і лише потрібно правильно їх вибрати, відфільтрувати і оформити. Це суттєво скорочує час підготовки звіту і виключає помилки перенесення даних.

Агроскаутинг сам по собі є лише збором інформації. Кінцева мета – прийняти правильне рішення про захисний захід і виконати його з мінімальними витратами. ГІС підтримує цей процес на всіх етапах.

На першому етапі агроном аналізує карту розподілу шкідника по полях і визначає, де поширеність перевищила економічний поріг шкодочинності (ЕПШ). ЕПШ – це рівень заселення, при якому застосування захисного заходу є економічно виправданим. Для різних шкідників і культур ЕПШ різний: наприклад, для попелиці на пшениці він становить 10–15 попелиць на стебло в фазу трубкування. Якщо атрибутивна таблиця містить кількісні дані підрахунку шкідника, агроном може виконати запит «Select by Attributes» і виділити всі ділянки, де показник перевищує ЕПШ.

На другому етапі визначається площа, що підлягає обробці. Сума площ виділених ділянок розраховується через Summary Statistics (SUM по полю «S_ha»).

Наприклад, якщо ЕПШ перевищено на 3 ділянках обстеження загальною площею 87,4 га, саме ця цифра береться за основу при замовленні препарату і виборі техніки.

На третьому етапі формується завдання для оператора техніки: карта-схема з позначенням ділянок, що підлягають обробці, та межами полів. Ця карта друкується або передається в електронному вигляді для завантаження в навігатор (Рис.4.3.).

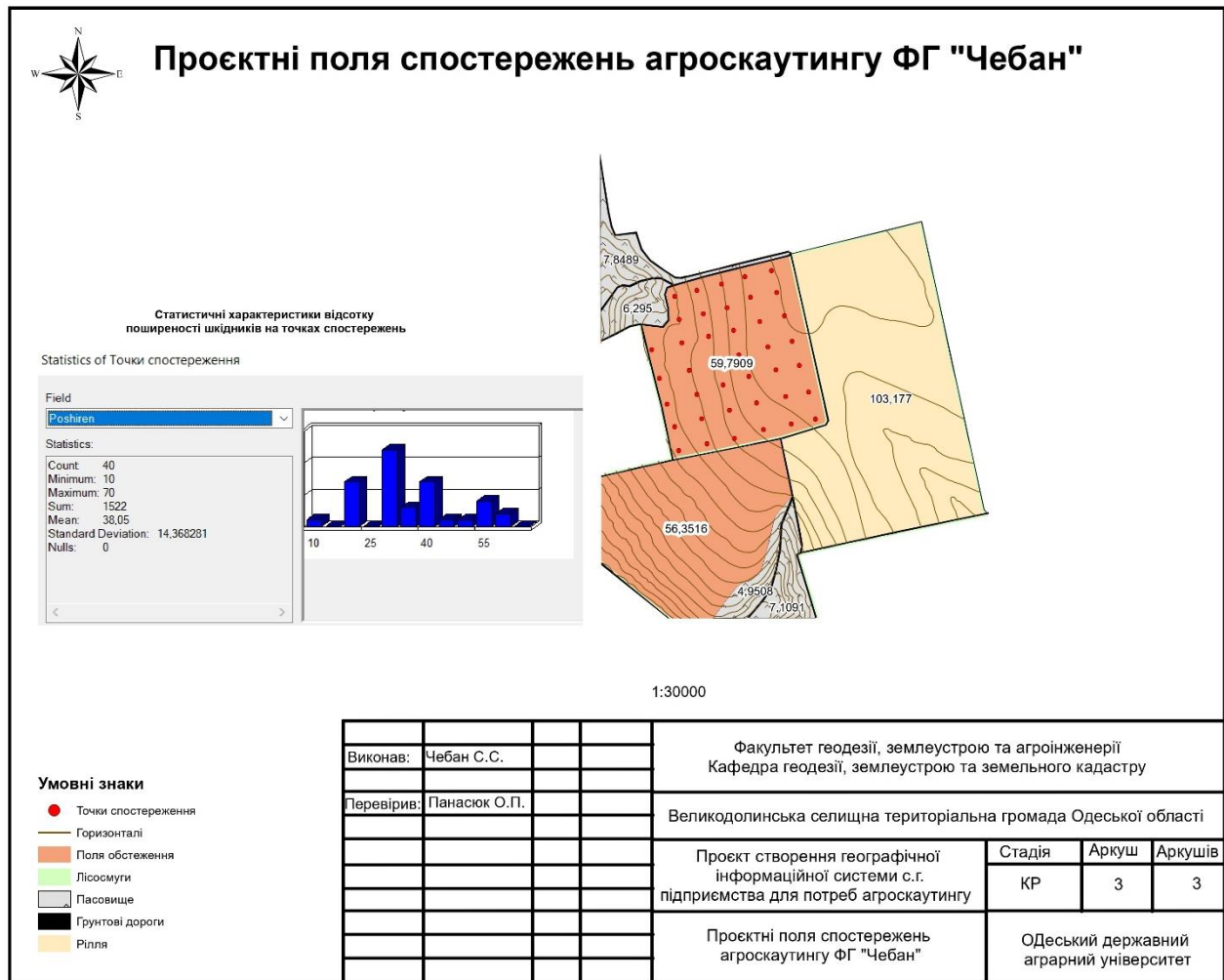


Рисунок 4.3 – Карта-схема з позначенням ділянок, що підлягають обробці

Після виконання обробки агроном вносить відмітку до атрибутивної таблиці: поле «Zakhid» – назва препарату і норма витрати, поле «Data_Obst» – дата

обробки. Через 7–10 днів проводиться повторний скаутинг для оцінки ефективності заходу: якщо кількість шкідника знизилася до безпечного рівня, захід вважається успішним; якщо ні – приймається рішення про повторну обробку.

Таким чином, ГІС стає основою замкненого циклу управління фітосанітарним станом посівів.

Система, створена в рамках цієї роботи, є базовою і може бути розвинена у кількох напрямках. По-перше, інтеграція з мобільними ГІС-додатками дозволить агроному-скауту вносити дані безпосередньо в полі через смартфон або планшет – без паперових бланків і без ризику втрати даних при перенесенні.

По-друге, підключення автоматичних джерел даних – метеостанцій, датчиків вологості ґрунту, систем моніторингу врожайності – дозволить збагатити ГІС даними, що збираються без участі людини. Це особливо важливо для ранньої діагностики: зниження вологості ґрунту нижче критичного рівня, різкий перепад температур або довготривалий туман – усі ці фактори збільшують ризик розвитку певних хвороб, і ГІС може автоматично генерувати попередження про підвищений ризик на конкретних полях.

По-третє, накопичення багаторічної бази даних скаутингу дозволить виявляти просторові закономірності – де і за яких умов певні шкідники з'являються щорічно. На основі цього агроном може формувати профілактичну стратегію замість реактивної.

По-четверте, в перспективі ГІС може бути розширена до повноцінної платформи точного землеробства з диференційованим внесенням добрив і засобів захисту. Карти агроскаутингу стануть одним із вхідних шарів для генерації завдань для обприскувачів і розсівачів добрив із GPS-навігацією і змінною нормою внесення. Це дозволить зменшити витрати на засоби захисту і добрива при одночасному збереженні або підвищенні врожайності.

Загалом ГІС агроскаутингу є першим і необхідним кроком на шляху сільськогосподарського підприємства до цифрового точного землеробства.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було створено географічну інформаційну систему сільськогосподарського підприємства для потреб агроскаутингу.

У першому розділі розглянуто нормативно-правову базу і спеціальну літературу. Встановлено, що діяльність у сфері геопросторових даних в Україні регулюється Законом «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» (2020), Земельним кодексом, Законом «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» та рядом підзаконних актів. Стратегія розвитку сільського господарства до 2030 року прямо визначає цифровізацію і ГІС як пріоритет. Огляд літератури показав, що база для створення агроскаутингової ГІС є достатньо розвиненою.

У другому розділі виконана практична робота зі створення ГІС. Завантажено растровий знімок масштабу 1:10 000 (формат TIFF, розмір 2603×2292 пікселі). Виконано геопросторову прив'язку знімка за 4 контрольними точками в умовній системі координат. Створено 16 векторних шарів у форматі Shapefile, що охоплюють усі категорії угідь і об'єктів господарства: рілля (9 полігонів), сади (3), пасовище (26), ліс (5), лісосмуги (14), ґрунтові дороги (43), магістральна дорога (1), кладовище (1), господарські двори (2), населений пункт (1), річка (7), озеро (4), болото (2), ділянки обстеження (2), точки спостереження (40), горизонталі (60). виправлено топологічні помилки: 4 перекриття полігонів, 7 прогалин між полігонами, 23 обірваних кінці ліній, 4 дублікати. Сформовані атрибутивні таблиці для всіх шарів із полями, що описують агрономічні та адміністративні характеристики об'єктів. Виконано картографічне оформлення і складено макет карти у форматі A3 із усіма обов'язковими елементами.

Наступним етапом виконано просторовий аналіз і статистичну обробку. Розраховано площі всіх полігональних шарів у гектарах. Загальна площа

господарства становить 1395,108 га. Найбільшу частку займає рілля – 842,2968 га (52,0% без урахування ділянок обстеження) або 842,30 га (60,4% з ділянками обстеження). Пасовища займають 221,1 га (15,9%), заліснені території – 109,3 га (7,8%), інфраструктура – 63,0 га (4,5%), болота – 16,4 га (1,2%), водні об'єкти – 1,6 га (0,1%). Для шару «Рілля» засобом Statistics розраховані: мінімальна площа поля – 66,2 га (FID=4), максимальна – 145,4 га (FID=2), середня – 103,7 га, стандартне відхилення – 27,1 га. За допомогою Summary Statistics розраховано зведену статистику площ по культурах. Побудовано горизонтальну діаграму за площами шарів ріллі, яку включено до макету карти.

Останнім етапом стало визначення практичного застосування створеної ГІС для агроскаутингу. Описано організацію маршрутів польового обстеження на основі шарів «Ділянки обстеження» і «Точки спостереження». Показано порядок внесення результатів скаутингу до атрибутивних таблиць ГІС. Описано тематичне картографування результатів: відображення точок скаутингу за ступенем ураження. Розглянуто перспективи розвитку системи: підключення мобільних клієнтів для польового введення даних, інтеграція метеоданих і датчиків, накопичення багаторічної бази даних для виявлення просторових закономірностей, перехід до диференційованого внесення засобів захисту і добрив.

Таким чином, мета кваліфікаційної роботи досягнута: створена ГІС сільськогосподарського підприємства є функціональним інструментом для проведення агроскаутингу, що забезпечує просторовий облік стану посівів, підтримку прийняття рішень і документування захисних заходів. Практична цінність роботи полягає в тому, що розроблена ГІС може бути безпосередньо впроваджена у виробничу діяльність господарства після заміни навчальної системи координат на реальну (УСК-2000 або WGS-84) і актуалізації атрибутивних даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Донченко М. В., Коваленко І. І. Геоінформаційні системи : навч. посіб. Миколаїв : ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 216 с.
2. ДСТУ ISO 19131:2019. Географічна інформація. Специфікація геоінформаційного продукту. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 36 с.
3. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. 492 с.
4. Земельний кодекс України : Закон України від 25.10.2001 р. № 2768-III. Відомості Верховної Ради України. 2002. № 3–4. Ст. 27.
5. Казаченко Л., Казаченко В., Жидкова Т. GIS technologies and 3D simulation in mapping manifestation of exogenic processes in renewable territories. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2021. Вип. 94. С. 29–34. DOI: 10.23939/istcgcap2021.94.029.
6. Купач Т. Г., Гринюк О. Ю. Географічні інформаційні системи: практичне застосування у географічних дослідженнях : навч. посіб. для студентів денної форми навчання спеціальностей «Географія» та «Середня освіта: географія». 2-ге вид., допов. Київ : ФОП Кравченко Я. О., 2021. 85 с.
7. Ліпавський І. С. Застосування ГІС-технологій для створення карт сільського господарства України : випускна кваліфікаційна робота бакалавра : 103 Науки про Землю. Київ, 2021. 55 с.
8. Мороз Г. Б., Михайлюк В. І. Ґрунти середньо-сухостепового педоекотону Північно-Західного Причорномор'я : монографія. Львів : ЗУКЦ, 2011. 184 с. ISBN 978-617-655-003-7.
9. Морозов В. В., Шапоринська Н. М., Морозов О. В., Пічура В. І. Геоінформаційні системи в агросфері : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2010. 272 с.

10. Павленко Л. А. Геоінформаційні системи : навч. посіб. Харків : Вид. ХНЕУ, 2013. 260 с.

11. Про електронні документи та електронний документообіг : Закон України від 22.05.2003 р. № 851-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 36. Ст. 275.

12. Про затвердження Порядку ведення державного земельного кадастру : постанова Кабінету Міністрів України від 17.10.2012 р. № 1051. Офіційний вісник України. 2012. № 89. Ст. 3601.

13. Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних : постанова Кабінету Міністрів України від 26.05.2021 р. № 532. Офіційний вісник України. 2021. № 43. Ст. 2615.

14. Про затвердження Технічних вимог до специфікацій геопросторових даних національної інфраструктури геопросторових даних : наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 10.11.2021 р. № 347. Офіційний вісник України. 2022. № 2. Ст. 87.

15. Про захист персональних даних : Закон України від 01.06.2010 р. № 2297-VI. Відомості Верховної Ради України. 2010. № 34. Ст. 481.

16. Про землеустрій : Закон України від 22.05.2003 р. № 858-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 36. Ст. 282.

17. Про національну інфраструктуру геопросторових даних : Закон України від 13.04.2020 р. № 554-IX. Відомості Верховної Ради України. 2020. № 28. Ст. 193.

18. Про схвалення Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.11.2024 р. № 1163-р. Урядовий кур'єр. 2024.

19. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність : Закон України від 23.12.1998 р. № 353-XIV. Відомості Верховної Ради України. 1999. № 5–6. Ст. 46.

20. Публічна кадастрова карта України / Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. URL: Публічна кадастрова карта України (дата звернення: 25.03.2026).
21. Самойленко В. М., Даценко Л. М., Діброва І. О. GIS Designing : textbook. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2021. 490 с.
22. Самойленко В. М., Корогода Н. П. Географічні інформаційні системи та технології : навч. посіб. Київ, 2010. 296 с.
23. Світличний О. О., Плотницький С. В. Основи геоінформатики : навч. посіб. Суми : Університетська книга, 2006. 295 с.
24. Сонько С. П. Дистанційні методи та ГІС у природокористуванні : опор. конспект лекцій для аспірантів спеціальності 103 «Науки про Землю». Умань : УНУС, 2016. 87 с.
25. Тарасов В. М. Географічні інформаційні системи : підручник. Київ : НУОУ, 2016. 240 с.
26. Часковський О., Андрейчук Ю., Ямелинець Т. Застосування ГІС у природоохоронній справі на прикладі відкритої програми QGIS : навч. посіб. Львів : Простір-М, 2021. 228 с.
27. Четверіков Б. В. Геоінформаційні системи і бази даних в агроінженерії : навч. посіб. Львів : Львівська політехніка, 2024. 196 с.
28. Шевченко Р. Ю. Геоінформаційні системи в екології : підручник. Київ : Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2022. 392 с.
29. Ямелинець Т. С. Геоінформаційні системи у ґрунтознавстві. Львів, 2015. 184 с.
30. Agro-geoinformatics: Theory and Practice / ed. by L. Di, B. Üstündağ. Cham : Springer, 2021. 418 p. DOI: 10.1007/978-3-030-66387-2.
31. Bongiovanni R., Lowenberg-DeBoer J. Precision agriculture and sustainability. Precision Agriculture. 2004. Vol. 5. P. 359–387.

32. Burrough P. A., McDonnell R. A., Lloyd C. D. Principles of Geographical Information Systems. Oxford : Oxford University Press, 2015. 333 p.
33. ClimateFieldView. The Climate Corporation (Bayer). URL: ClimateFieldView (дата звернення: 25.03.2026).
34. de By R. A. (ed.). Principles of Geographic Information Systems. Enschede : ITC, 2004. 540 p. URL: Principles of Geographic Information Systems PDF (дата звернення: 25.03.2026).
35. ESRI. ArcGIS Desktop 10.5 Help : Field Calculator. URL: ArcGIS Desktop 10.5 Help: Field Calculator (дата звернення: 25.03.2026).
36. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision agriculture and food security. Science. 2010. Vol. 327. P. 828–831.
37. Ghosh P., Kumpatla S. P. GIS Applications in Agriculture. Geographic Information Systems and Applications in Coastal Studies. London : IntechOpen, 2022.
38. Geospatial Technologies for Crops and Soils / ed. by T. Mitran, R. S. Meena, A. Chakraborty. Singapore : Springer, 2021. 521 p. DOI: 10.1007/978-981-15-6864-0.
39. Han S., Evans R. G., Schmoldt D. L. Making GIS a versatile analytical tool for research in precision farming. Computers and Electronics in Agriculture. 1999. Vol. 22. P. 221–231.
40. Haque S. J., Hossain S., Billah M. M. Precision Agriculture through Remote Sensing and GIS: Advancing Sustainable Farming and Climate Resilience. American Journal of Smart Technology and Solutions. 2025. Vol. 4, No. 1. P. 30–36.
41. Ingram U., Patterson M., Bailey A., Ignatius A., Mobasher K. Introduction to Geographic Information Systems (GIS). Georgia : University System of Georgia, 2021.
42. Jones H. G., Vaughan R. A. Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications. Oxford : Oxford University Press, 2010. 353 p.
43. Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F. X. Deep learning in agriculture: A survey. Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 147. P. 70–90.

44. Liaghat S., Balasundram S. K. A review: The role of remote sensing in precision agriculture. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 2010. Vol. 5. P. 50–55.
45. Lillesand T., Kiefer R., Chipman J. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 7th ed. New York : Wiley, 2015. 736 p.
46. Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. *Geographic Information Science and Systems*. 4th ed. Hoboken : Wiley, 2015. 496 p.
47. Mahanta C. K., Prusty A. K., Saha P. Application of GIS in Agriculture. *Advances in Agricultural Research Methodology*. 2024. P. 385–396.
48. McBratney A., Whelan B., Ancev T., Bouma J. Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*. 2005. Vol. 6. P. 7–23.
49. Mulla D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*. 2013. Vol. 114. P. 358–371.
50. Pierce F. J., Clay D. *GIS Applications in Agriculture: Environmental and Crop Production*. Boca Raton : CRC Press, 2007.
51. QGIS User Guide / QGIS Development Team. 2024. URL: QGIS User Guide (дата звернення: 25.03.2026).
52. Raihan A. A Systematic Review of Geographic Information Systems (GIS) in Agriculture for Evidence-Based Decision Making and Sustainability. *Global Sustainability Research*. 2024. Vol. 3, No. 1.
53. Rama Raju K. V. V., Kumar K. R., Sindhuja K., Sandeep N. Using GIS for Precision Agriculture: Monitoring Crop and Soil Health. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*. 2024. Vol. 12, No. 1. P. 867–872. URL: Using GIS for Precision Agriculture: Monitoring Crop and Soil Health (дата звернення: 25.03.2026).
54. Saniga, Krishnappa G., Sushma. Precision Agriculture: Technologies and Application. *Agronomy Vistas: Emerging Trends in Crop Science*. 2024. P. 44–58.

55. Satellite Monitoring in Precision Agriculture. EOS Data Analytics. URL: Satellite Monitoring in Precision Agriculture (дата звернення: 25.03.2026).

56. Shannon D. K., Clay D. E., Sudduth K. A. Introduction to Precision Agriculture. University of Minnesota Extension, 2018. URL: Introduction to Precision Agriculture (дата звернення: 25.03.2026).

57. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming – A review. Agricultural Systems. 2017. Vol. 153. P. 69–80.

58. Zhang J. The Principles, Applications, and Development Trends of GIS and Remote Sensing Technology in Precision Agriculture. 2025. DOI: DOI:10.54254/2753-8818/2025.LD25384 (дата звернення: 25.03.2026).

59. Zhang N., Wang M., Wang N. Precision agriculture – a worldwide overview. Computers and Electronics in Agriculture. 2002. Vol. 36. P. 113–132.