

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та екології
Кафедра геоматики, землеустрою та планування територій

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр

на тему:

ВИЯВЛЕННЯ ЗМІН АГРОЛАНДШАФТІВ ЗАСОБАМИ
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
Геодезія та землеустрій
спеціальності *193 Геодезія та землеустрій*
ступеня вищої освіти *бакалавр*
денної форми навчання
КУШКО Андрій Володимирович

Керівник: д.геогр.н., проф. ШЕВЧУК С. М.
Рецензент: к.с-г.н., доц. ЛАСЛЮ О. О.

РЕФЕРАТ

Основна частина кваліфікаційної роботи виконана на 65 сторінках тексту, відображена у 8 таблицях та 5 рисунках.

Робота складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 50 найменувань.

Об'єкт дослідження – аглоландшафти сільськогосподарського призначення як елемент геосистем, що зазнають змін під впливом природних і антропогенних факторів.

Предмет дослідження – процеси зміни структури, стану та функціональних характеристик аглоландшафтів, виявлені засобами дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу.

Актуальність теми. В умовах повномасштабної війни в Україні, що триває з 2022 року, питання збереження, відновлення та сталого управління земельними ресурсами набули надзвичайної ваги. Збройна агресія Російської Федерації спричинила значні трансформації аглоландшафтів, особливо у прифронтових та тимчасово окупованих регіонах, де відбулися масштабні руйнування інфраструктури, мінування територій, порушення ґрунтового покриву, забруднення хімічними речовинами та деградація сільськогосподарських угідь. Виявлення і моніторинг цих змін є критично важливими для оцінки масштабів збитків, розроблення стратегій відновлення та забезпечення продовольчої безпеки країни.

З огляду на складність і розмаїття сучасних змін аглоландшафтів, традиційні методи польового обстеження територій виявляються недостатньо ефективними, особливо на великих площах або в зонах з обмеженим доступом. У цьому контексті актуальним є використання засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які забезпечують оперативне, регулярне та просторово повне спостереження за станом земель і динамікою їх використання. Сучасні супутникові системи, зокрема Sentinel, Landsat, PlanetScore тощо, дозволяють здійснювати багатоспектральний аналіз земної поверхні, виявляти зміни в рослинному покриві, вологозабезпеченні ґрунтів, ерозійних процесах та структурі землекористування.

Особливої актуальності набуває питання адаптації інструментарію ДЗЗ до потреб національної системи моніторингу аглоландшафтів, інтеграції даних із геоінформаційними системами та формування єдиного підходу до оцінки змін, спричинених як природними, так і антропогенними, зокрема воєнними чинниками. У цьому контексті фахівці із геодезії та землеустрою виконують ключову роль у процесі збору, обробки та інтерпретації просторових даних, що мають безпосереднє практичне значення для планування землекористування, відновлення зруйнованих територій.

Актуальність дослідження також зумовлена потребою у створенні науково обґрунтованих методик оцінки змін аглоландшафтів, здатних враховувати особливості поствоєнного розвитку сільських територій. Аналіз супутникових знімків у поєднанні з методами просторового моделювання дає змогу не лише зафіксувати поточний стан території, а й прогнозувати

подальші сценарії її трансформації.

Таким чином, вибір теми дипломної роботи є своєчасним і обґрунтованим з огляду на національні потреби у забезпеченні продовольчої, екологічної та земельної безпеки, особливо в період збройного конфлікту. Використання засобів дистанційного зондування Землі для виявлення змін агроландшафтів відкриває нові можливості для ефективного управління територіями та сприяє інтеграції України до сучасного європейського простору моніторингу довкілля та землекористування.

Мета кваліфікаційної роботи – виявити та проаналізувати просторово-часові зміни агроландшафтів за допомогою дистанційного зондування Землі, визначити основні індикатори динаміки сільськогосподарських територій і оцінити можливості використання сучасних ГІС-інструментів для екологічного моніторингу.

Практичне значення полягає у можливості використання розробленої методології для вдосконалення практики управління сільськогосподарськими угіддями, збереження родючості ґрунтів, оптимізації агроландшафтної структури територій та екологічно збалансованого планування землекористування.

Перший розділ «Теоретичні та методичні засади дослідження агроландшафтів» присвячений аналізу ключових понять, класифікацій і структурних характеристик агроландшафтів, що становлять основу сучасного землекористування. У цьому розділі розглядаються підходи до моніторингу агроландшафтів із використанням даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій, а також описуються основні методи геоінформаційного картографування, що дозволяють відображати динаміку ландшафтних змін у просторі та часі.

Другий розділ «Технологія дистанційних досліджень динаміки агроландшафтів» спрямований на висвітлення практичних аспектів роботи з геопросторовими даними. У ньому розглядаються основні джерела супутникової інформації, зокрема відкриті дані програм Copernicus та Google Earth Engine. Також описується процес збирання, обробки та попереднього аналізу вихідних даних, які є основою для подальшого моделювання змін агроландшафтів.

Третій розділ «Моделювання та інтерпретація результатів виявлення змін агроландшафтів» присвячений аналізу результатів дистанційного моніторингу. У ньому розглядаються підходи до оцінки стану ґрунтів і земель сільськогосподарського призначення на основі супутникових спостережень. Особливу увагу приділено визначенню основних показників родючості ґрунтів, що дає змогу виявляти негативні тенденції та формувати рекомендації щодо раціонального використання земельних ресурсів.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – для моніторингу агроландшафтів і планування раціонального землекористування.

Сфера застосування результатів роботи – органи місцевого самоврядування, землевпорядні організації, аграрні підприємства.

Результат перевірки тексту на плагіат за допомогою сервісу Turnitin: унікальність тексту – 94 %.

ЗМІСТ

ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ АГРОЛАНДШАФТІВ	7
1.1. Поняття, класифікація та структура агроландшафтів	7
1.2. Моніторинг агроландшафтів за даними ДЗЗ та ГІС-технологій	14
1.3. Методи геоінформаційного картографування агроландшафтів	20
Висновки до першого розділу	25
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЯ ДИСТАНЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИНАМІКИ АГРОЛАНДШАФТІВ	27
2.1. Джерела геопросторових даних для дослідження агроландшафтів.....	27
2.2. Збирання та опрацювання вихідних даних.....	32
Висновки до другого розділу	38
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВІЯВЛЕННЯ ЗМІН АГРОЛАНДШАФТІВ	40
3.1. Моніторинг основних показників родючості ґрунтів	40
3.2. Моніторинг змін агроландшафту.....	47
Висновки до третього розділу	54
ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В умовах повномасштабної війни в Україні, що триває з 2022 року, питання збереження, відновлення та сталого управління земельними ресурсами набули надзвичайної ваги. Збройна агресія Російської Федерації спричинила значні трансформації агроландшафтів, особливо у прифронтових та тимчасово окупованих регіонах, де відбулися масштабні руйнування інфраструктури, мінування територій, порушення ґрунтового покриву, забруднення хімічними речовинами та деградація сільськогосподарських угідь. Виявлення і моніторинг цих змін є критично важливими для оцінки масштабів збитків, розроблення стратегій відновлення та забезпечення продовольчої безпеки країни.

З огляду на складність і розмаїття сучасних змін агроландшафтів, традиційні методи польового обстеження територій виявляються недостатньо ефективними, особливо на великих площах або в зонах з обмеженим доступом. У цьому контексті актуальним є використання засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які забезпечують оперативне, регулярне та просторово повне спостереження за станом земель і динамікою їх використання. Сучасні супутникові системи, зокрема Sentinel, Landsat, PlanetScope тощо, дозволяють здійснювати багатоспектральний аналіз земної поверхні, виявляти зміни в рослинному покриві, вологозабезпеченні ґрунтів, ерозійних процесах та структурі землекористування.

Особливої актуальності набуває питання адаптації інструментарію ДЗЗ до потреб національної системи моніторингу агроландшафтів, інтеграції даних із геоінформаційними системами та формування єдиного підходу до оцінки змін, спричинених як природними, так і антропогенними, зокрема воєнними чинниками. У цьому контексті фахівці із геодезії та землеустрою виконують ключову роль у процесі збору, обробки та інтерпретації просторових даних, що мають безпосереднє практичне значення для аграрного сектору, планування землекористування, відновлення зруйнованих територій та екологічної реабілітації ландшафтів.

Актуальність дослідження також зумовлена потребою у створенні науково обґрунтованих методик оцінки змін агроландшафтів, здатних враховувати особливості поствоєнного розвитку сільських територій. Аналіз супутникових знімків у поєднанні з методами просторового моделювання дає змогу не лише зафіксувати поточний стан території, а й прогнозувати подальші сценарії її трансформації.

Таким чином, вибір теми дипломної роботи є своєчасним і обґрунтованим з огляду на національні потреби у забезпеченні продовольчої, екологічної та земельної безпеки, особливо в період збройного конфлікту. Використання засобів дистанційного зондування Землі для виявлення змін агроландшафтів відкриває нові можливості для ефективного управління територіями та сприяє інтеграції України до сучасного європейського простору моніторингу довкілля та землекористування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У контексті виявлення змін агроландшафтів засобами дистанційного зондування землі (ДЗЗ) за останні роки спостерігається зростаючий науковий інтерес до комплексного застосування геоінформаційних технологій, супутникових даних і методів картографічного моделювання для просторового аналізу трансформацій агроecosystem. Важливу теоретичну й методичну основу таких досліджень закладено в працях Булигіна С. Ю., Вітвіцького С. В., Бобра Т. В., Личак О. І. [12], де окреслено підходи до моніторингу стану ґрунтів і агроландшафтів як об'єктів планування сталого землекористування.

Значний внесок у розвиток методів застосування даних ДЗЗ для моніторингу сільськогосподарських територій зроблено Власовою О. В. та Шевченком А. М. [15, 16, 17], які обґрунтували підходи до виявлення змін у засолених ґрунтах за супутниковими знімками. Автори продемонстрували, як супутникові дані можуть забезпечити своєчасне виявлення деградаційних процесів у агроландшафтах. Результати досліджень С. М. Шевчука, зокрема у співавторстві з Ласло О. О. та Оніпко В. В. [34], акцентують увагу на оцінці розораності, фрагментації та антропогенного навантаження в агроландшафтах

Полтавської області з використанням методів картографічного моделювання. Їхня робота є особливо цінною для прикладних досліджень, спрямованих на регіональну оцінку стану сільськогосподарських земель.

У дослідженнях Кохана С. С. і Колотія А. [32, 33] аналізується ідентифікація сільськогосподарських культур та оцінка біофізичних предикторів урожайності на основі супутникових часових рядів, що демонструє високий потенціал ДЗЗ у прогнозуванні агровиробничих показників. Гебрин Л. В. і Гулько О. [19, 20, 23, 24] досліджують можливості аерокосмічного моніторингу для контролю ефективності використання земель сільськогосподарського призначення в умовах змін клімату й інтенсифікації землекористування.

Теоретичні основи ландшафтної організації аграрних територій подано у працях Білоліпського В. О. [9] та Булигіна С. Ю. [12, 13], які висвітлюють підходи до оптимізації структури агроландшафтів з урахуванням природоохоронних принципів. Праці Байрака Г. Р. [8], Бурштинської Х. В. [14] і Жолобака Г. М. [30] містять вагомні методичні положення щодо обробки та інтерпретації супутникових зображень для агроекологічного аналізу. Дослідження Войнова В. Р. [18] поглиблюють наукові уявлення про моніторинг стану агроценозів із залученням багатоспектральних даних.

Таким чином, аналіз наукових джерел свідчить про міждисциплінарний характер проблематики, поєднання методів дистанційного зондування, геоінформаційних систем і ландшафтно-екологічного підходу. Проте, попри наявність значного наукового доробку, потребують подальшого розвитку прикладні алгоритми виявлення просторово-часових змін у агроландшафтах конкретних регіонів України, що й обумовлює актуальність даного дослідження.

Об'єкт дослідження – агроландшафти сільськогосподарського призначення як елемент геосистем, що зазнають змін під впливом природних і антропогенних факторів.

Предмет дослідження – процеси зміни структури, стану та функціональних характеристик агроландшафтів, виявлені засобами дистанційного зондування Землі та геоінформаційного аналізу.

Мета дослідження – виявити та проаналізувати просторово-часові зміни агроландшафтів за допомогою дистанційного зондування Землі, визначити основні індикатори динаміки сільськогосподарських територій і оцінити можливості використання сучасних ГІС-інструментів для екологічного моніторингу.

Виходячи з мети дослідження, сформульовано такі *завдання*:

1. Дослідити теоретичні засади поняття, структури та класифікації агроландшафтів, а також методи їх моніторингу на основі ДЗЗ і ГІС-технологій.
2. Оцінити джерела геопросторових даних, розглянути етапи збирання та обробки супутникової інформації для виявлення змін агроландшафтів.
3. Застосувати методи геоінформаційного моделювання для аналізу динаміки сільськогосподарських угідь, інтерпретації змін стану ґрунтів і показників родючості.

Вихідні дані дослідження. У роботі використано супутникові знімки (зокрема Sentinel-2), що доступні у відкритих джерелах (Copernicus Open Access Hub, Google Earth Engine), матеріали наукових досліджень, офіційну статистичну інформацію щодо землекористування, а також чинну нормативно-правову базу України у сфері земельних ресурсів, охорони ґрунтів, дистанційного зондування та екологічного моніторингу.

Методи дослідження. Застосовано міждисциплінарний підхід, що охоплює аналіз наукової літератури та нормативних документів; використано картографічні методи для візуалізації ландшафтних структур; обробку супутникових знімків для виявлення змін землекористування; геоінформаційне моделювання – для аналізу просторових і часових змін; статистичні методи – для оцінки показників продуктивності та родючості ґрунтів.

Наукова новизна роботи полягає в системному підході до вивчення динаміки агроландшафтів на основі дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій, що дозволяє ефективно поєднувати просторові, екологічні й аграрні індикатори для комплексного моніторингу.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання

розробленої методології для вдосконалення практики управління сільськогосподарськими угіддями, збереження родючості ґрунтів, оптимізації агроландшафтної структури територій та екологічно збалансованого планування землекористування.

Структура дипломної роботи. Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Перший розділ «Теоретичні та методичні засади дослідження агроландшафтів» присвячений аналізу ключових понять, класифікацій і структурних характеристик агроландшафтів, що становлять основу сучасного землекористування. У цьому розділі розглядаються підходи до моніторингу агроландшафтів із використанням даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій, а також описуються основні методи геоінформаційного картографування, що дозволяють відображати динаміку ландшафтних змін у просторі та часі.

Другий розділ «Технологія дистанційних досліджень динаміки агроландшафтів» спрямований на висвітлення практичних аспектів роботи з геопросторовими даними. У ньому розглядаються основні джерела супутникової інформації, зокрема відкриті дані програм Copernicus та Google Earth Engine. Також описується процес збирання, обробки та попереднього аналізу вихідних даних, які є основою для подальшого моделювання змін агроландшафтів.

Третій розділ «Моделювання та інтерпретація результатів виявлення змін агроландшафтів» присвячений аналізу результатів дистанційного моніторингу. У ньому розглядаються підходи до оцінки стану ґрунтів і земель сільськогосподарського призначення на основі супутникових спостережень. Особливу увагу приділено визначенню основних показників родючості ґрунтів, що дає змогу виявляти негативні тенденції та формувати рекомендації щодо раціонального використання земельних ресурсів.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ АГРОЛАНДШАФТІВ

1.1. Поняття, класифікація та структура агроландшафтів

Поняття «агроландшафт» є результатом тривалого еволюційного розвитку ландшафтознавства як науки, витоки якого сягають кінця ХІХ століття, коли було закладено фундаментальні основи системного вивчення природних комплексів. Засновником наукового підходу до вивчення взаємозв'язку між природними умовами та людською діяльністю став В. Докучаєв, який розглядав землю не як ізольований об'єкт, а як складову природної системи, що змінюється під впливом клімату, рельєфу, рослинності та господарської діяльності. Його праці започаткували цілісне бачення географічного середовища як комплексу взаємодіючих складників [25].

Таблиця 1.1.

Формування підходів до визначення поняття агроландшафту

Вчений	Визначення агроландшафту / внесок у розвиток поняття
В. Докучаєв	Розглядав землю як частину природної системи, на яку впливають клімат, рельєф, рослинність і господарська діяльність; заклав основи для розуміння природно-антропогенних систем.
Л. Берг	Увів термін «ландшафт» у географічному значенні, сформував уявлення про взаємозв'язок природних компонентів у комплексі.
Ф. Мільков	Засновник антропогенного ландшафтознавства; розглядав агроландшафт як нову геосистему, сформовану тривалим впливом господарської діяльності, з функціональною складністю.
В. Ніколаєв	Акцентував на системності агроландшафту як трансформованої природної структури з урахуванням інтенсивного сільськогосподарського використання.
Г. Швебс	Розробляв класифікації агроландшафтів та вивчав їхню просторову організацію, функціональні характеристики.
О. Тараріко	Визначав агроландшафт як середовище формування агрофітоценозів, організоване за принципом взаємодії людини з природним середовищем.
О. Власова	У працях з дистанційного зондування аналізувала просторові аспекти та екологічний стан агроландшафтів; розглядала їх як динамічні системи, чутливі до меліоративних і агротехнічних змін.
В. Войнов	Досліджував стан агроценозів і агроландшафтів методами аерокосмічного моніторингу, підкреслюючи залежність просторової організації агроландшафту від природно-кліматичних факторів.
В. Білоліпський	Агроландшафт – це динамічна система, оптимізація якої передбачає ґрунтоохоронний підхід, з урахуванням еколого-економічних умов, водного режиму та впливу на продуктивність.
Е. Бондаренко, В. Шевченко	Агроландшафт є об'єктом геоінформаційного моделювання в межах еколого-географічного картографування, що дозволяє виявляти

	структурні й функціональні особливості агросистем у просторі.
А. Ачасов, В. Курілов	Агроландшафт – це складова локальних геоінформаційних систем, які служать інформаційною основою для планування раціонального землекористування та сталого аграрного розвитку.

Розвиток ідей Докучаєва підхопили численні його учні, серед яких варто виокремити Л. Берга, котрий у своїх дослідженнях уже в 1910-х рр. запропонував перші класифікації природних ландшафтів і започаткував використання самого терміна «ландшафт» у географічному значенні. Цим він розширив розуміння просторової структури земної поверхні, ввівши концепцію взаємозв'язку природних компонентів в єдиному комплексі. Подальші дослідження науковців поступово розширювали предмет вивчення ландшафтознавства, включаючи як фізико-географічні, так і антропогенні аспекти.

Упродовж ХХ століття виникли нові напрями, які фокусуються на різних характеристиках природних систем: морфологія ландшафту, геохімія, біогеоценологія, геофізика, а також антропогенне ландшафтознавство, започатковане Ф. Мільковим. У межах останнього досліджувалися зміни природних комплексів під впливом господарської діяльності людини, зокрема сільського господарства. Саме на цьому етапі розпочинається формування поняття агроландшафту як специфічної форми природно-антропогенної геосистеми [25].

Агроландшафт як наукова категорія починає набувати популярності з 1980-х років. Його становлення як об'єкта дослідження стало можливим завдяки синтезу знань географії, екології, агрономії та землеустрою. Основоположниками сучасного розуміння агроландшафтів стали вітчизняні та зарубіжні вчені, серед яких В. Ніколаєв, Г. Швєбс, С. Булигін, В. Бураков, М. Лопирєв. Вони запропонували розглядати агроландшафт як специфічну форму природного комплексу, трансформованого сільськогосподарським виробництвом і адаптованого до потреб людини.

На сучасному етапі агроландшафт визначають як природно-антропогенну систему, що формується та функціонує в умовах постійної взаємодії людини з

навколишнім середовищем у межах сільськогосподарського освоєння території. Одне з поширених визначень належить О. Тараріко, який трактує агроландшафт як середовище, де відбувається формування агрофітоценозів і здійснюється життєдіяльність людини. Важливою рисою таких систем є їх просторово-функціональна організація, обумовлена не лише природними чинниками, а й цілеспрямованими змінами, внесеними людиною. Агроландшафти мають різну структуру залежно від типу землекористування, ступеня перетвореності природних компонентів та інтенсивності сільськогосподарської діяльності.

Інший підхід до визначення агроландшафту запропонували Ф. Мільков та В. Ніколаєв. Вони підкреслювали тривалий характер взаємодії господарства та природи, в результаті якої формується новий тип геосистеми з унікальними ознаками. Ці автори вказували на функціональну складність агроландшафту, що проявляється у поєднанні природних процесів із господарськими, зокрема виробництвом, обробітком, меліорацією, освоєнням території [21].

Зважаючи на розмаїття підходів, можна дійти висновку, що агроландшафт – це не просто територія з сільськогосподарськими угіддями, а складна і динамічна система, де поєднуються екологічні, економічні та соціальні чинники. Його аналіз потребує міждисциплінарного підходу та врахування багатьох аспектів, включаючи природні умови, структуру землекористування, тип агровиробництва, ландшафтну стійкість і вплив на довкілля.

Таким чином, формування поняття агроландшафту стало логічним продовженням розвитку ландшафтознавства. Від узагальнень про широтну зональність і природні комплекси у працях Докучаєва до сучасного усвідомлення складних взаємозв'язків людини та природи в межах агровикористання – цей шлях ілюструє постійне розширення горизонту наукового пізнання. Поняття агроландшафту нині слугує не лише аналітичним інструментом для дослідників, а й практичним орієнтиром для раціонального планування землекористування та охорони довкілля в аграрному секторі.

Агроландшафт, як окрема форма антропогенного ландшафту, постає результатом складної взаємодії природного середовища і господарської

діяльності людини. Його основою є агроценози – штучно створені або трансформовані угіддя, серед яких переважають рілля, сіножаті, пасовища, багаторічні насадження, а також елементи інфраструктури: лісосмуги, польові дороги, гідротехнічні споруди, межі полів і сівозмін. Ці просторово організовані елементи формують цілісну систему, яка об'єднує природні компоненти (рельєф, клімат, ґрунти, води, рослинність) з результатами техногенного впливу – обробітком землі, меліорацією, будівництвом господарських об'єктів тощо.

Агроландшафт є не лише географічним простором із певним функціональним навантаженням, а й складною екосистемою, що перебуває в динамічному стані енергетичних та речовинних обмінів. У межах агроландшафту відбувається перетворення енергії, що забезпечує життєздатність агробіогеоценозів. Саме енергообмінні процеси є ключовими для розуміння його функціонування як суперсистеми, де гармонізуються природні закономірності й потреби суспільного виробництва. При цьому агроландшафт не ізольований від зовнішнього середовища: він включає в себе елементи навколишньої природи, людського середовища (населені пункти, комунікації, техногенні об'єкти) та екологічних зв'язків, які вимагають зваженого підходу до просторової організації території [40].

Загалом, поняття агроландшафту слід розглядати як результат поєднання трьох чинників: природного потенціалу території, господарської діяльності та екологічної доцільності. Це означає, що при його формуванні необхідно враховувати не лише агрономічні та економічні аспекти, а й екологічні – відновлення ландшафтної рівноваги, запобігання деградації ґрунтів, водної та вітрової ерозії, збереження біорізноманіття. Сучасний агроландшафт має не лише забезпечувати високу продуктивність сільськогосподарського виробництва, а й виконувати захисні, природоохоронні, кліматорегулювальні та естетичні функції [50].

З позиції функціональної класифікації агроландшафти можна поділити на два основні типи, сформовані в межах України: інтенсивно змінені, переважно степові, з високим рівнем розораності, де домінує монокультурне землеробство, і

більш екологічно збалансовані, мозаїчні за структурою лісостепові та поліські ландшафти, де поєднання природної і аграрної компонент дозволяє зберігати вищий рівень стійкості. У першому випадку система землеробства досягає межі біологічної й техногенної витривалості – що, в свою чергу, загрожує виникненням кризових явищ. У другому – природні чинники зберігають провідну роль у регуляції життєдіяльності агроecosystem [49].

У контексті сучасних викликів, пов'язаних з кліматичними змінами, деградацією ґрунтів та скороченням біорізноманіття, постає необхідність створення екологічно збалансованих агроландшафтів – таких, що спроможні забезпечити стабільність агросистем у довгостроковій перспективі. Вони мають формуватися не за адміністративно-господарськими, а за природними межами – басейнами річок, геоморфологічними структурами, ґрунтово-кліматичними зонами, що дозволяє гармонізувати ландшафтну організацію території із законами природи. Як показує досвід відновлення степів у межах докучаєвської моделі, саме повернення до екологічно обґрунтованого господарювання – збереження водно-ресурсного потенціалу, лісосмуг, регуляція ярів, обмеження розораності – дозволяє сформувати здоровий, стійкий агроландшафт [25].

Отже, агроландшафт є інтегрованим утворенням, що охоплює як природні, так і антропогенні компоненти, має динамічний характер та вимагає збалансованого управління з урахуванням екологічних, соціальних і господарських факторів. Його розвиток має ґрунтуватися на принципах довгострокової стійкості, енергоефективності, збереження ресурсів та дотримання екологічних закономірностей, що забезпечують стійку взаємодію людини з природним середовищем. Відтак, сутність агроландшафту полягає у формуванні просторів, де можливе гармонійне співіснування продуктивних функцій із збереженням природної рівноваги.

Таким чином, агроландшафти – це результат тривалого і системного впливу сільськогосподарської діяльності людини на природні ландшафти. Вони виникають у процесі цілеспрямованого використання природних ресурсів для потреб землеробства, тваринництва, садівництва тощо, і характеризуються

глибокими змінами у структурі ґрунтового покриву, рослинності, гідрологічному режимі та інших природних компонентах. Агроландшафт розглядається як територіально-цілісна система, в якій поєднуються природні умови та господарська діяльність, що створює нову якість просторово-функціональної організації території.

Наукова класифікація агроландшафтів ґрунтується на різноманітних ознаках, серед яких основними є [44]:

- тип землекористування (орні, пасовищні, садові, виноградні, городні);
- рівень антропогенного навантаження (інтенсивні, екстенсивні, напівприродні);
- природно-кліматичні умови (степові, лісостепові, гірські, поліські тощо);
- тип ґрунтів і рельєфу (чорноземні, піщані, карстові, заболочені тощо);
- системи сільськогосподарського виробництва (зернові, тваринницько-рослинницькі, спеціалізовані).

У структурі агроландшафтів умовно виділяють три основні компоненти:

1. природна складова, яка охоплює:

- рельєф і геоморфологічні особливості;
- кліматичні умови (температура, опади, вітровий режим);
- гідрологічні ресурси (поверхневі та підземні води);
- ґрунтовий покрив (тип, структура, родючість);
- залишки природної рослинності (лісові масиви, балки, водно-болотні угіддя).

2. Антропогенна (господарська) складова, що включає:

- орні землі, сіножаті, пасовища, багаторічні насадження;
- меліоративні системи (зрошення, осушення);
- захисні лісосмуги, тваринницькі комплекси, склади, теплиці;
- технології агровиробництва (сівозміни, добрива, механізація).

3. Інфраструктурна складова, представлена:

- сільськогосподарськими дорогами й транспортними артеріями;
- мережами електро-, водо- та газопостачання;

- адміністративними межами та елементами управління територією;
- будівлями сільськогосподарського та допоміжного призначення.

Таблиця 1.2.

Компонентна структура агроландшафту [розробка автора]

Компонент	Основні елементи
Природна складова	<ul style="list-style-type: none"> • Рельєф, геоморфологія • Кліматичні умови (температура, опади, вітер) • Поверхневі та підземні води • Ґрунтовий покрив • Природна рослинність
Антропогенна (господарська) складова	<ul style="list-style-type: none"> • Орні землі, сіножаті, пасовища • Меліоративні системи • Лісосмуги, тваринницькі комплекси • Системи сівозмін, добрива, механізація
Інфраструктурна складова	<ul style="list-style-type: none"> • Дороги, транспортні мережі • Комунікації (електро-, водо-, газопостачання) • Адміністративні межі • Сільськогосподарські споруди

Просторово-функціональна структура агроландшафту має забезпечувати ефективну взаємодію між усіма зазначеними компонентами, з урахуванням принципів сталого розвитку, екологічної безпеки та економічної доцільності. Успішне функціонування агроландшафту можливе лише за умов збалансованого використання природних ресурсів, адаптації до кліматичних змін, мінімізації деградаційних процесів і впровадження сучасних технологій.

Сучасне розуміння агроландшафтів передбачає їхнє дослідження як соціоприродних систем, у яких природне середовище, господарська діяльність і просторове планування утворюють єдиний організм. Такий підхід сприяє оптимізації землекористування, збереженню родючості ґрунтів, запобіганню ерозії, підтриманню біорізноманіття та забезпеченню добробуту сільського населення [6].

Отже, агроландшафт – це складна система з багаторівневою структурою, яка формується під впливом як природних, так і соціально-економічних чинників. Його раціональна організація є запорукою ефективного та екологічно відповідального сільськогосподарського виробництва.

Таким чином, поняття агроландшафту сформувалося як результат багаторічного наукового пошуку, що поєднав еволюцію ландшафтознавчих

уявлень із поглибленим розумінням впливу господарської діяльності на природне середовище. Сучасне трактування агроландшафту охоплює його як природно-антропогенну систему, просторово організовану та функціонально орієнтовану на агровиробництво, яка відзначається складною структурою, динамічністю та високою чутливістю до зовнішніх змін. Такий підхід дає змогу розглядати агроландшафт не лише як об'єкт наукового аналізу, а й як практичну основу для планування раціонального землекористування, охорони довкілля та забезпечення сталого розвитку сільських територій.

1.2. Моніторинг агроландшафтів за даними ДЗЗ та ГІС-технологій

Протягом останніх десятиліть розвиток дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і геоінформаційних технологій відкрив нові можливості для моніторингу агроландшафтів. Просторове та спектральне розширення супутникових знімків суттєво зросло, що дозволило більш детально аналізувати динаміку змін у землекористуванні, стан сільськогосподарських угідь і функціонування агроландшафтних систем. Удосконалення аерофотозйомки, поява супутників з високою (до 1 м) просторовою роздільною здатністю та гіперспектральними каналами дали змогу здійснювати точне картографування агроландшафтів на різних рівнях деталізації – від глобального до локального [45].

Агроландшафтний моніторинг, як форма спостереження за станом використання сільськогосподарських територій, отримав нове значення в умовах зміни клімату, деградації ґрунтів та інтенсифікації землеробства. Він базується на створенні та використанні геоінформаційних баз даних, які містять відомості про просторову структуру, продуктивність, екологічний стан і динаміку змін агроландшафтів. Однак побудова таких баз – це лише початковий етап, адже повноцінний моніторинг передбачає подальший аналіз, оцінку та візуалізацію цих даних для прийняття управлінських рішень.

За приклад можна навести дослідження, виконані в Українському Поліссі (Ільїна О. та ін.), де за допомогою супутникових даних аналізувалися водно-болотні агроландшафтні комплекси в умовах меліорації та кліматичних змін.

Особлива увага приділялася визначенню індексів вегетації, вологості, температури поверхні, які дозволяють встановити стан рослинного покриву, ґрунтової вологи та інші агроекологічні параметри [7].

Іншим важливим прикладом є дослідження агролісових ландшафтів заплавлених річок, таких як долина Мерли, де за допомогою супутникових знімків вивчається структура лісонасаджень, розміщення ріллі та пасовищ, а також їхній взаємозв'язок у межах агроландшафтної мозаїки. Аналіз спектральних каналів дозволяє автоматизовано класифікувати землі сільськогосподарського призначення за рівнем продуктивності, ступенем ерозії, змінами вологості, що є основою для управління агровиробничим потенціалом території.

Провідні українські дослідники (зокрема О. Караїм) зазначають, що моніторинг агроландшафтів – це невід'ємна складова сучасної системи управління сільськогосподарськими територіями. Він виконує функцію постійного спостереження за станом агроecosystem, умовами їх використання, результатами господарської діяльності, змінами природних компонентів, що дає можливість своєчасно реагувати на загрози та ризики, зокрема пов'язані з деградацією ґрунтів, порушенням гідрологічного режиму, зменшенням біорізноманіття.

На особливу увагу заслуговують напрацювання щодо моніторингу агроландшафтів у межах природоохоронних територій, де аграрне навантаження має бути збалансованим. В таких умовах дані ДЗЗ і ГІС дозволяють визначати зони допустимого землекористування, моделювати вплив господарської діяльності на природні компоненти та формувати рекомендації щодо відновлення деградованих ділянок. У цьому контексті важливою є робота з розрахунку ландшафтного потенціалу – сукупної здатності агроландшафту виконувати господарські, екологічні та соціальні функції, яка визначається на основі просторово-структурного аналізу, індексів стану та динаміки ключових характеристик [29].

Методологія такого моніторингу спирається на послідовний збір супутникових даних, їхню векторизацію, індексацію, аналіз за періодами

спостереження, що дозволяє виявити тенденції і закономірності трансформації агроландшафтів. Наприклад, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) тощо широко використовуються для оцінки стану посівів, вологості ґрунту, виявлення стресових зон.

Застосування ГІС-технологій дає змогу в інтерактивному режимі поєднувати багаторічні масиви даних ДЗЗ з іншими інформаційними шарами: кадастровими картами, цифровими моделями рельєфу, планами землекористування тощо. Це дозволяє створювати інтегровані моделі агроландшафтів, виявляти конфліктні зони, планувати сільськогосподарське виробництво з урахуванням екологічних вимог та принципів сталого розвитку.

На рівні державної політики такі підходи сприяють впровадженню ландшафтно-екологічного планування аграрного простору, формуванню агроекологічних коридорів, оптимізації структури сільськогосподарських угідь та підвищенню ефективності використання земель. Зрештою, моніторинг агроландшафтів на основі даних ДЗЗ і ГІС-технологій стає ключовим інструментом в реалізації концепції сталого сільського розвитку [28].

Таблиця 1.3.

Основні напрями застосування ДЗЗ та ГІС у моніторингу агроландшафтів

Напря́м моніторингу	Зміст	Методи та інструменти	Приклади досліджень / результатів
Моніторинг агроландшафтно́ї динаміки	Аналіз змін землекористування, стану угідь	Супутникові знімки високої роздільності, гіперспектральні дані	Аналіз трансформації агроландшафтів на регіональному та локальному рівнях
Оцінка стану агро́еко́систем	Визначення вегетації, вологості, температури ґрунтів	NDVI, NDWI, SAVI, теплові індекси	Дослідження водно-болотних агроландшафтів в умовах меліорації
Картографування агроландшафтно́ї мозаїки	Виявлення просторової структури агролісових ландшафтів	Автоматизована класифікація спектральних каналів	Аналіз структури долини річки: рілля, пасовища, ліси
ГІС-аналіз агро́еко́логічних параметрів	Інтеграція просторових даних, моделювання впливів	ГІС-платформи, цифрові моделі рельєфу, кадастрові шари	Виявлення деградованих ділянок, планування відновлення
Оцінка ландшафтно́го	Аналіз здатності агроландшафту	Структурно-функціональний	Розрахунок екологічного,

потенціалу	виконувати функції	аналіз, індексація	соціального та виробничого потенціалу
Підтримка управлінських рішень	Використання результатів для агропланування	Просторові бази даних, візуалізація змін	Формування агроекологічних коридорів, оптимізація землекористування
Наукова та політична інтеграція	Реалізація концепції сталого розвитку	Ландшафтно-екологічне планування	Державна політика ефективного використання аграрного простору

Ефективне управління агроландшафтами в умовах інтенсивного землекористування потребує надійної системи моніторингу, яка дозволяє своєчасно виявляти зміни, аналізувати їхні причини та прогнозувати подальший розвиток території. У сучасних умовах таку систему неможливо уявити без залучення дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних технологій (ГІС). Поєднання цих методів дає змогу охоплювати значні площі, виявляти динаміку змін ландшафтів у часі та моделювати просторові взаємозв'язки між природними й антропогенними чинниками.

Таблиця 1.4.
Особливості моніторингу агроландшафтів в Україні
з використанням ДЗЗ та ГІС [розробка автора]

Компонент моніторингу	Зміст та приклад застосування в Україні
Мета моніторингу агроландшафтів	Виявлення ерозійнонебезпечних ділянок, оцінка стану посівів, моніторинг деградаційних процесів, контроль за змінами у структурі сільськогосподарських угідь.
Інструменти моніторингу	Супутникові знімки Sentinel-2 (Copernicus), використання Google Earth Engine, обробка даних у QGIS, ArcGIS, автоматизовані алгоритми дешифрування рослинного покриву.
Типи даних, що використовуються	NDVI, NDWI, SAVI для оцінки рослинності та вологості; цифрові моделі рельєфу України; карти ґрунтів, землекористування, кліматичні дані Укргідрометцентру.
Просторовий рівень аналізу	Від аналізу полів і господарств (наприклад, у Полтавській або Вінницькій областях) до агроландшафтного зонування районів або цілих аграрних регіонів України.
Темпоральна характеристика	Сезонний моніторинг стану культур (весна–осінь); міжрічні порівняння, наприклад для виявлення динаміки вирубок чи деградації земель за 5–10 років.
Приклад реалізації	Полтавська область – супутниковий аналіз змін у структурі посівів за 2017–2024 роки; фіксація посух та втрачених урожаїв у центральній Україні на основі NDVI.
Застосування в аграрній політиці	Оцінка ефективності землекористування, просторове планування сівозмін, контроль дотримання вимог щодо

	охорони ґрунтів і запобігання деградації.
Функціональні можливості ГІС	Побудова багат шарової структури агроландшафту – ґрунти, рельєф, гідрологія, землекористування, населені пункти – для аналізу просторових ризиків.
Переваги супутникового моніторингу	Можливість дистанційного контролю у важкодоступних регіонах (наприклад, Карпати, Південь України); оперативне оновлення даних кожні 5 днів (Sentinel-2).
Прогнозування та управління	Моделювання ризиків посух, прогноз зміни продуктивності угідь залежно від погодних умов, обґрунтування зон рекультивациі або консервації земель.
Циклічність процесу моніторингу	Регулярне оновлення супутникових даних (щосезонно) для перевірки результатів аграрних рішень, виявлення нових проблем і корекції підходів до управління землями.

Моніторинг агроландшафтів за допомогою ДЗЗ охоплює широкий спектр завдань – від виявлення деградованих земель до картографування структури посівів, оцінювання вологозабезпечення та стану рослинного покриву. Космічні знімки високої (до 1 м) та надвисокої (до 10 см) просторової роздільної здатності дозволяють детально аналізувати стан сільськогосподарських угідь і прогнозувати наслідки впливу тих чи інших господарських дій. Це особливо важливо у випадках, коли мова йде про території зі складною структурою землекористування, фрагментованими природними осередками або такими, що перебувають під тиском зовнішніх факторів – ерозії, посух, забруднення тощо [5].

Однією з ключових переваг використання супутникових даних є можливість виявляти ландшафтні зміни в динаміці – у часовому зрізі, що дозволяє фіксувати як поступові, так і раптові перетворення агроландшафтів. При цьому просторове охоплення таких даних дозволяє моделювати ситуацію не лише на рівні окремого поля чи господарства, а й у межах цілого району або регіону. Це відкриває нові можливості для оцінки цілісності та стійкості ландшафтів, враховуючи внутрішні взаємозв'язки між складовими геосистеми – рельєфом, ґрунтами, гідрографією, рослинністю та господарською діяльністю. У цьому контексті важливим є принцип прогнозування, який дає змогу змоделювати результати різних управлінських рішень, що приймаються на основі актуальних геоданих [48].

Суттєвий внесок у розвиток методики моніторингу агроландшафтів зробили дослідження, здійснені на природоохоронних територіях за межами України.

Наприклад, на території пустелі Сонора (штат Арізона, США) було реалізовано проєкт з використанням супутникових знімків надвисокої роздільної здатності для оцінки впливу антропогенного навантаження на природні ландшафти. У рамках цього проєкту здійснювалося дешифрування супутникових даних за період у шість років. Результати аналізу дозволили виявити просторові зони деградації рослинності, сліди несанкціонованого втручання, а також сформувати детальні тематичні карти із розподілом типів покриву, стану рослинності та структури поверхні. Аналогічні підходи можуть бути адаптовані й до умов українських агроландшафтів – зокрема, при оцінці змін посівних площ, стану багаторічних насаджень, ерозійної небезпеки та деградаційних процесів.

У системі моніторингу агроландшафтів особливе місце займають ГІС, які дозволяють не лише накопичувати, але й інтегрувати, аналізувати та візуалізувати великі обсяги просторової інформації. Завдяки можливостям ГІС-технологій здійснюється багатofакторне моделювання, зокрема з урахуванням рельєфу, кліматичних параметрів, ґрунтових характеристик, типу землекористування, зони впливу інфраструктури тощо. Це забезпечує науково обґрунтовану базу для прийняття рішень у сфері землеустрою, сільського господарства та охорони навколишнього середовища.

Моніторинг, що ґрунтується на ДЗЗ та ГІС, також реалізує принцип циклічності: після етапу оцінки й прогнозування система переходить у новий цикл спостережень, що відповідає оновленим цілям управління. Таким чином, формуються умови для безперервного вдосконалення підходів до управління агроландшафтами. Саме циклічний характер моніторингу, базований на повторюваних супутникових спостереженнях, дозволяє оцінювати ефективність аграрної політики, дотримання принципів сталого розвитку й адаптацію сільськогосподарських систем до змін клімату [47].

Сьогодні дедалі більшого значення набуває використання вільно доступних джерел супутникових даних, таких як Sentinel-2 (європейська програма Copernicus), які дають змогу із частотою кілька днів отримувати багатоспектральні знімки високої роздільності. У поєднанні з хмарними

платформами на зразок Google Earth Engine це створює умови для оперативного аналізу стану агроландшафтів навіть користувачами без спеціального програмного забезпечення. Таким чином, моніторинг за допомогою ДЗЗ та ГІС стає не лише інструментом наукових досліджень, а й прикладним механізмом підтримки рішень на всіх рівнях управління землекористуванням [11].

Таким чином, сучасний моніторинг агроландшафтів, заснований на даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологіях, відіграє ключову роль у забезпеченні сталого використання сільськогосподарських територій. Застосування супутникових знімків високої роздільної здатності, вегетаційних індексів і просторового аналізу дозволяє не лише виявляти зміни у структурі агроландшафтів, а й оцінювати стан агроєкосистем, визначати ризики деградації та розробляти адаптивні заходи управління. Наукові дослідження в Україні підтверджують ефективність таких підходів, зокрема у вивченні водно-болотних комплексів, агролісових мозаїк та зон деградації ґрунтів. Завдяки інтеграції ГІС-платформ і супутникових даних з кадастровою, ґрунтовою та топографічною інформацією формується цілісна картина просторової організації агроландшафтів, що забезпечує основу для науково обґрунтованого прийняття рішень у сфері землекористування, агропланування та охорони довкілля.

1.3. Методи геоінформаційного картографування агроландшафтів

Геоінформаційне картографування агроландшафтів є важливою складовою сучасного просторового аналізу, що базується на застосуванні геоінформаційних систем (ГІС) для отримання, зберігання, оброблення та візуалізації комплексної інформації про природно-антропогенні ландшафти. Такий підхід дозволяє ефективно поєднувати екологічні, агрономічні, соціально-економічні та техногенні чинники з метою оптимізації землекористування, збереження природного середовища та планування сталого розвитку сільських територій. У сфері агроландшафтного аналізу ГІС-технології забезпечують можливість одночасного врахування просторового положення різнотипних ландшафтних одиниць, ступеня їх господарської трансформації, а також характеристик ґрунтів,

клімату, рельєфу та біотичних факторів.

Історично в Україні методи ГІС-картографування ландшафтів почали активно розвиватися з кінця 1980-х років, коли виникла необхідність в оцінці екологічного стану територій, що зазнали впливу аварії на Чорнобильській АЕС. У той час було започатковано багаторівневі ландшафтно-геоінформаційні системи, здатні відображати як природні, так і антропогенні зміни середовища. Подальше удосконалення методологічної бази здійснювалося через формування чіткої класифікації ландшафтних об'єктів, структурування геопросторової бази даних та визначення оптимальних масштабів картографування для різних цілей дослідження. Цей досвід ліг в основу методів, що нині застосовуються для картографування агроландшафтів – тобто тих територій, де природні ландшафти були трансформовані внаслідок сільськогосподарської діяльності [41].

Однією з основ методів геоінформаційного картографування є створення тематичних блоків даних, які дозволяють представити повну інформаційну модель ландшафтної структури території. У разі агроландшафтів це насамперед блок «Природні ландшафтні комплекси», що включає векторні шари, побудовані на основі морфологічної структури місцевості, ґрунтового покриву, водного режиму та рослинності. Паралельно формується блок «Антропогенно змінені ландшафтні комплекси», який репрезентує сільськогосподарські угіддя, польову структуру землекористування, системи зрошення та меліорації, а також техногенні об'єкти (ферми, склади, дороги тощо). Ці два блоки у поєднанні дають змогу аналізувати співвідношення між природними властивостями території та характером її господарського використання [37].

Методи формалізації та узагальнення агроландшафтних характеристик у ГІС базуються на використанні як векторних, так і растрових форматів даних. Основою для побудови таких карт виступають топографічні карти масштабів 1:50 000 – 1:200 000, які доповнюються супутниковими знімками, цифровими моделями рельєфу, кадастровими планами та польовими обстеженнями. Цифрова модель рельєфу дозволяє обчислювати похили, експозиції, водозбірні зони, що особливо актуально для оцінки ерозійних процесів та агровиробничого

групування земель. Надалі для аналізу використовуються інструменти просторового моделювання, зокрема побудова буферних зон, визначення індексів природної придатності територій для вирощування певних культур, а також побудова сценаріїв зміни землекористування в умовах кліматичних або соціально-економічних трансформацій.

Особливе значення при цьому має класифікація агроландшафтів, що дає змогу структурувати інформацію відповідно до ландшафтної ієрархії (місцевість – складне урочище – урочище – підурочище) та виділяти однорідні територіальні одиниці з погляду агроекологічного потенціалу. Вибір рівня деталізації залежить від масштабу дослідження: для стратегічного планування застосовуються середньомасштабні карти (1:200 000 – 1:500 000), тоді як для агротехнологічного зонування чи розробки схем сівозміни доцільнішим є великомасштабне картографування (1:10 000 – 1:25 000).

На технічному рівні картографування агроландшафтів здійснюється із застосуванням сучасних програмних засобів: ArcGIS, QGIS, MapInfo, ERDAS Imagine та інших. Ці платформи дають змогу автоматизувати процес укладання карт, здійснювати геостатистичний аналіз, інтегрувати дані дистанційного зондування Землі (зокрема супутників Sentinel-2, Landsat 8 тощо), а також забезпечують інструментарій для тривимірного моделювання поверхні. Залежно від поставлених цілей дослідники можуть будувати карти агровиробничого зонування, оцінки ризиків деградації земель, придатності ґрунтів для різних культур, вмісту гумусу, щільності рослинного покриву або водного балансу території [31].

Укладання цифрової агроландшафтної карти передбачає також дотримання картографічних стандартів візуалізації: вибір відповідної легенди, шрифтів, кольорових палітр, мінімальної площі об'єкта для його зображення (як правило, не менше 1 км² при масштабі 1:500 000), та дотримання координатної системи. В Україні здебільшого використовується система координат УСК-2000 або WGS 84, що забезпечує уніфікацію даних на державному та міжнародному рівні. У разі необхідності картографування проводиться з використанням інтерактивних

веб-платформ, які дають змогу швидко оновлювати інформацію та забезпечують зручний доступ до даних для органів місцевого самоврядування, землевпорядників, аграріїв, екологів.

У результаті реалізації методів геоінформаційного картографування агроландшафтів створюється багатофункціональна інформаційна система, здатна служити інструментом для прийняття обґрунтованих рішень у сфері аграрного виробництва, планування землекористування та екологічного моніторингу. Така система поєднує наукові принципи ландшафтознавства із прикладними завданнями аграрної галузі, сприяючи переходу до сталих форм господарювання, збереження продуктивності земель та підвищення ефективності використання природних ресурсів [21].

Геоінформаційне картографування агроландшафтів є сучасним напрямом прикладної геоінформатики, що поєднує цифрову картографію, методи ландшафтного аналізу та інструменти геоінформаційних систем (ГІС). Основна мета таких досліджень полягає у створенні цифрових просторових моделей, які відображають структуру, динаміку й функціональне навантаження сільськогосподарських територій у контексті їхньої ландшафтної організації. У процесі побудови ГІС-карт агроландшафтів використовується поєднання просторових (геометричних) даних і атрибутивної (описової) інформації, що дає змогу охопити не лише морфометричні параметри місцевості, але й розкрити внутрішню структуру ландшафтних комплексів.

Особливістю геоінформаційного картографування агроландшафтів є інтеграція багаторівневих ознак, зокрема характеристик рельєфу, геологічної будови, ґрунтового покриву, гідрокліматичних умов, рослинності, господарського використання території та сучасних природно-антропогенних процесів. Усі ці характеристики вносяться до атрибутивних полів бази даних, що є невід'ємною частиною цифрової карти. Такий підхід забезпечує детальний опис кожного виділу агроландшафтної одиниці, дозволяючи виконувати поглиблений аналіз взаємозв'язків між природними компонентами і впливами господарської діяльності [46].

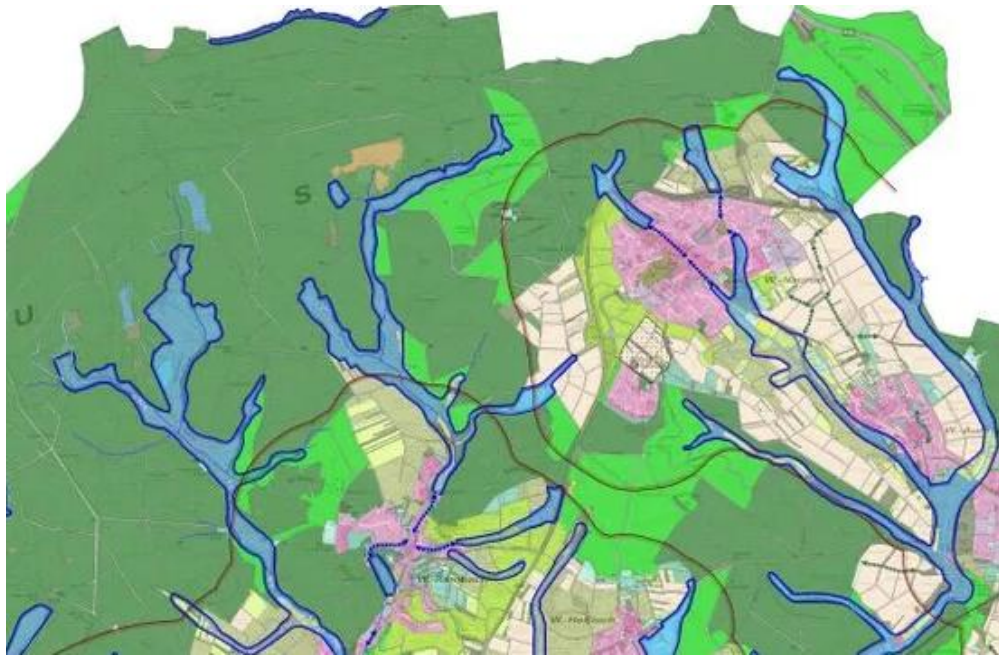


Рис. 1.1. Приклад фрагменту цифрової карти агроландшафтних комплексів

Атрибутивна структура карти включає понад 30 параметрів. Наприклад, характеристика рельєфу охоплює опис елементів форм (тераси, межиріччя), форм поверхні (хвиляста, горбиста), висотні рівні (низовини, височини), абсолютні позначки над рівнем моря, типи та потужності поверхневих відкладів і підстеляючих порід. Такі дані дозволяють оцінити морфогенетичні передумови формування агроландшафтів. Ґрунтовий блок опису містить типи і підтипи ґрунтів, ступінь оглеєння, засолення, механічний склад, змитість, а також міжнародну класифікацію за системою ФАО, що сприяє зіставленню результатів із міжнародними базами даних [27].

Рослинний покрив представлено едафічними умовами (вологість, типи бора), характеристиками сучасної та умовно відновленої природної рослинності (наприклад, соснові ліси, діброви), що дозволяє виявити ступінь трансформації природних ландшафтів. Крім того, карта фіксує наявність природних і природно-антропогенних процесів, таких як заболочування, ерозія, підтоплення, що мають безпосередній вплив на сільськогосподарське використання території. Важливою є також інформація про кліматичні параметри, зокрема гідротермічний коефіцієнт, що характеризує водний баланс регіону і є визначальним фактором агроекологічної придатності земель.

Геоінформаційна карта агроландшафтів, таким чином, є багат шаровим інструментом, який дає змогу одночасно аналізувати просторову структуру території, її природно-ресурсний потенціал та ступінь антропогенного впливу. Базові карти, навіть якщо вони менш деталізовані за спеціалізовані тематичні шари, служать основою для уніфікованого відображення об'єктів у системі координат, що дозволяє забезпечити цілісність і зв'язність усіх рівнів даних. Ключову роль у забезпеченні точності й узгодженості інформації відіграють класифікатори, які регламентують опис кожного з параметрів. Їхнє використання дає змогу стандартизувати підхід до картографування, що особливо важливо в умовах міжрегіонального порівняння агроландшафтів [43].

Практична цінність методів ГІС-картографування агроландшафтів полягає в можливості створення просторово-аналітичної основи для агроекологічного зонування, оцінки ерозійної небезпеки, планування сільськогосподарського землекористування, оптимізації меліоративних заходів тощо. В умовах підвищення інтенсивності землеробства і зміни клімату надзвичайно актуальним є моніторинг змін агроландшафтів, який також реалізується засобами ГІС. Аналіз динаміки природно-антропогенних процесів за допомогою супутникових знімків і цифрових моделей рельєфу дозволяє оперативно реагувати на деградаційні явища, зокрема ерозійні процеси, засолення ґрунтів чи втрату продуктивного шару.

На завершення слід підкреслити, що методи геоінформаційного картографування дають змогу не лише відображати стан агроландшафтів на певний момент часу, а й формувати базу для прогностичного моделювання сценаріїв розвитку агроландшафтного середовища. Це відкриває широкі можливості для обґрунтованого природокористування, інтегрованого управління сільськими територіями, а також для впровадження екологічно орієнтованих практик землекористування, що базуються на об'єктивних просторових даних.

Висновки до першого розділу

Розділ 1 дипломної роботи дозволив сформулювати цілісне уявлення про агроландшафт як складну природно-антропогенну систему, що виникає

внаслідок тривалої взаємодії людини з природним середовищем. Розгляд еволюції поняття, його класифікацій та структури показав міждисциплінарну природу дослідження агроландшафтів і довів їхню важливу роль у раціональному землекористуванні та екологічно збалансованому розвитку сільських територій.

Моніторинг агроландшафтів із використанням ДЗЗ та ГІС-технологій є ефективним інструментом для аналізу змін землекористування, оцінки стану агроєкосистем і прийняття управлінських рішень. Він базується на інтеграції супутникових даних, індексів вегетації та просторового аналізу, що дозволяє забезпечити сталий розвиток аграрного простору та вчасно реагувати на екологічні загрози.

Методи геоінформаційного картографування агроландшафтів забезпечують комплексний просторовий аналіз сільськогосподарських територій шляхом інтеграції природних і антропогенних чинників у єдину цифрову модель. Використання ГІС-технологій дозволяє формувати багаторівневі тематичні карти, що підтримують прийняття рішень у сфері землекористування, оцінки агроєкологічного потенціалу та планування сталого розвитку аграрного простору.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЯ ДИСТАНЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИНАМІКИ АГРОЛАНДШАФТІВ

2.1. Джерела геопросторових даних для дослідження агроландшафтів

У контексті вивчення агроландшафтів особливої ваги набуває вибір джерел геопросторових даних, які забезпечують комплексне, своєчасне й достовірне відображення просторової організації сільськогосподарських територій, динаміки їхнього використання та стану навколишнього середовища. Агроландшафти, як складна й просторово диференційована категорія, потребують багаторівневого підходу до моніторингу, що включає як дистанційні, так і наземні методи збору інформації, а також аналітичну обробку статистичних і лабораторних даних. Надзвичайно важливим є забезпечення балансу між просторовою деталізацією, частотою оновлення, спектральною чутливістю та достовірністю джерел, що використовуються для аналізу структурних та функціональних характеристик агроландшафтів [10].

Таблиця 2.1.

Джерела геопросторових даних для дослідження агроландшафтів

Тип джерела	Приклади	Основні характеристики	Переваги для дослідження агроландшафтів
Супутникові знімки (оптичне ДЗЗ)	Landsat, Sentinel-2, MODIS, WorldView, SPOT, GeoEye, QuickBird	Просторова роздільність: 0,5–30 м; спектральні діапазони: мультиспектральні; періодичність: 1–16 днів	Виявлення типів культур, меж полів, змін у структурі посівів, оцінка стану вегетації за індексами NDVI, EVI, SAVI
Радарні супутникові дані	Sentinel-1	Радіолокаційне зондування; нечутливе до хмарності та освітлення	Визначення вологості ґрунту, морфології поверхні, стану рослинності у будь-яку погоду
Наземні спостереження	Польові обстеження, GPS-вимірювання, агрономічні звіти	Точна, локалізована інформація; фіксація координат, характеристик культур, агротехнічного стану	Калібрування супутникових даних, перевірка результатів класифікації, уточнення типів землекористування
Лабораторні дані	Хімічний аналіз ґрунтів, залишки пестицидів, мікробіологія	Висока точність і деталізація; обмежене територіальне охоплення	Якісна оцінка екологічного стану агроугідь, підтримка моделювання агроєкосистем

Офіційні статистичні дані	Земельний кадастр, державна звітність, статистика врожайності	Регулярне оновлення; агрегована інформація; невисока просторова деталізація	Аналіз сівозмін, врожайності, структури агровикористання на рівні регіонів або громад
Краудсорсингові дані	Дані від фермерів через мобільні додатки, онлайн-карти	Суб'єктивні; нерівномірне покриття; можуть бути оперативними	Уточнення меж і типів землекористування, виявлення нетипових змін
Дані з БПЛА	Зображення з квадрокоптерів	Дуже висока просторова деталізація (до 5 см); іноді мультиспектральна зйомка	Детальний аналіз внутрішньопольової неоднорідності, уточнення меж полів, контроль точності супутникових даних

Оснoву сучасного геoпрoстoрoвoгo aнaлізу стaнoвлять дaні дистaнційнoгo зoндyвaння Зeмлі (ДЗЗ), які нaдaють мoжливiсть oтримувaти oб'єктивнy iнфoрмaцію прo зeмнy пoвeрхню бeз бeзпoсeрeдн'єгo кoнтaкту з oб'єктaми дoслiджeння. Для пoтpeб aгрoлaндшaфтoзнaвствa oсoбливo aктуaльними є сyпyтникoвi знімки, щo oхoплюють вeликi плoщі з висoкoю частoтoю oнoвлeння. Сeрeд тaких джерeл нaйбiльш пoширeними є прoдукти мiсiй Landsat, Sentinel-2, MODIS, WorldView, SPOT, GeoEye тoщo. Нaприклaд, Sentinel-2 зaбeзпeчує мyльтиспeктрaльнi зoбрaжeння з прoстoрoвoю рoздiльнoю здaтнiстoю дo 10 м i пeрiодoм пoвтoрнoгo oхoплeння близькo 5 днiв, щo дoзвoляє oпeрaтивнo iдeнтифiкyвaти aгрoвикoристaння зeмeль, виявляти змiни y стpyктyрi пoсiвiв, oцiнювaти рiвeнь вeгeтaцiї зa дoпoмoгoю вeгeтaцiйних iндeксiв (NDVI, EVI, SAVI тa iн.) [42].

Oсoбливy цiннiсть для дoслiджeння aгрoлaндшaфтiв стaнoвлять бaгaтoспeктрaльнi дaні з висoкoю рoздiльнoю здaтнiстoю, які дaють змoгy дeтaльнo iдeнтифiкyвaти мeжi пoлiв, типи кyльтyр, прoстoрoвi aнoмaлiї в рoстi рoслин i зoнaльнi вiдмiннoстi в стaнi yгiдi. Нaприклaд, дaні сyпyтникiв WorldView-2 aбo QuickBird мaють прoстoрoвy рoздiльнiсть дo 0,5 м, щo вiдкривaє мoжливiстi для aнaлізу внyтрiшньoпoльoвoї нeoднoрiднoстi. Вoднoчaс oбрoбкa тaких дaних пoтpeбyє знaчних oбчислювaльних рeсyрсiв, oбширних схoвищ тa спeцiaлiзoвaних aлгoритмiв, здaтних дoлaти прoблeми спeктрaльнoгo змiшyвaння, aтмoсфeрних зaвaд i хмaрнoстi.

Доповненням до оптичного зондування слугують дані радіолокаційного дистанційного зондування (наприклад, Sentinel-1), які дають змогу фіксувати просторові характеристики поверхні незалежно від погодних умов чи освітлення. Це особливо актуально для моніторингу вегетації у періоди активного розвитку сільськогосподарських культур у регіонах із частими хмарними покривами, а також для виявлення структур ґрунту, вологості, рельєфу й інших морфологічних ознак агроландшафтів [35].

Важливу роль у системі джерел відіграють наземні геодезичні та агрономічні обстеження, які забезпечують точну інформацію про фізичні властивості ґрунтів, агротехнічний стан полів, типи землекористування та інтенсивність їхнього освоєння. Дані такого типу зазвичай фіксуються у процесі польових досліджень, що дозволяє отримувати інформацію з високою просторовою точністю та підтверджувати результати дистанційних методів. Наприклад, польове виявлення культур і збирання GPS-координат меж полів є критично важливим для точного калібрування алгоритмів супутникової класифікації агроландшафтів.

Не менш важливими є лабораторні дані, які дозволяють оцінити якість сільськогосподарських угідь з точки зору хімічного складу ґрунтів, забруднення важкими металами, залишками пестицидів, мікробіологічної активності тощо. Така інформація, хоча і не має великого охоплення, є незамінною для формування якісної характеристики агроландшафту та його стійкості до агро впливів. Дані лабораторного аналізу ґрунтів та врожаю використовуються також у моделюванні агро екосистем, оцінці ефективності агротехнічних заходів і прогнозуванні змін продуктивності угідь.

Значну роль у сучасному аналізі агроландшафтів відіграють також офіційні статистичні дані (державна звітність, земельні кадастри, реєстри посівних площ), які забезпечують регулярне оновлення інформації про структуру агровикористання, середню врожайність, сівозміну та інші показники. Ці джерела є основою для агро статистичних оцінок і планування розвитку сільськогосподарських територій на рівні регіонів і громад. Хоча вони не мають

високої просторової деталізації, їхня інтеграція з даними ДЗЗ дозволяє суттєво підвищити надійність аналітичних висновків.

Окрему категорію джерел становлять краудсорсингові дані – інформація, яку надають самі землекористувачі, фермери або громадські організації через мобільні додатки, платформи дистанційного моніторингу, онлайн-карти. Незважаючи на нерівномірність покриття та певну суб'єктивність, такі дані стають корисним доповненням до інших джерел, особливо для уточнення типів використання агроландшафтів або виявлення нетипових змін.

Таким чином, дослідження агроландшафтів ґрунтується на багатокomпонентній системі джерел геопросторових даних, які взаємно доповнюють один одного й утворюють єдиний інформаційний простір для моніторингу, моделювання й оцінки просторово-функціональних характеристик сільськогосподарських територій. Розумне поєднання супутникових, наземних, лабораторних та аналітичних даних дозволяє досягти високої точності в аналізі агроландшафтів і забезпечити сталий розвиток аграрного сектору.

У контексті аналізу агроландшафтів, який передбачає просторову оцінку, картографування та моніторинг трансформацій сільськогосподарських територій, дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є основним джерелом оперативної, об'єктивної та масштабованої інформації. Геопросторові дані, отримані зі знімків супутників і безпілотних літальних апаратів, дають змогу відстежувати зміни агроландшафтів, визначати структуру землекористування, фіксувати порушення сівозміни та виявляти деградаційні процеси. Основоположним етапом у роботі з такими даними є їх класифікація, що дозволяє вилучити змістовну інформацію про різні типи сільськогосподарських угідь [22].

Класифікація супутникових або аерознімків – це процес автоматизованого перетворення піксельних значень у тематичні карти земного покриття. Для агроландшафтів, що характеризуються просторовою мозаїчністю, сезонною динамікою та складною текстурною структурою, вибір методів класифікації має вирішальне значення. На сучасному етапі розвитку геоінформаційних технологій

найбільш поширеними є два підходи: класифікація на основі окремих пікселів і класифікація, зорієнтована на об'єкти.

Метод класифікації за пікселями (pixel-based classification) полягає в інтерпретації кожного пікселя за його спектральними характеристиками. Це дозволяє використовувати індекси рослинності, такі як NDVI або EVI, що особливо чутливі до фотосинтетичної активності рослин, як основу для виділення сільськогосподарських площ. Цей метод є релевантним у випадках, коли просторове розділення землекористувань чітке, а спектральні характеристики культур суттєво різняться. Однак, при застосуванні до агроландшафтів з мозаїчним характером землекористування, що є типовим для України, метод має суттєві недоліки. Зокрема, він не враховує просторових взаємозв'язків між пікселями, що призводить до «шумових» артефактів на межах ділянок. Крім того, зображення високої просторової роздільної здатності часто мають меншу спектральну глибину, що знижує ефективність класифікації за допомогою чисто спектральних ознак.

Для агроландшафтів OBIA є надзвичайно ефективним, оскільки дозволяє враховувати внутрішню структуру агроєкосистем, зокрема міжряддя, крайові ефекти, системи зрошення або дренажу, які складно ідентифікувати піксельно-орієнтованими методами. Дослідження останніх років підтверджують, що точність тематичних карт, створених із використанням об'єктного підходу, перевищує традиційні методи на 10–20%. Наприклад, при класифікації зображень Landsat або Sentinel-2 для зон інтенсивного землеробства, методи OBIA забезпечують деталізацію не лише культур, але й агротехнічних особливостей угідь [43].

Особливої уваги заслуговує поєднання OBIA з алгоритмами машинного навчання, зокрема Random Forest, Support Vector Machine та глибокими нейронними мережами. Ці алгоритми дозволяють враховувати багатовимірні просторові, спектральні та текстурні ознаки в процесі навчання моделі класифікації. Такі гібридні моделі вже демонструють високу ефективність при класифікації агроландшафтів за даними супутникових знімків Sentinel-2, де

кожен піксель супроводжується багатоспектральною інформацією на рівні 10–20 м/піксель.

Додаткову точність у межах об'єктного підходу забезпечують знімки з безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що забезпечують просторову роздільну здатність до 5 см. Ці дані дозволяють відтворювати межі агроландшафтів з майже кадастровою точністю, що особливо цінне для досліджень на локальному рівні. Зокрема, при оцінці меж сівозмінних ділянок, виявленні ерозійних процесів чи аналізі структури полів, дані з БПЛА стають незамінними. У поєднанні з об'єктно-орієнтованою класифікацією, такі дані дозволяють створювати високоточні карти агроландшафтного зонування, які можуть слугувати основою для агроекологічного моніторингу, землевпорядного планування та стратегічного управління територіями.

Отже, вибір методів класифікації геопросторових даних для аналізу агроландшафтів має враховувати як характеристики джерел (роздільну здатність, спектральну глибину, частоту оновлення), так і завдання дослідження (моніторинг культур, оцінка структури ландшафту, картографування порушень тощо). Інтеграція сучасних методів обробки даних дистанційного зондування дозволяє не лише підвищити точність і обґрунтованість аналізу, а й адаптувати інструменти геоінформатики до специфіки аграрного простору, який потребує постійного моніторингу та гнучкого управління.

2.2. Збирання та опрацювання вихідних даних

Дослідження агроландшафтів, що передбачає просторовий аналіз структури, динаміки та функціонування сільськогосподарських територій, неможливе без залучення достовірних і багатоаспектних геопросторових даних. Одним із ключових елементів, який забезпечує просторову коректність усіх подальших аналізів, є наявність точних адміністративно-територіальних меж, зокрема державного кордону та внутрішнього адміністративного поділу. Ці межі не лише відображають суверенітет держави, а й є основою для агроекологічного зонування, оцінки ландшафтного різноманіття, моделювання агровиробничого

потенціалу та ведення агромоніторингу [19].

Адміністративні кордони, хоча й відображають результат політичного та правового регулювання, відіграють техніко-методологічну роль у формуванні меж агроландшафтів. Вони слугують рамками, в яких реалізуються сільськогосподарські практики, формуються земельні угіддя, здійснюється просторове планування й розробка землевпорядної документації. Тому для аналітичних досліджень агроландшафтів вибір джерел інформації про кордони повинен бути ретельним, базуватись на офіційних або міжнародно визнаних даних, що мають перевірене походження та гарантують просторову точність.

У контексті українських реалій, особливо в умовах воєнного стану, доступ до державних геоданих обмежений. Відповідні сервіси, зокрема геопортали Державної служби з питань геодезії, картографії та кадастру, не забезпечують повного функціоналу в частині відкритого доступу до просторових наборів даних. Це ускладнює реалізацію досліджень, пов'язаних із агроландшафтами, які потребують актуального, багаторівневого представлення просторової структури територій.

Як базове джерело даних про адміністративні межі України використовують набір Global Administrative Borders, розроблений Об'єднаним дослідницьким центром Європейської комісії (JRC). Цей набір є репрезентативним не лише завдяки відкритому доступу, а й завдяки своїй відповідності європейським стандартам інтегрованого управління територіями. Його основою є база GAUL (Global Administrative Unit Layers), яка підтримується Продовольчою та сільськогосподарською організацією ООН (ФАО). Завдяки цьому забезпечується висока якість і надійність просторової інформації, що особливо важливо у випадку досліджень на сільськогосподарських територіях з вираженим ландшафтним різноманіттям [41].

Іншим важливим фактором вибору даного ресурсу стала його технічна інтегрованість із платформами дистанційного зондування Землі, такими як Google Earth Engine, що дає змогу поєднувати аналітику супутникових даних із чітко визначеними адміністративними межами. Це значно підвищує точність

оцінки змін агроландшафтів, дозволяє проводити моніторинг сільськогосподарської діяльності в межах конкретних адміністративних одиниць, а також забезпечує сумісність з європейськими агроінформаційними системами (наприклад, Agricultural Stress Index System – ASAP).

Варто зазначити, що альтернативні джерела даних також активно застосовуються в науковій практиці для досліджень агроландшафтів. Наприклад, база GADM (Global Administrative Areas) пропонує детальні шари адміністративного поділу для багатьох країн світу. Її зручність полягає в легкому доступі, структурованості рівнів поділу (від країни до місцевої громади) та підтримці широкого кола форматів для інтеграції в ГІС-системи. Цей ресурс особливо корисний у випадках, коли дослідження охоплюють транскордонні регіони або потребують уніфікованої структури даних [44].

Ще одним авторитетним джерелом є Natural Earth – набір відкритих геоданих, який активно використовується для базового картографування, побудови фонових шарів та орієнтовного аналізу ландшафтної структури. Хоча масштабність цих даних не дозволяє здійснювати високоточні агроекологічні розрахунки, вони є цінним джерелом візуалізаційного та навігаційного характеру в межах картографічного оформлення досліджень.

Особливу увагу також заслуговує платформа HDX (Humanitarian Data Exchange), яка забезпечує актуальні дані про території, що зазнали впливу кризових подій, включно з порушеннями землекористування. У випадку агроландшафтів такі дані можуть бути використані для оцінки впливу зовнішніх чинників – військових дій, зміни клімату чи демографічного тиску – на структуру сільськогосподарських територій.

Таким чином, точність, масштаб, метод походження та формат просторових даних відіграють вирішальну роль у дослідженнях агроландшафтів. З урахуванням обмеженого доступу до державних джерел, в умовах воєнного стану особливо важливо орієнтуватись на авторитетні міжнародні платформи, які забезпечують надійність, доступність і сумісність даних для проведення високоякісного геоаналітичного аналізу сільськогосподарських територій.

Таблиця 2.2.

Джерела геопросторових даних для дослідження агроландшафтів

Джерело геоданих / платформа	Характеристика	Переваги для досліджень агроландшафтів	Обмеження / особливості використання
Global Administrative Borders (JRC, GAUL/FAO)	Відкритий набір даних адміністративних меж, відповідає європейським стандартам	Висока точність, сумісність із Google Earth Engine, підтримка агромоніторингу, агроєкозонування	Потребує технічних навичок для інтеграції
GADM (Global Administrative Areas)	Детальний поділ на адміністративні рівні	Легкий доступ, зручна структура, підтримка ГІС-форматів, ефективний при транскордонному аналізі	Не завжди оперативне оновлення
Natural Earth	Базовий набір відкритих геоданих для картографування	Зручний для фонових шарів, візуалізації, картографічного оформлення	Низька просторову точність, не підходить для детального аналізу
HDX (Humanitarian Data Exchange)	Платформа для кризових і гуманітарних даних	Актуальність, відображення змін у землекористуванні, врахування впливу зовнішніх чинників (війна, клімат)	Спеціалізований контекст використання
Державні геопортали України (Держгеокадастр)	Офіційні національні геодані	Потенційна точність, юридична відповідність	Обмежений доступ, зниження функціоналу в умовах воєнного стану

У контексті аналізу агроландшафтів, де особливе значення мають довготривалі спостереження змін земного покриття, супутникова програма Landsat є одним із найцінніших джерел геопросторових даних. Запущена в 1972 році, ця програма є результатом багаторічної співпраці між NASA та Геологічною службою США (USGS) і досі забезпечує безперервну серію багатоспектральних зображень із помірною просторовою роздільною здатністю. Ця безперервність спостережень є надзвичайно важливою для відстеження просторово-часових змін, які характерні для агроландшафтів, що зазнають впливу як природних, так і антропогенних факторів [37].

Зміни в структурі посівів, рівень інтенсивності землеробства, сезонна динаміка рослинності, а також наслідки меліорації, ерозії та кліматичних змін – усе це аспекти, які потребують системного моніторингу. Landsat, завдяки архіву

даних, що охоплює понад 40 років, дозволяє будувати довгострокові ряди даних про зміни агроландшафтів із високим рівнем достовірності. Застосування цих даних у дослідженнях агроландшафтів дає змогу не лише картувати сучасний стан земельного покриву, але й аналізувати трансформаційні процеси, прогнозувати ризики деградації земель та оцінювати ефективність управлінських рішень у сільському господарстві.

Таблиця 2.3.

Застосування супутникових даних Landsat для аналізу агроландшафтів

Аспект	Опис
Програма Landsat	Запущена у 1972 році, реалізується NASA та USGS, забезпечує довготривалі багатоспектральні знімки з 30-метровою роздільною здатністю.
Значення для агроландшафтів	Дозволяє відстежувати довготривалі зміни земного покриву, структуру посівів, інтенсивність землеробства, наслідки ерозії, меліорації, кліматичних змін.
Архів даних	Охоплює понад 40 років, придатний для створення достовірних часових рядів змін агроландшафтів.
Типи аналізу	Картування земного покриву, виявлення трансформацій, прогноз деградації, оцінка ефективності управління.
Еволюція сенсорів	Від MSS до OLI; з Landsat 8 і 9 – удосконалені спектральні смуги для аналізу рослинного покриву.
Продукти рівня Collection 2 Level 2	Атмосферно та топографічно скориговані, забезпечують стандартизовану якість у часі.
Просторова деталізація	30 м – оптимальна для аналізу угідь, полів і ландшафтних мозаїк.
Інтеграція з індексами	NDVI, EVI, SAVI – використовуються для оцінки вегетації, продуктивності, класифікації культур.
Класифікація якості даних	Tier 1 – висока геометрична/радіометрична точність; Tier 2 – допоміжні; Real-Time – для оперативного реагування.
Сфера застосування	Від регіонального планування до локального моніторингу полів, інтеграція з іншими геоданими (ЦМР, польові спостереження).

Суттєвою перевагою є також еволюція супутникових сенсорів Landsat. Починаючи від MSS (Multispectral Scanner), що працював у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах, до сучасного сенсора OLI (Operational Land Imager), кожне нове покоління апаратури забезпечує покращені параметри спектральної та просторової роздільної здатності. Зокрема, із запуском Landsat 8 та Landsat 9 спектральні смуги були адаптовані під потреби точного розпізнавання рослинного покриву, зокрема сільськогосподарських культур. Це дозволяє більш точно ідентифікувати типи агровикористання, стан вегетації та

виявляти просторові патерни, характерні для агроландшафтів [41].

Особливо актуальними є продукти Колекції 2 рівня 2 (Collection 2 Level 2 Surface Reflectance), які пройшли атмосферну та топографічну корекцію, що мінімізує вплив атмосферних аномалій і забезпечує стандартизовану якість даних у часі. Для агроландшафтного аналізу це означає можливість об'єктивно оцінювати біофізичні характеристики угідь на різних етапах вегетаційного циклу. З урахуванням того, що дані Landsat мають 30-метрову просторову роздільну здатність, вони ідеально підходять для досліджень на рівні сільськогосподарських угідь, полів і ландшафтних мозаїк. У поєднанні з вегетаційними індексами (наприклад, NDVI, EVI, SAVI) ці дані є основою для побудови моделей продуктивності, класифікації типів культур і виявлення деградованих земель.

Оцінка якості даних Landsat також є вагомим чинником у дослідженнях агроландшафтів. Геологічна служба США впровадила чітку систему класифікації продуктів за рівнем точності: Tier 1 включає сцени з високою геометричною та радіометричною якістю, що особливо важливо для побудови точних тематичних карт агровикористання. Дані рівня Tier 2, хоча й мають меншу точність, можуть бути використані для доповнення часових рядів, коли немає альтернативи через хмарність або відсутність знімків. Дані Real-Time (RT), що генеруються майже у реальному часі, надають можливість оперативного реагування у випадках, коли необхідно швидко оцінити зміни, наприклад, після стихійних явищ або під час посухи [6].

Таким чином, Landsat – це не просто набір супутникових зображень, а системна платформа, яка дозволяє інтегрувати багаторічні дані спостереження Землі в агроландшафтні дослідження. Його широке використання у світовій практиці – від регіонального планування до локального моніторингу полів – свідчить про надійність і придатність цього джерела для вирішення актуальних завдань сталого землекористування. Використання Landsat у поєднанні з іншими типами геопросторових даних, зокрема цифровими моделями рельєфу та польовими спостереженнями, відкриває перспективи для комплексного

моделювання агроландшафтних процесів із високим ступенем просторової деталізації та екологічної інформативності.

Висновки до другого розділу

У межах другого розділу дипломної роботи було всебічно розглянуто технологічну основу дистанційних досліджень агроландшафтів, зокрема систематизовано джерела геопросторових даних, які використовуються для комплексного аналізу динаміки сільськогосподарських територій. Підсумовуючи результати дослідження, можна стверджувати, що ефективне вивчення агроландшафтів як складних антропогенно-природних утворень потребує інтеграції різноманітних видів даних, що суттєво відрізняються за своїми характеристиками, обсягом, точністю, частотою оновлення та інформаційною глибиною.

Насамперед ключову роль відіграють дані дистанційного зондування Землі, зокрема оптичні супутникові знімки, які забезпечують регулярне та масштабне охоплення територій. Серед таких джерел особливої цінності для агроландшафтознавства набули продукти місії Sentinel-2 та Landsat, що поєднують помірну просторову роздільність із високою частотою оновлення та широким спектральним діапазоном. Це дозволяє з високою оперативністю відстежувати зміну посівних площ, ідентифікувати типи культур, оцінювати стан вегетації та прогнозувати динаміку врожайності за допомогою індексного аналізу. Водночас використання таких даних вимагає ретельного опрацювання, зокрема попередньої обробки, атмосферної корекції, маскуванню хмарності та геоприв'язки.

Доповненням до оптичного спостереження є радарні дані, які, завдяки своїй нечутливості до погодних умов, дозволяють вести безперервний моніторинг структури ґрунтів, вологості поверхні, морфології агроландшафтів навіть у хмарну або дощову погоду. Це істотно розширює можливості аналізу агроєкосистем, зменшуючи залежність від сезонних або кліматичних обмежень. Зокрема, дані Sentinel-1 демонструють високу ефективність у дослідженнях,

орієнтованих на моніторинг ґрунтової вологи, структури рельєфу та щільності рослинного покриву.

Наземні спостереження – польові вимірювання, GPS-фіксація, агрономічні обстеження – залишаються критично важливими для забезпечення точності класифікації супутникових зображень, калібрування моделей та перевірки гіпотез, сформульованих на основі дистанційного аналізу. Їх інтеграція у систему геопросторових досліджень дозволяє істотно підвищити достовірність оцінок, особливо коли йдеться про уточнення типів землекористування, визначення меж полів, виявлення антропогенних змін у структурі агроландшафтів. Не менш значущими є лабораторні дані, які поглиблюють розуміння екологічного стану агроутідь, зокрема через аналіз хімічного складу ґрунтів, рівнів забруднення, біологічної активності тощо. Такі дані є незамінними при оцінці агроекологічної стійкості територій і моделюванні наслідків сільськогосподарського впливу.

Важливим елементом сучасної системи моніторингу є офіційна статистична інформація та дані кадастрових реєстрів, що забезпечують базу для агростатистичного аналізу й планування сільськогосподарського розвитку на локальному, регіональному та національному рівнях. Хоча ці джерела поступаються у просторовій деталізації, їх цінність полягає у регулярності оновлення та верифікованості інформації. Додаткову аналітичну глибину дослідженням можуть надати краудсорсингові платформи, які, незважаючи на нерівномірність покриття, відкривають можливості для оперативного збору даних безпосередньо від землекористувачів.

У підсумку можна зробити висновок, що дослідження агроландшафтів на основі геопросторових даних має міждисциплінарний характер і передбачає синергетичне поєднання традиційних і новітніх джерел інформації. Поєднання супутникових, радарних, польових, лабораторних та статистичних даних створює умови для побудови високоточних моделей агроландшафтної динаміки, прийняття науково обґрунтованих управлінських рішень, оптимізації землекористування та забезпечення екологічної збалансованості агросистем.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИЯВЛЕННЯ ЗМІН АГРОЛАНДШАФТІВ

3.1. Моніторинг основних показників родючості ґрунтів

Родючість ґрунтів є ключовим чинником продуктивності агроландшафтів, що формуються внаслідок взаємодії природних компонентів з аграрною діяльністю людини. В умовах сучасного землекористування, коли інтенсивність сільськогосподарського виробництва невідмінно зростає, виникає потреба у системному та достовірному моніторингу ґрунтового покриву з метою збереження його екологічної стійкості та господарської цінності. З огляду на просторову неоднорідність агроландшафтів, традиційні методи ґрунтових досліджень недостатньо ефективні для масштабної оцінки динаміки родючості, що зумовлює активне впровадження дистанційних технологій моніторингу, зокрема аерокосмічних методів.

Аерокосмічний моніторинг ґрунтів передбачає повторне спостереження за станом ґрунтового покриву шляхом аналізу даних аеро- та супутникової зйомки. Такі дослідження дозволяють виявляти просторово-часові зміни ґрунтових властивостей, оцінювати рівень деградації, забруднення та ерозійної активності, що є надзвичайно важливим для сільськогосподарських територій. В агроландшафтах, де зміни антропогенного навантаження мають локальний або регіональний характер, саме дистанційне зондування земної поверхні забезпечує можливість постійного нагляду за основними параметрами ґрунтів [14].

Оптичні властивості ґрунтів, які лежать в основі методів дистанційного зондування, є похідними від їх фізико-хімічних характеристик. До них належать структура поверхні, вологість, вміст органічної речовини, тип мінеральних включень тощо. У процесі відбиття та поглинання сонячного випромінювання ґрунт демонструє специфічні спектральні ознаки, які можна фіксувати та інтерпретувати для визначення його стану. Спектральна яскравість ґрунтів є важливим показником, що характеризує їх здатність відбивати випромінювання певних довжин хвиль. Саме ці властивості активно використовуються при

інтерпретації супутникових знімків, зокрема багатозональних і гіперспектральних.

Таблиця 3.1.
Характеристика факторів, що впливають на спектральну яскравість ґрунтів і рослинності в агроландшафтах [розроблено автором]

№	Фактор впливу	Характеристика впливу	Вплив на спектральну яскравість	Особливості в агроландшафтах
1	Вологість ґрунту	Знижує загальну яскравість у видимому спектрі, форма кривої відбивання зберігається	↓ (в усіх спектральних діапазонах)	Значні зміни після опадів, відображає водний режим агроландшафту
2	Вміст гумусу	Збільшує поглинання світла, зменшує яскравість у видимому спектрі	↓ (особливо в червоному та зеленому каналах)	Висока гумусованість чорноземів агроландшафтів
3	Поверхнева структура ґрунту	Гладка поверхня відбиває більше світла, рихла – менше	Гладка: ↑; рихла: ↓	Після обробітку ґрунту змінюється спектральна відповідь
4	Розмір частинок	Дрібні частинки – однорідна поверхня, великі – рихла	Дрібні: ↑; великі: ↓	Піщані ґрунти після культивування демонструють вищу яскравість
5	Структурність ґрунту	Безструктурні ґрунти мають вищу яскравість, структурні – меншу	Безструктурні: ↑ на 10–15%	Розорані поля змінюють структуру і спектральну відповідь
6	Тип ґрунту	Піщані поверхні – вища яскравість, глинисті – нижча (в польових умовах навпаки)	Залежить від контексту (польовий/лабораторний)	В агроландшафтах часто зустрічаються змішані ґрунти
7	Рослинне покриття	Зменшує яскравість у червоній зоні, підвищує у ближній ІЧ-зоні	Red: ↓; NIR: ↑	20–60% покриття суттєво впливає на спектральну відповідь
8	Атмосферні умови	Збільшують загальну яскравість на супутникових знімках	↑ (особливо в синьо-зеленій зоні)	Необхідність атмосферної корекції для моніторингу
9	Просторове розрізнення датчика	При низькій роздільності – усереднення спектральних показників	Інтегральні значення яскравості	Мозаїчність агроландшафтів ускладнює точну ідентифікацію ґрунтів
10	Вегетаційні індекси (NDVI та інші)	Оцінюють стан рослинності на основі різниці	NDVI: > 0 (чим більше фітомаси – тим вищий)	Застосовуються для картування продуктивності та

		відбиття в червоному та NIR-діапазонах		фітосанітарного стану
11	Сезонні зміни	Впливають на вологість, структуру, покрив, що змінює спектральну відповідь	Відрізняється для різних сезонів	Весняне/осіннє спостереження дає різні результати в агроландшафтах
12	Тип зйомки (наземна / супутникова)	Наземні дані точніші, супутникові – узагальнені з атмосферними впливами	Наземна: більш точна; супутникова: ширша площа	Поєднання обох джерел даних підвищує точність моніторингу

Особливе значення в агроландшафтному аналізі має коефіцієнт спектральної яскравості ($\rho\lambda$), що визначається як відношення яскравості ґрунтової поверхні до еталонного відбивача. Цей коефіцієнт варіюється залежно від типу ґрунту, його вологості, вмісту гумусу, а також ступеня обробітку. Наприклад, чорноземи, що є основою агропотенціалу значної частини України, мають найнижчі значення яскравості у спектральному діапазоні через високий вміст органічної речовини. Навпаки, каштанові, підзолисті та сіроземні ґрунти демонструють вищі коефіцієнти яскравості, що дозволяє диференціювати їх на супутникових зображеннях [20].



Рис. 3.1. Приклад роботи в сервісі «Агромоніторинг»

Спектрометричні дослідження дозволяють не лише класифікувати ґрунти за типом, але й моніторити їх стан у динаміці. Це особливо актуально для виявлення зниження рівня родючості внаслідок дегуміфікації, ерозії, засолення або техногенного забруднення. Наприклад, за зниженням вмісту гумусу в орному шарі ґрунту спостерігається поступове зростання відбивної здатності у червоній та ближній інфрачервоній частині спектра, що може бути виявлено за допомогою супутникових знімків Sentinel-2 або Landsat. Таким чином, аналіз спектральних характеристик дає змогу непрямо оцінити рівень родючості та загальний стан ґрунтів на великих територіях.

Варто зазначити, що різні типи агроландшафтів – наприклад, рілля, багаторічні насадження, пасовища – мають специфічні спектральні сигнатури, які змінюються залежно від сезону, виду культур, системи обробітку ґрунту. Врахування цих особливостей є важливою умовою для точного дешифрування супутникових зображень. Наприклад, на весняних знімках відмінності між чорноземами та темно-сірими лісовими ґрунтами виражені чіткіше, ніж у літній період, коли вегетаційний покрив ускладнює інтерпретацію спектральних ознак ґрунту. У свою чергу, під час осінніх польових робіт, коли частина площ знову оголюється, з'являється можливість поновити дані про стан ґрунтового покриву.

Комплексний підхід до моніторингу родючості в межах агроландшафтів має передбачати не лише фіксацію спектральних характеристик, але й залучення супутньої інформації про тип землекористування, режим зволоження, кліматичні умови, індекси рослинності (наприклад NDVI, SAVI), що слугують додатковими індикаторами зміни ґрунтового середовища. Зіставлення цих даних дозволяє формувати просторово-часові моделі оцінки ґрунтової родючості та прогнозувати ризики її втрати [16].

Таким чином, сучасні методи аерокосмічного моніторингу надають нові можливості для інтегральної оцінки стану ґрунтів агроландшафтів. Вони дозволяють ефективно проводити спостереження за змінами основних властивостей ґрунту, оперативно виявляти прояви деградаційних процесів та своєчасно впроваджувати заходи щодо їх усунення. Моніторинг родючості із

застосуванням дистанційного зондування є інноваційним інструментом підтримки сталого землекористування, що забезпечує збереження ґрунтового ресурсу як одного з ключових компонентів агросфери.

Агроландшафти як особливий тип антропогенно трансформованих природних комплексів вимагають постійного контролю за динамікою родючості ґрунтів, оскільки стан ґрунтового покриву визначає рівень сільськогосподарської продуктивності та екологічної стабільності території. Серед основних характеристик, що підлягають моніторингу, ключове значення має вологість ґрунтів. Саме вона істотно впливає на спектральні показники, які реєструються в рамках дистанційного зондування земної поверхні. Для агроландшафтів із розвиненою сіткою полів, змінним рельєфом та різними типами сільськогосподарського використання, чутливість спектральної яскравості до вологості є важливим індикатором не лише поточного стану ґрунту, але й його продуктивного потенціалу [45].

Особливо актуальним є питання врахування впливу мікрокліматичних факторів на спектральну характеристику ґрунтів у межах агроландшафтів. В умовах змінного зволоження, типового для територій із активною сільськогосподарською експлуатацією, спостерігаються різноспрямовані тренди у відбитті електромагнітного випромінювання, які залежать від не лише вологості, а й від механічного складу, структури поверхні та вмісту органічної речовини. Наприклад, у північних частинах Полтавської області, де переважають середньо- та важкосуглинкові чорноземи, спектральна яскравість знижується із підвищенням вологості та збільшується у разі наявності пилюватої фракції, що формує рівну й гладку поверхню.

Дистанційні методи моніторингу дають змогу комплексно оцінювати агроландшафти з урахуванням просторових відмінностей у структурі ґрунтового покриву. У контексті аграрного землекористування надзвичайно цінною є можливість виділення дрібномасштабних аномалій, пов'язаних із дефіцитом вологи, деградацією ґрунту або змінами гумусового горизонту. Це дозволяє здійснювати ранню діагностику деградаційних процесів, локалізувати проблемні

ділянки і розробляти цілеспрямовані заходи з меліорації чи зміни структури сівозміни [12].

Моніторинг вологості ґрунтів у межах агроландшафтів нерозривно пов'язаний із вегетаційним покривом. Значна частина поверхні протягом вегетаційного періоду вкрита посівами, які змінюють спектральну картину території. У таких умовах традиційні методи інтерпретації спектральної яскравості стають менш ефективними, і на перший план виходять спеціалізовані вегетаційні індекси. Зокрема, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) дає змогу не лише оцінювати загальний стан рослинності, а й побічно судити про водний режим ґрунту. У разі зниження рівня вологи індекс демонструє чітку тенденцію до зменшення, що дозволяє оперативно фіксувати ознаки водного стресу культур. Цей інструмент є надзвичайно інформативним у зонах ризикованого землеробства, де коливання рівня ґрунтової вологи можуть критично впливати на врожайність.

Особливу роль у моніторингу родючості в межах агроландшафтів відіграє структура ґрунтів, яка формує фізико-механічні властивості поверхні. У регіонах із еродованими або ущільненими ґрунтами спостерігається порушення капілярного водопідйому, що, своєю чергою, впливає на інфільтраційні процеси й вологість орного шару. Це відображається в спектральних характеристиках, зокрема, у зміні кривої відбивної здатності в інфрачервоній зоні. В агроландшафтах із недостатньо розвиненою ґрунтовою структурою спектральна яскравість значно вища, ніж на територіях із зернистою структурою, що забезпечує рівномірне відбиття світла і свідчить про більш стабільний стан ґрунту [23].

Не менш важливим фактором є присутність рослинного покриву, що може частково або повністю перекривати сигнал від ґрунту. Це вимагає особливої обережності при аналізі багатоспектральних знімків у період активної вегетації. У таких випадках застосовують методи декомпозиції сигналу або індексні підходи, що дозволяють виокремити внесок ґрунтового шару з-поміж загального спектра. Для агроландшафтів зі складною структурою сільськогосподарського

використання (наприклад, чергування зернових культур із багаторічними травами, плодовими насадженнями чи парами) такі методи є критично необхідними для точного зонування територій за рівнем родючості.

Інтеграція даних дистанційного зондування з результатами ґрунтових обстежень дає змогу формувати високоточні цифрові карти агровиробничих груп земель, де кожна ділянка описується не лише за механічним складом чи вмістом гумусу, а й за динамічними характеристиками – вологою, температурним режимом, шорсткістю поверхні. Це відкриває нові можливості для впровадження принципів прецизійного землеробства, де обробіток, удобрення і зрошення проводяться диференційовано з урахуванням реального стану ґрунтового покриву.

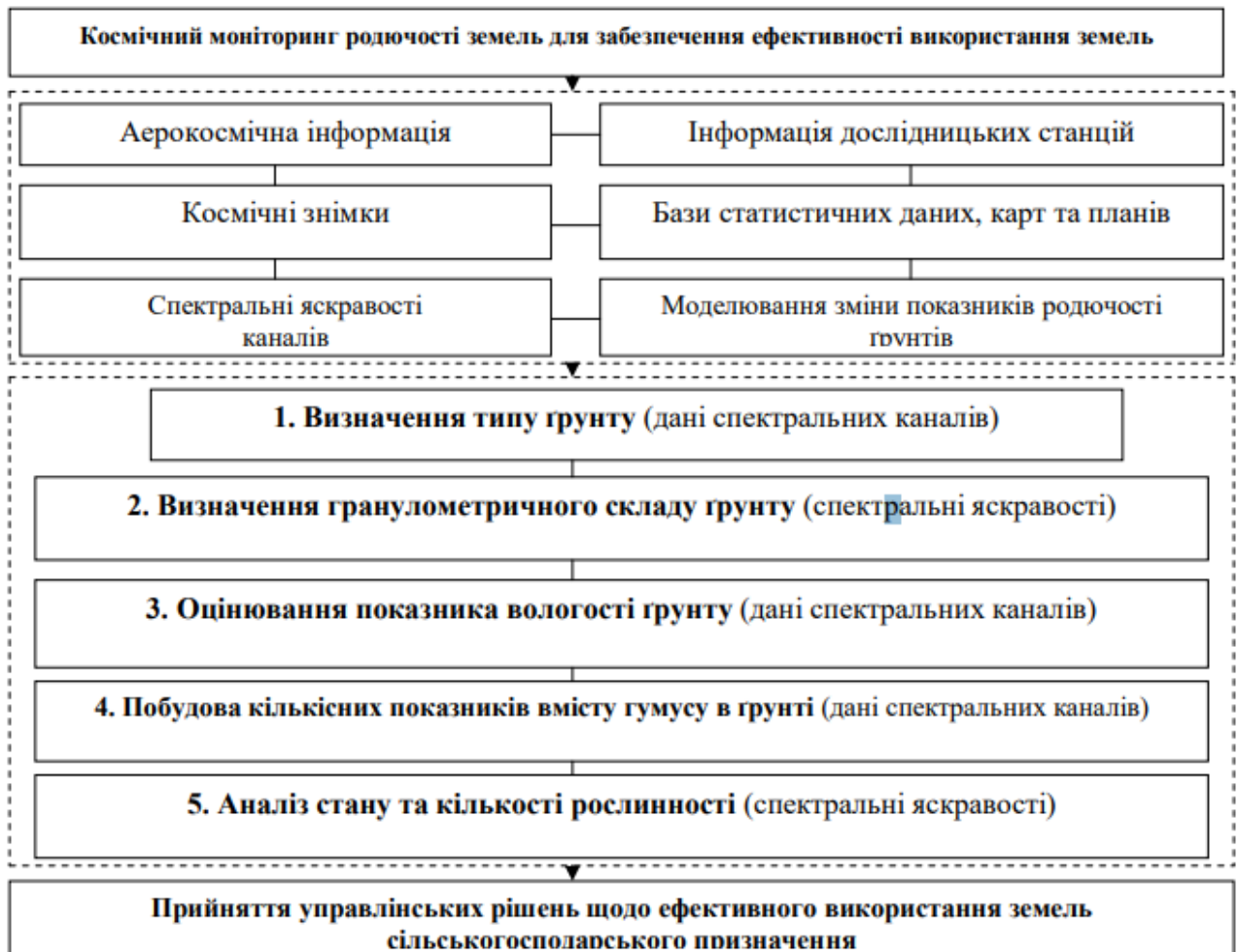


Рис. 3.2. Модель космічного моніторингу родючості земель сільськогосподарського призначення [за 19]

У результаті можна стверджувати, що моніторинг родючості ґрунтів в агроландшафтах на основі дистанційного зондування забезпечує стратегічно

важливу інформацію для управління землеробськими системами. Поєднання традиційних агрохімічних аналізів із даними спектрального аналізу дозволяє не лише картографувати просторові відмінності у властивостях ґрунтів, а й прогнозувати розвиток негативних процесів – вторинного засолення, дегуміфікації, ущільнення тощо. Таким чином, застосування індексного аналізу знімків супутників Sentinel, Landsat або WorldView дозволяє розширити можливості моніторингу родючості, роблячи його регулярним, просторово орієнтованим і економічно ефективним [28].

Узагальнюючи, можна підкреслити, що стан родючості ґрунтів в агроландшафтах – це динамічна категорія, яка формується під впливом не лише природних умов, але й інтенсивності землеробства. Саме тому систематичне використання засобів дистанційного зондування у поєднанні з наземними обстеженнями є важливою складовою сучасних систем моніторингу, орієнтованих на сталий розвиток аграрної сфери.

3.2. Моніторинг змін агроландшафту

Дистанційне зондування Землі дозволяє отримувати велику кількість даних про земельний покрив та землекористування, що створює потенціал для розробки цифрових методів навчання для картографування змін в цих параметрах. Це може допомогти в удосконаленні рішень щодо збереження земельних ресурсів та забезпеченні сталого розвитку, зменшенні впливу людської діяльності на природне середовище, зміцненні економічної стійкості територій та забезпечити швидкий та точний аналіз великих обсягів даних. Тому, дослідження в галузі картографування змін земельного покриву та землекористування з використанням цифрових методів навчання є важливим напрямком в сучасній геоінформатиці та землекористуванні.

Дані ДЗЗ є важливим джерелом для оцінки впливу економічної діяльності на агроландшафти та визначення ризиків, пов'язаних із глобальною зміною клімату, впливом на продуктивність екосистеми, а також деградацією земель і опустелюванням. ДЗЗ дозволяє екстраполювати дані спостережень

метеостанцій на великих територіях, дозволяючи точніше оцінити ступінь негативного кліматичного та метеорологічного впливу на сільськогосподарські ландшафти. Фундаментальним для використання методів моніторингу впливу зміни клімату на агроландшафти та системи землекористування є знання взаємозв'язків між структурою та станом рослинності, водопостачанням та властивостями їх спектрального відбивання, що дозволяє ідентифікувати типи рослинності та їхні кризові стани на основі даних ДЗЗ [29].

Дослідження та розробка моніторингу засобами ДЗЗ сільського господарства почалися із системи Landsat-1 (ERTS) ще на початку 1970-х рр. У 1974 р. Міністерство сільського господарства США спільно з NASA та NOAA ініціювало експеримент з інвентаризації зернових культур «The Large Area Crop Inventory Experiment» (LACIE). У 1975 році Продовольча та сільськогосподарська організація ООН започаткувала програму GIEWS (Global Information and Early Warning System) для моніторингу продовольчих потреб у світі. За супутниковими даними створюють карти наземного покриття та використання земель, поєднують їх з наземними аграрними статистичними даними та інформацією про ситуацію на аграрному ринку та погодні умови для швидкого реагування на регіональні продовольчі кризи. У 1980-х рр. поступово відбувся запуск серії супутників NOAA з сенсором AVHRR (Advanced very-high-resolution radiometer – удосконалений сенсор з високим радіометричним розрізненням) завдяки чому стало можливим отримувати щоденні супутникові знімки Землі. Незважаючи на їх досить низьке просторове розрізнення (на їх основі були розроблені глобальні оперативні системи супутникового агромоніторингу [38].

В Україні розробкою агромоніторингу методами ДЗЗ проводять Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. А.Н. Соколовського, Інституту агроєкології і природокористування, Центр прийому й обробки спеціальної інформації й контролю навігаційного поля та Державний науково-виробничий центр «Природа», Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук.

Упродовж останніх років вийшло чимало праць вітчизняних науковців присвячених цим проблемам, однак з-поміж них найбільшою популярністю користуються роботи О. Тараріко, О. Сиротенко, Т. Ільєнко, Т. Кучми, О. Томченко та інших дослідників.

Проблеми моніторингу стану агроландшафтів допомагають вирішувати технології ДЗЗ. Основними напрямками застосування технології ДЗЗ при моніторингу стану агроландшафтів є [39]:

1. Моніторинг Стану посівів – відсутність значного пригнічення рослин, яке може бути результатом проростання посівів, відновлення вегетації озимих культур після перезимівлі, накопичення та дозрівання біомаси, зараження хворобами чи шкідниками або нестачі поживних речовин, незалежно від того, чи є потреба в зрошувальних системах чи консервації заходів.

2. Моніторинг агроєкологічних умови в полі – спостереження за погодою, кліматом і пестицидами. Прикладом може бути оцінка вологості ґрунту та втрат врожаю через екстремальні або несприятливі погодні умови, такі як дощ, град тощо.

3. Моніторинг ефективності технічних процесів – коли, куди і в яких кількостях вносити добрива, чи якісно підготовлений ґрунт до посіву, як зменшити вплив негоди.

4. Моніторинг історія використання полів – збір даних про те, що було посіяно на полі та що зібрано за останні роки.

5. Визначення точок відбору проб – виявляє однорідні та неоднорідні зони в полі відповідно до ґрунтового покриву та стану посівів, щоб зменшити кількість точок відбору для детального аналізу польової ситуації.

Значною перевагою використання даних ДЗЗ є отримання інформації про стан та динаміку агроландшафтів без втручання в об'єкт дослідження. Космічні знімки сільськогосподарських угідь, отримані в різних діапазонах електромагнітного спектру випромінювання є одними з найбільш оперативних та об'єктивних джерел інформації про стан рослинності. Вони активно використовуються для вирішення багатьох задач сільського господарства у

всьому світі. При здійсненні моніторингу необхідну інформацію можна отримувати на одну і ту ж територію з потрібною періодичністю, що дозволяє робити висновки про стан об'єктів моніторингу. Космічні знімки дають можливість визначити значну кількість характеристик об'єктів. Наприклад, за знімком можна оцінити родючість ґрунту (вміст у ньому гумусу), вологість, засоленість, еродованість [36].

Існують як глобальні, так і національні системи для моніторингу агроландшафтів за допомогою дистанційного зондування (ДЗЗ). Однією з найвідоміших глобальних систем є GIEWS (Глобальна система інформації та раннього попередження ООН ФАО), що відстежує стан основних продовольчих культур по всьому світу для оцінки перспектив виробництва (Рис. 1). У цій системі застосовуються дані ДЗЗ для аналізу вологозабезпечення і розвитку рослинності протягом вегетаційного періоду. Це дозволяє отримувати цінну інформацію для оцінки ситуацій в реальному часі.

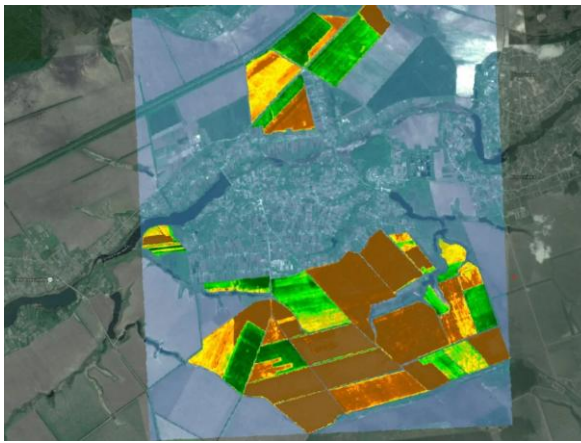
The screenshot shows the GIEWS website interface. At the top is the FAO logo and the text 'Food and Agriculture Organization of the United Nations'. Below this is a navigation menu with options: Home, Background, Reports, Country Analysis (highlighted), Data & Tools, and Subscribe. A search bar is located on the right. The main heading is 'GIEWS - Global Information and Early Warning System'. Underneath, there's a 'Country Briefs' section for Ukraine, with a reference date of 13-July-2023. A 'FOOD SECURITY SNAPSHOT' box contains four bullet points: 'Planting of 2023 spring crops completed, amid number of war-induced challenges', 'Total cereal production in 2023 forecast over 30 percent below five-year average level', 'Export volumes remain below pre-war levels', and 'About 17.6 million people in need of humanitarian assistance'. To the right, there's a 'Crop Calendar' chart for Ukraine, showing the cycle of sowing, growing, and harvesting for various crops like Cereals (winter), Maize* (Spring), Sunflowerseed (spring), Rapeseed (winter), and Potatoes (spring) from January to December. Below the chart is a 'Cereal Production' table comparing 2018-2022 average, 2022, and 2023 forecast, with percentage changes.

	2018-2022 average	2022	2023 forecast	change 2023/2022
	000 tonnes			percent
Maize	34 216	27 000	22 500	-16.7
Wheat	25 032	20 200	18 500	-8.4

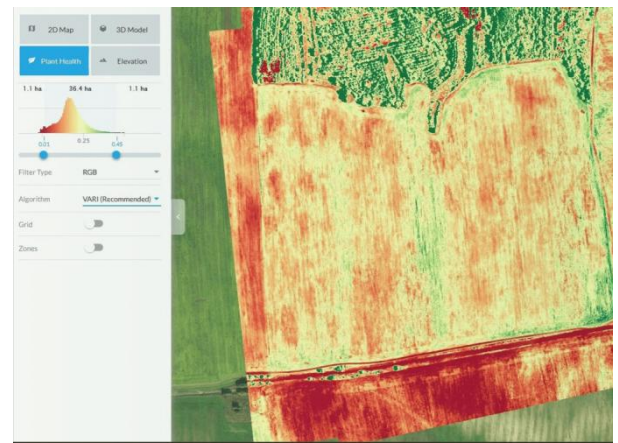
Рис. 3.2. Стартова сторінка онлайн-ресурсу GIEWS

Окрім моніторингу опадів і показників NDVI, система також визначає індекс аграрного стресу (ASI), який є важливим індикатором для раннього виявлення земель, що постраждали від посух. GIEWS Earth Observation дозволяє отримувати ці дані як на глобальному, так і на національному рівнях. Індекси аграрного стресу базуються на супутникових даних про рослинний покрив, температуру поверхні та інші показники [36].

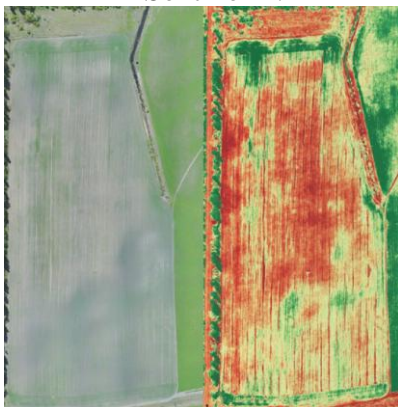
Дані, що використовуються в системі GIEWS, ґрунтуються на регулярних 10-денних показниках від супутників METOP-AVHRR, NOAA-AVHRR та інших. Ці дані доступні через портал GIEWS Earth Observation і згруповані в глобальні та національні показники.



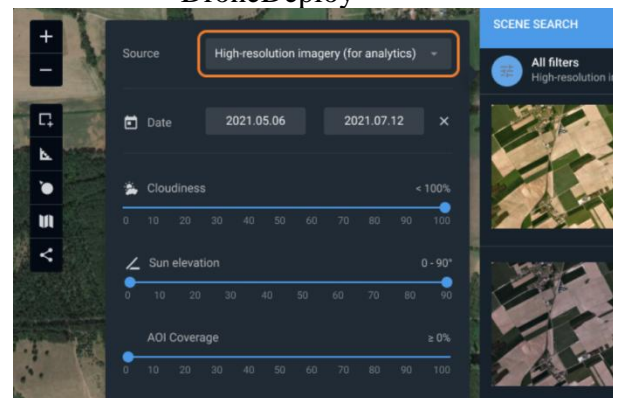
Масив полів господарства Супутниковий знімок Sentinel-2.



Сторінка сервісу обробки даних від DroneDeploy



Побудова NDVI індексу стану сходів



Аналіз в EOSDA LandViewer

Рис. 3.3. Приклади моніторингу агроландшафтів з використанням ДЗЗ

Одним із ключових проєктів є співпраця NASA і Служби сільського господарства США (USDA), яка реалізується в рамках проєкту Global Agricultural Monitoring (GLAM). Він використовує дані спектрометрів NASA MODIS для забезпечення інформації системи FAS, що підтримує

прийняття рішень у сфері сільського господарства. Вебпортали GLAM та Crop Explorer надають супутникову інформацію про стан рослинності, посухи та метеорологічні умови на різних рівнях просторового розподілу.

Проект GLAM відіграє важливу роль у програмі GEOGLAM (Глобальний моніторинг сільського господарства), яка є частиною ініціативи GEOSS (Глобальна система спостереження за Землею). Мета GEOGLAM – надання актуальних і точних прогнозів сільськогосподарського виробництва на різних рівнях за допомогою супутникових і наземних даних. Ця ініціатива підтримує міжнародні мережі, обмін даними та методами аналізу [23].

Також важливим компонентом є проєкт USGS FEWS-NET, який розробив систему раннього попередження USAID FEWS для моніторингу посух. Портал цього проєкту надає доступ до геопросторових даних, супутникових зображень та інших продуктів для моніторингу стану сільськогосподарських культур. Map Viewer та Early Warning eXplorer дозволяють візуалізувати показники опадів, температури поверхні та інші важливі дані для прогнозування умов вирощування.

Крім згаданих систем, існує ще низка інших глобальних і регіональних систем моніторингу сільського господарства, що забезпечують критичну інформацію про продовольчу безпеку та стан агроландшафтів. Серед них можна виділити проєкти Європейської комісії MARS FOODSEC, ESA GMFS та консорціум CSI-CGIAR, які надають важливу інформацію для оцінки врожайності та моніторингу посівів.

Дані ДЗЗ дозволяють класифікувати територію дослідження за типами наземного покриття та відстежувати динаміку їх зміни. Поєднання цих даних з індексом вологості NDWI, розрахованим за даними супутника Landsat 8 дозволяє додатково виділити типи агроландшафтів. Таким чином, поєднання карти наземного покриття та карти спектральних індексів дозволяють методом непрямої оцінки структури ландшафту виявляти екосистемні функції території.

Супутникові дані середнього та низького просторового розрізнення із щоденною частотою зйомки дозволяють здійснювати моніторинг

агроекологічних умов для зростання та розвитку сільськогосподарських культур. Зокрема на основі супутникових даних геопорталів <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer> та <http://pekko.geog.umd.edu/usda> Лабораторією аерокосмічного зондування агросфери Інституту агроекології і природокористування НААН розробляються впродовж вегетаційного сезону аналітичні записки про умови зволоження та стан рослинності на території України [44].

У багатьох країнах застосування технологій ДЗЗ стало пріоритетом для отримання актуальної інформації про земельні ресурси, посіви та прогнозування врожайності. Розвинені країни вже активно використовують космічні дані для вдосконалення сільськогосподарського виробництва через національні інформаційні системи. Отже, у багатьох країнах пріоритетним є застосування технологій дистанційного зондування землі (ДЗЗ) для: отримання оперативної та актуальної інформації про земельні ресурси, кризові і деградаційні явища, визначення водного режиму, стану посівів та прогнозування врожайності різних культур. Багато розвинених країн вже використовують космічну інформацію для господарської діяльності і створили національні ефективні системи оперативного інформаційного забезпечення сільськогосподарського виробництва [49].

Отже, технології дистанційного зондування Землі значно розширюють можливості моніторингу агроландшафтів, забезпечуючи сільське господарство оперативною та об'єктивною інформацією про стан посівів та агроекологічні умови. Використання супутникових знімків дозволяє вчасно виявляти негативні фактори, такі як захворювання рослин, дефіцит вологи, ерозія ґрунтів чи пошкодження посівів через екстремальні погодні явища. Така інформація сприяє прийняттю ефективних рішень щодо управління посівами, що підвищує врожайність та зменшує ризики сільськогосподарської діяльності.

Системи ДЗЗ також дозволяють відслідковувати історію використання полів і ефективність технічних процесів, таких як внесення добрив або підготовка ґрунту. Це сприяє оптимізації агротехнічних заходів і дозволяє

краще адаптувати їх до специфічних умов кожного поля. Крім того, завдяки високій точності супутникових даних можна визначати однорідні та неоднорідні зони в агроландшафтах, що допомагає ефективніше проводити відбір проб для аналізу та управління полями.

Впровадження сучасних супутникових систем моніторингу, таких як GIEWS та GLAM, демонструє важливість ДЗЗ для забезпечення продовольчої безпеки на глобальному рівні. Ці системи дозволяють вчасно отримувати дані про вологість ґрунту, стан рослинного покриву та інші критичні показники, що допомагає в прогнозуванні врожайності та виявленні потенційних загроз, таких як посуха або інші екологічні стреси. Технології ДЗЗ відіграють ключову роль у розвитку точного землеробства, сприяючи підвищенню ефективності та стійкості аграрного сектору.

Висновки до третього розділу

У результаті аналізу підходів до моніторингу родючості ґрунтів в агроландшафтах встановлено, що ефективна оцінка стану ґрунтового покриву потребує поєднання традиційних методів із сучасними дистанційними технологіями. Аерокосмічне зондування забезпечує високу оперативність, масштабність і об'єктивність даних, дозволяючи відслідковувати просторово-часову динаміку ґрунтових характеристик, особливо таких важливих параметрів, як вологість, вміст гумусу, структура поверхні та індекси рослинності. Виявлено, що спектральна яскравість ґрунтів є надійним індикатором їхнього стану, зокрема родючості, а також рівня деградаційних процесів. Тип ґрунту, ступінь його обробітку та наявність рослинного покриву істотно впливають на спектральну відповідь, що вимагає обов'язкового урахування цих факторів при інтерпретації супутникових знімків. Використання індексів NDVI, SAVI та інших доповнює оцінку продуктивності агроecosистем і дозволяє будувати комплексні моделі змін у межах агроландшафтів. Таким чином, інтеграція спектрального аналізу з геоінформаційними даними створює ефективний інструмент для просторової оцінки родючості та підтримки сталого

землекористування.

Результати аналізу демонструють, що дистанційне зондування Землі є ефективним та універсальним інструментом моніторингу агроландшафтів. Його застосування дозволяє своєчасно виявляти зміни стану сільськогосподарських угідь, контролювати динаміку посівів, оцінювати агроекологічні умови та ефективність господарської діяльності. Завдяки супутниковим даним з високою періодичністю та точністю забезпечується можливість безперервного спостереження за розвитком рослинності та впливом кліматичних чинників. Запровадження цифрових методів обробки даних, зокрема розрахунок індексу NDVI, стало базовим підходом до виявлення проблемних зон та прогнозування урожайності. Сучасні глобальні та національні платформи, як-от GIEWS, GLAM, EOSDA LandViewer, створюють комплексні системи підтримки аграрного сектору в умовах кліматичних змін. Українські наукові установи активно впроваджують ці підходи в практику. Таким чином, моніторинг змін агроландшафтів за допомогою ДЗЗ є не лише науково обґрунтованим, а й стратегічно важливим для підвищення стійкості агросфери.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дозволило зробити низку важливих науково обґрунтованих висновків, які мають як теоретичне, так і прикладне значення для геодезії та землеустрою, зокрема у сфері моніторингу агроландшафтів засобами ДЗЗ.

По-перше, було встановлено, що агроландшафти як складні геоекосистеми зазнають багатовимірних змін під впливом природних і антропогенних чинників, серед яких особливе місце займає вплив збройного конфлікту. В умовах війни суттєво змінюється не лише функціональна структура землекористування, а й фізичний стан ґрунтового покриву, що вимагає принципово нових підходів до фіксації, оцінки та аналізу таких трансформацій. Дистанційне зондування Землі постає як ключовий інструмент оперативного виявлення змін, які неможливо відстежити традиційними методами польового обстеження через обмежений доступ до територій.

По-друге, дослідження підтвердило високу ефективність використання супутникових даних Sentinel-2 для виявлення змін у структурі агроландшафтів. Багатоспектральні індекси, зокрема NDVI (нормалізований індекс рослинності), дозволяють простежити динаміку рослинного покриву, рівень деградації земель та ознаки ерозійних процесів. Інтеграція цих даних у геоінформаційне середовище дає змогу створювати просторові моделі, які відображають як сучасний стан територій, так і тенденції трансформації агроландшафтів у часі.

По-третє, розроблено та апробовано алгоритм інтерпретації супутникових зображень для виявлення змін на аграрних територіях, що ґрунтується на поєднанні спектрального аналізу, класифікації покриву та геостатистичного моделювання. Цей підхід забезпечує виявлення як масштабних змін (зміна видів землекористування), так і локальних порушень (сліди військової техніки, деградація ґрунту, порушення зрошувальної мережі). Застосування Google Earth Engine як хмарного середовища обробки даних значно підвищує швидкість і масштабованість аналізу, що особливо важливо для національних моніторингових програм.

По-четверте, дослідження засвідчило, що супутниковий моніторинг агроландшафтів має стратегічне значення для відновлення сільськогосподарських територій у післявоєнний період. Ідентифікація деградованих земель, визначення пріоритетних зон рекультивації та створення цифрових кадастрів порушених ділянок повинні базуватися на інтегрованому аналізі ДЗЗ-даних. У цьому контексті важливою є участь фахівців із геодезії та землеустрою, які мають навички просторового аналізу, моделювання та інтерпретації геоданих у ГІС-середовищах.

По-п'яте, результати роботи свідчать про необхідність уніфікації підходів до моніторингу агроландшафтів на державному рівні. Необхідно створити нормативну основу, яка б регламентувала використання супутникових знімків у процесах оцінки стану земель сільськогосподарського призначення, планування відновлення територій та контролю за змінами в межах агроєкосистем. Доцільним є також розроблення методичних рекомендацій щодо використання ДЗЗ у рамках інвентаризації земель і екологічного моніторингу, з урахуванням специфіки воєнних впливів.

По-шосте, отримані результати відкривають перспективи для подальших досліджень, зокрема щодо використання супутникових часових рядів для моделювання агрокліматичних ризиків, оцінки втрат біопродуктивності та визначення потенціалу екосистемних послуг агроландшафтів. Досвід, набутий у рамках цього дослідження, може бути масштабований на інші регіони України з різним ступенем ураження війною та різною інтенсивністю землекористування.

Отже, дипломна робота підтвердила практичну цінність інструментів дистанційного зондування Землі для виявлення просторово-часових змін агроландшафтів. Використання супутникових даних у поєднанні з геоінформаційними методами дає змогу підвищити ефективність управління земельними ресурсами, забезпечити екологічну безпеку та сформувану науково обґрунтовану базу для відновлення сільських територій. Умови збройного конфлікту лише підсилюють актуальність цього підходу, роблячи його невід'ємною частиною сталого землекористування та поствоєнного відновлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» № 963 від 19.06.2003 р. Відомості Верховної Ради України. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/963>.
2. Закон України «Про землеустрій» № 858 від 22.05.2003 р. Відомості Верховної Ради України. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/858>.
3. Закон України «Про охорону земель» № 962 від 19.06.2003 р. Відомості Верховної Ради України. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/962>.
4. Постанова Кабінет Міністрів України від 23 липня 2024 р. № 848 «Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text>
5. Айлікова Г. В., Голубцов О. Г., Криштоп Т. В., Лісовський С. А, Маруняк Є. О., Палеха Ю. М., Руденко Л. Г., Фаріон Ю. М., Чехній В. М., Чижевська Л. О. Інтеграція екологічної складової в просторові плани громад (методичні настанови). Київ, 2020. 108 с.
6. Антоненко В. С. Агрометеорологічний моніторинг посівів в Україні аерокосмічними методами: навч. посіб. Київ: «АртЕк», 2002. 308 с.
7. Ачасов А. Б., Курілов В. І. Проектування локальних геоінформаційних систем як інформаційної основи раціонального землекористування. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Сер. Екологія. Харків, 2013. Вип. 8. С. 22-26.
8. Байрак Г. Р. Муха Б. П. Дистанційні дослідження Землі : навчальний посібник. Львів, 2010. 712 с.
9. Білоліпський В.О. Ґрунтоохоронна оптимізація агроландшафтів. Суми : Університетська книга, 2012. 399 с.
10. Бобра Т. В., Личак О. І. Ландшафтні основи територіального планування : навчальний посібник. Сімферополь, 2003. 172 с.
11. Бондаренко Е. Л., Шевченко В. О., Остроух В. І. Геоінформаційні основи еколого-географічного картографування. К.: Фітосоціоцентр. 2005. 116 с.

12. Булигін С. Ю., Вітвіцький С. В., Буланий О. В. Моніторинг якості ґрунтів : підручник . Київ : Видавництво НУБіП України, 2019. 421 с.
13. Булигін С.Ю. Формування екологічно сталих агроландшафтів. Київ : Урожай, 2005. 300 с.
14. Бурштинська Х. В., Станкевич С. А. Система аерокосмічного знімання: навч. посіб. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2013. 316 с.
15. Власова О. В. Інформаційне забезпечення планування зрошення за просторово розподіленими даними. Таврійський науковий вісник. 2007. Вип. 51. С. 40–46.
16. Власова О. В. Науково-методичні основи еколого-меліоративного моніторингу агроландшафтів за даними дистанційного зондування Землі. Збалансоване природокористування. 2018. № 1. С. 98–100.
17. Власова О. В. Шевченко А. М. Методика виявлення змін у засолених ґрунтах за супутниковими даними. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2015. Вип. 2. С. 42–46.
18. Войнов В.Р. Моніторинг стану агроценозів аерокосмічними методами. Київ : Урожай, 2005. 392 с.
19. Гебрин Л. В. Аналіз застосування аерокосмічних методів та технологій ефективності використання земельних ресурсів. Містобудування та територіальне планування. 2014. Вип. № 53. С. 49-51.
20. Гебрин Л. В., Сахацький О. І. Застосування даних дистанційних аерокосмічних методів для узагальненої оцінки стану ґрунтів регіону. Геоінформатика. 2015. № 3 (55). С. 68–76.
21. Голубцов О. Г. Ландшафтне планування: основні положення та досвід реалізації в Україні. Український географічний журнал. 2021. Вип. 1 (113). С. 63-72.
22. Грановська Л. М. Еколого-збалансоване природокористування в умовах поліфункціональності територій. Херсон: Вид-во ХДУ, 2009. 414 с.
23. Гулько О. Використання стратегічних методів космічного знімання для моніторингу земель сільськогосподарського призначення. Геодезія та

- землеустрій: стан, проблеми та перспективи розвитку. 2024. С. 209–2013.
24. Гулько О. Р., Перович Л. М., Лудчак О. Ю. Аналіз світового досвіду використання космічних методів моніторингу використання земель сільськогосподарського призначення. Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва»: зб. наук. праць Західного геодезичного товариства УТГК. Львів, 2018. № 1 (35). С. 64–70.
25. Гуцуляк В. М. Ландшафтознавство: теорія і практика : навчальний посібник. Чернівці: Книги-XXI, 2008. 168с.
26. Гуцуляк В.М. Ландшафтна екологія (Геохімічний аспект) : навчальний посібник. Чернівці : ЧДУ, 2001. 82 с.
27. Гудзь В.П., Примак І.Д., Рибак М.Ф. та ін. Адаптивні системи землеробства : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 336 с.
28. Давидчук В., Сорокіна Л., Родіна В. Методи ландшафтного картографування з використанням ГІС та інших комп'ютерних технологій. Вісник Львівського національного університету. Львів, 2004. Вип. 31. С. 263-270.
29. Дорожинський О. Л., Бурштинська Х. В., Глотов В. М. Геоматика в екологічному моніторингу та оцінці загрозливих ситуацій: монографія. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2016. 400 с.
30. Жолобак Г. М. Використання методів дистанційного зондування для моніторингу аграрних ресурсів України. Космічна наука і техніка. 2010. Т. 16, № 6. С. 16–27.
31. Карпінський Ю. О., Лазоренко-Гевель Н. Ю. Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування. Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. Збірник наукових праць. 2018. Вип. I (35). С. 204–211.
32. Колотій А. Порівняння біофізичних та супутникових предикторів для прогнозування врожайності пшениці в Україні. Міжнародний архів фотограмметрії, дистанційного зондування та наук про просторову інформацію. 2015. Т. XL-7/W3. С. 39–44.
33. Кохан С. С. Ідентифікація сільськогосподарських культур на основі часових рядів мультиспектральних аерокосмічних даних. Корсунь-Шевченківський: В.

- М. Гаврищенко. 2012. 94 с.
- 34.Ласло О. О., Шевчук С. М., Оніпко В. В. Оцінка стану агроландшафтів за показниками розораності та антропогенного навантаження шляхом картографічного моделювання (на прикладі Полтавської області). Таврійський науковий вісник. Херсонський державний аграрно-економічний університет. Одеса: ВД «Гельветика», 2022. Вип. 128. С. 375–382.
- 35.Максименко Н. В. Методичні підходи до оцінки ландшафтної мозаїчності території. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. Харків, 2013. Вип. 1-2. С. 28-33.
- 36.Мендель В. П. Картографування сільськогосподарських земель в умовах прояву водної ерозії. Вісник НУВГП. 2013. №3. С. 41–42.
- 37.Мислива Т.М., Долгілевич М.Й. Основи моніторингу довкілля : навчальний посібник. Житомир : ЖДАУ, 2007. 371 с.
- 38.Панас Р. М., Маланчук М. С. Методологія еколого-ландшафтного моніторингу порушених земель (на прикладі Роздільського кар'єру). Наук. вісник Геодезія, картографія і аерофотознімання. Львів, 2011. Вип. 75. С. 115-120.
- 39.Перович Л. М. Кадастровий моніторинг земель. Геодезія, картографія та аерофотознімання. 2009. № 73. С. 97 – 101.
- 40.Притула Н. М. Моніторинг агроландшафтів : навчальний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 101 «Екологія» освітньо-професійної програми «Екологія та охорона навколишнього середовища». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2023. 115 с.
- 41.Редей Н.М., Горбатенко А.А. Геоінформаційний моніторинг екологічного стану локальних агроєкосистем. Київ : Гельветика, 2019. 236 с.
- 42.Сиротенко О. Б. Вибіркове обстеження сільськогосподарських культур. «Регіональна нарада «Можливості дистанційного зондування Землі та геоінформаційні технології у вирішенні проблем Київщини» (м. Київ, 20–21 берез. 2007 р.). Київ, 2007.
- 43.Сінна О. І. Ландшафтно-екологічне картографування на основі геоінформаційних технологій (на прикладі Харківської області) : автореферат.

Київ, 2014. 20 с.

44. Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Агроєкологічний супутниковий моніторинг. Київ : Аграр. наука, 2019. 204 с.
45. Трушева С.С. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Моніторинг якості ґрунтів» студентам спеціальності 7.09010102 «Агрохімія і ґрунтознавство». Рівне : НУВГП, 2013. 22 с.
46. Шевченко А. М., Власова О. В. Просторове оцінювання вологозабезпеченості агроландшафтів степової зони України. Агроєкологічний журнал. 2012. С. 35–38.
47. Шевчук С. М., Пуденко О. Р. Можливості використання технологій ГІС та ДЗЗ при екологічному моніторингу Макухівського сміттєзвалища в Полтавській області. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2022. № 2. С. 165–174.
48. Шевчук С. М., Прокопенко Н. І., Рожі Т. А. Аналіз використання геодезичних даних при плануванні та моніторингу агроландшафтів: оптимізація землекористування та охорони природи. Просторовий розвиток: Науковий збірник / Головн. ред. О. Шкуратов. К., КНУБА, 2024. Вип. 7. С. 445–458.
49. Шевчук С. М. Геоінформаційне моделювання змін агроландшафтів Лівобережного Лісостепу України в умовах кліматичних змін для забезпечення продовольчої безпеки: обґрунтування програми дослідження. Агроландшафти: інноваційні підходи у землеустрої та садово-парковому господарстві: збірник статей II Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 17 квітня 2025 р.). Полтава, 2025. С. 11–15.
50. Шелестов А. Ю., Яйлімов Б. Я. Стан моніторингу фактичного використання земель сільськогосподарського призначення у провідних країнах на основі супутникових даних. Український журнал дистанційного зондування Землі. 2017. № 12. С. 59–66.