Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису

УДК 528.8 : 332.3

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Галузь знань 19 – “Архітектура та будівництво”

Спеціальність 193 – “ Геодезія та землеустрій”

Освітня програма – “Землеустрій та кадастр”

Випускна кваліфікаційна робота магістра

студентки 2 курсу магістратури

Скубенко Валерії Валеріївни

Науковий керівник –

Кандидат географічних наук, доцент

Курач Тамара Миколаївна

Допущено до захисту:

Протокол засідання кафедри № __ від “__” _____2021 року

Завідувач кафедри проф. Даценко Л. М.

Київ - 2021

ЗМІСТ

ЗМІСТ 2
РЕФЕРАТ 3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 5
ВСТУП 6
РОЗДІЛ 1. МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ В УКРАЇНІ 9
1.1. Моніторинг земель як функція управління земельними ресурсами 9
1.2. Види моніторингу земель. 14
1.3. Моніторинг земель в системі моніторингу довкілля 17
1.4. Моніторинг земель сільськогосподарського призначення 21
РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 30
2.1. Аналіз сучасних систем ДЗЗ та їхнього використання в моніторингу довкілля 30
2.2. Особливості космічного моніторингу земель сільськогосподарського призначення 46
РОЗДІЛ 3. ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ 62
3.1. Структура, стан та використання сільськогосподарських земель в Україні…62
3.2. Класифікація багатоспектральних космічних знімків 67
3.3. Розрахунок вегетаційних індексів для оцінки стану сільськогосподарських культур 72
ВИСНОВКИ 84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 87
ДОДАТКИ 95

РЕФЕРАТ

Розглянуто питання застосування методів дистанційного зондування для моніторингу земель сільськогосподарського призначення як швидкого та ефективного способу отримання інформації про стан сільськогосподарських земель.

У розділі 1 встановлено, що моніторинг земель є дієвим інструментом державної політики для ефективного управління землями сільськогосподарського призначення та цінним джерелом інформації щодо їх стану та використання. Виявлено основні проблеми моніторингу земель в Україні, а саме не налагоджена система збору систематичної просторово-часової інформації про динаміку несприятливих процесів, існуюча мережа постійних ділянок моніторингу грунтів і рослин є нерепрезентативною, неузгодженість дій різних відомств в сфері моніторингу, не створена єдина система дистанційного моніторингу сільськогосподарських земель. Підкреслена актуальність розробки науковими установами технологій застосування ДЗЗ для моніторингу агроресурсів.

У розділі 2 розглянуто основні технічні характеристики даних, отримуваних з сучасних космічних супутникових систем та спектральні властивості земних об’єктів, які визначають особливості моніторингу. Проаналізовано прийоми застосування даних ДЗЗ при вивченні стану сільськогосподарських культур та наголошено на доцільності застосування вегетаційних індексів.

У розділі 3 підтверджено, що дистанційне одержання даних про стан сільськогосподарських культур з використанням супутникових знімків є ефективним методом агромоніторингу. Здійснено тематичне дешифрування сільськогосподарських земель шляхом автоматичної контрольованої класифікації космічного знімка Landsat 8. Розраховано вегетаційні індекси NDVI та побудовано графіки їх сезонного ходу. Створено індексні зображення полів для виявлення проблемних ділянок на конкретному полі.

Ключові слова: моніторинг земель, дистанційне зондування землі, космічні знімки, сільськогосподарські землі, вегетаційні індекси.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДЗЗ – Дистанційне зондування Землі

ЗК – Земельний Кодекс

NDVI – нормалізований диференційний вегетаційний індекс

ГІС – геоінформаційна система

ІЧ – інфрачервоний

КЗ – космічний засіб

ВСТУП

Землі сільськогосподарського призначення є стратегічним ресурсом держави. Нераціональне і нецільове використання сільськогосподарських земель веде до їх деградації, що негативно впливає на можливість отримання сільськогосподарської продукції. У свою чергу, забезпечити раціональне використання земельних ресурсів досить важко без оперативного моніторингу їх стану [1].

Моніторинг земель в Україні як важливий інструмент інформаційного забезпечення землекористування, охорони земель та управління земельними ресурсами потребує вдосконолення [2]. Відомості про стан земель сільськогосподарського призначення, їх продуктивність та негативні процеси, що її знижують є не досить повними та достовірними для прийняття ефективних управлінських рішень щодо їх використання. Супутниковий моніторинг сільськогосподарських земель дозволяє забезпечити отримання об'єктивної інформації про їх стан та використання.

Актуальність теми. Протягом останніх десятиліть активно обговорюються можливості використання матеріалів ДЗЗ для виконання різних завдань сільськогосподарського моніторингу. Доступність даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) зростає, покращується їх просторове та часове розрізнення. Сучасні дані ДЗЗ, одержувані за допомогою встановлених на космічних апаратах систем, володіють технічними характеристиками, що дозволяють вирішувати цілий комплекс завдань в галузі сільськогосподарського виробництва - від картографування меж полів до аналізу ступеня використання земель і змінного в часі стану сільськогосподарських культур як на значних площах, так і на невеликих ділянках (точне землеробство) [3].

З метою отримання всебічної інформації про стан с/г культур на полях, доцільно забезпечити постійний моніторинг стану вегетації на базі даних,

отриманих у результаті обробки космічних знімків. Основою для здійснення такого моніторингу є визначення спектральних характеристик та розрахунок вегетаційних індексів.

Об'єктом дослідження є землі сільськогосподарського призначення.

Предметом дослідження є моніторинг стану сільськогосподарських земель з застосуванням методів дистанційного зондування.

Мета дослідження - здійснити просторово-часовий і спектральний аналіз космічних знімків засобами ГІС для вивчення стану сільськогосподарських земель.

Для досягнення мети дослідження були поставлені наступні **завдання**:

1. Обгрунтувати важливість моніторингу аграрних земель як функції управління земельними ресурсами.
2. Вивчити питання організації моніторингу земель в Україні та визначити основні проблеми його здійснення.
3. Проаналізувати можливості сучасних систем ДЗЗ для моніторингу складових навколишнього середовища.
4. Виділити основні напрями космічного моніторингу земель сільськогосподарського призначення.
5. Визначити особливості використання даних космічного знімання для різних задач моніторингу, зокрема при вивченні стану сільськогосподарських культур
6. Здійснити просторовий аналіз різночасових космічних знімків засобами ГІС для вивчення стану сільськогосподарських земель, а саме:

- провести класифікацію космічного знімку з метою виділення земель сільськогосподарського призначення;
- розрахувати вегетаційні індекси та побудувати індексні зображення для полів з декількома відомими сільськогосподарськими культурами;

- побудувати графіки сезонного ходу вегетаційного індексу для кожного поля.

Для вирішення поставлених завдань використовувались геоінформаційні технології та методи цифрової обробки даних дистанційного зондування Землі.

При написанні кваліфікаційної роботи застосовувались такі методи дослідження: аналізу і синтезу, порівняльно-географічний, логічного узагальнення, системний аналіз, статистичний, математичний, картографічний, моделювання, дешифрувальні методи дослідження (метод візуального та автоматичного дешифрування) спектральний аналіз космічних знімків, геопросторовий аналіз.

Практична важливість результатів роботи полягає у можливості їх застосування для визначення стану сільськогосподарських культур на полях на кожному етапі їх вегетації та виявлення у ньому змін з використанням вегетаційного індексу NDVI, що може сприяти підвищенню ефективності ведення аграрного виробництва.

РОЗДІЛ 1. МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ В УКРАЇНІ

1.1. Моніторинг земель як функція управління земельними ресурсами.

Земля є важливою частиною природних ресурсів, особливим засобом виробництва, а також просторовим базисом для діяльності людини. Постійність просторового розміщення, територіальна обмеженість, незамінність, здатність до відтворення родючості є основними відмінностями, котрі відрізняють землю від інших засобів виробництва. Особливо важливу роль земля відіграє у сільському господарстві, де є основним засобом виробництва. Вона виступає і предметом праці (на неї спрямована праця - обробіток, сівба, догляд за посівами), і засобом праці, за допомогою якого людина отримує об'єкт виробництва. Земля є основним національним багатством і перебуває під особливою охороною держави [4]. Такі особливості землі формують актуальність проблеми ефективного управління земельними ресурсами. Найбільшої уваги як об'єкт управління земельними ресурсами потребують землі сільськогосподарського призначення, частка яких складає майже 70% всіх земель України та які призначені формувати умови продовольчої безпеки країни.

Процес управління певним об'єктом неможливий без наявності інформації про його стан, адже вона є основою для вироблення, прийняття та подальшої реалізації рішень. Тому управління земельними ресурсами обов'язково потребує проведення їх моніторингу. Згідно зі статтею 191 Земельного Кодексу (ЗК) України [5], моніторинг земель являє собою систему «спостереження за станом земель з метою своєчасного виявлення змін, їх оцінки, відвернення та ліквідації наслідків негативних процесів». Для систематичного виявлення змін у стані земель необхідно налагодження системи регулярного збору та подальшого оброблення інформації, її передавання, збереження та аналізу, що дозволяє здійснювати їх прогнозування. В системі моніторингу також розробляються науково-обґрунтовані рекомендації для прийняття рішень щодо запобігання

негативним змінам стану земель та дотримання вимог екологічної безпеки. В умовах розвитку людства, розширення господарської діяльності, збільшення чисельності землевласників та землекористувачів, процесів активного використання земельних ресурсів та певного впливу на них не уникнути. Але можливо керувати таким процесом через належне управління. Управління в таких умовах потребує опрацювання великої кількості оперативної інформації. Як раз моніторинг є дуже цінним інструментом в цій сфері. Застосування науково-обгрунтованих даних системи моніторингу земель дозволяє їх раціонально використовувати та сприяти підвищенню родючості грунтів та урожайності культур на землях сільськогосподарського призначення, покращення показників сільськогосподарського використання.

Отже, моніторинг земель є важливою функцією управління в сфері використання та охорони земель, тобто є відносно відокремленим напрямом управлінської діяльності, які дозволяють здійснити певний вплив на об'єкт управління з метою вирішення поставленого завдання. За допомогою системи моніторингу виявляються критичні ситуації у використанні і охороні земель та перевищення встановлених допустимих норм антропогенного навантаження, виділяються критичні фактори впливу і найбільш чутливі до впливу елементи.

До нормативно-правових документів, які регулюють моніторинг земель в Україні, окрім Земельного кодексу України належать Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища»[6], «Про охорону земель»[7], «Про меліорацію земель»[8], «Про державний контроль за використанням та охороною земель»[9], Положення про моніторинг земель [10], Положення про моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення [11], Положення про державну систему моніторингу довкілля [12], Інструкція з організації та здійснення моніторингу зрошувальних та осушувальних земель [13].

Основними завданнями моніторингу земель відповідно до ст. 192 ЗК є «прогноз еколого-економічних наслідків деградації земельних ділянок з метою

запобігання або усунення дії негативних процесів» [5]. Слід погодитися з думкою А. М. Мірошниченко та Р. І. Марусенко у Науково-практичному коментарі Земельного кодексу, що завдання моніторингу земель розкриті у ній не повністю. «Завдання моніторингу полягають також у прогнозуванні самих негативних явищ, що можуть спричинити деградацію земель внаслідок водної чи вітрової ерозії, підтоплення, висушення, зсувів, вторинного засолення, закислення, заболочення, ущільнення ґрунтів, забруднення земель промисловими відходами та хімічними речовинами тощо» (К.: Алерта, 2013. 544 с.). Крім того, виділяють такі завдання моніторингу земель: довгострокові систематичні спостереження за станом земель; аналіз екологічного стану земель; своєчасне виявлення змін стану земель, оцінка і прогнозування цих змін, вироблення рекомендацій щодо запобігання негативним процесам та усунення їх наслідків; інформаційне забезпечення ведення державного земельного кадастру, землеустрою, державного контролю за використанням та охороною земель ,а також забезпечення необхідною інформацією про стан земель органів місцевого самоврядування, власників земельних ділянок.

Відповідно до Положення про моніторинг земель [10], моніторинг земель складається із систематичних спостережень за станом земель, що включає агрохімічну паспортизація земельних ділянок, зйомку, обстеження і вишукування, виявлення у ньому змін, а також проведення оцінки процесів, пов’язаних із змінами родючості, заростання сільськогосподарських угідь, забруднення земель; стану берегових ліній природних та штучних водних об’єктів та гідротехнічних споруд; процесів, пов’язаних з екзогенними та ендогенними явищами; стану земель населених пунктів, територій, зайнятих об’єктами промисловості та різних матеріалів, які здійснюють негативний вплив на об’єкти довкілля.

Аналізуючи дане положення, можна побачити, що поняття моніторингу земель в українському законодавстві є більш вузьким порівняно з викладеним в нормативно-правових актах інших країн. Наприклад, у Росії державний

моніторинг земель поділяється на моніторинг використання земель та моніторинг стану земель [14]. Спостереження за використанням земель та земельних ділянок проводяться відповідно до їх цільового призначення. Моніторингу стану земель передбачає дослідження зміни кількісних і якісних характеристик земель, оцінка та прогнозування змін стану земель. До кількісних характеристик відносяться дані щодо зміни площі земель і земельних ділянок різних категорій, видів дозволеного використання і видів земельних угідь. Зміни якісних характеристик стану земель вивчаються в контексті впливом негативних процесів. Для позитивних перетворень у системі моніторингу земель в Україні необхідно доповнити моніторинг грунтів на стаціонарних ділянках проведенням регулярних спостережень за використанням земель на всій території країни та обробкою отриманих матеріалів сумісно з даними ДЗК.

Положення про моніторинг земель регламентує здійснення моніторингу земель у певній послідовності:

1) безпосереднє виконання спеціальних зйомок і обстеження земель;

2) виявлення негативних факторів, вплив яких потребує здійснення контролю;

3) оцінка, прогноз, запобігання впливу негативних процесів.

В системі моніторингу створюються мережі дослідних земельних ділянок та ділянок з еталонними ґрунтами із включенням земель опорних пунктів земельних ділянок наукових установ, навчальних закладів та проектних організацій. Проводиться оцінка заподіяної шкоди земельним ресурсам та потенційних ризиків унаслідок надзвичайних екологічних ситуацій природного та техногенного характеру.

Моніторинг потребує застосування геоінформаційних технологій та створенні відповідних баз даних, що полегшують операції збирання, накопичення, поновлення, зберігання, оброблення, користування і розповсюдження отриманої інформації та впровадженні систем глобального позиціювання для оперативного

визначення географічного положення ділянок, на яких проявляються негативні процеси.

Основою технічного забезпечення моніторингу є автоматизована інформаційна система [10].

В Положенні про моніторинг земель досить загально зазначається склад інформаційного забезпечення моніторингу земель. Це дані, які мають необхідну повноту для об'єктивної оцінки ситуації, її моделювання та прогнозування [10]. Для досягнення даного критерію інформація, що отримується в системі моніторингу земель, повинна включати: дані засобів дистанційного зондування Землі (космічних та авіаційних) необхідного просторового та спектрального розрізнення, дані наземних обстежень, картографічні матеріали різних масштабів, в тому числі топографічні, грунтові, геоботанічні та інші карти на територію дослідження; матеріали обстежень, які проводяться землевпорядною службою Держгеокадастру та іншими відомствами, адаптовані з урахуванням уніфікованої системи показників моніторингу земель. Інформація, яка зберігається в банках, даних повинна бути прив'язана до єдиної картографічної основи. До системи моніторингу повинна залучатися інформація, приведена до встановлених стандартів та повинна оброблятися за єдиною методикою.

За тривалістю періоду спостережень інформація поділяється на ретроспективну, базову і періодичну [14]. Ретроспективна інформація включає інформацію за певну кількість років до теперішнього у вигляді рядів даних за основними характеристиками земель, статистичні дані сільського господарства, метеорологічні дані та іншу інформацію. Базова інформація характеризує стан земель даної території за основними параметрами на момент початку функціонування системи моніторингу. Періодична інформація включає в себе інформацію про показники моніторингу земель з періодичністю, яка необхідна для вирішення поставленого завдання.

Збір інформації про стан і використання земель здійснюють з використанням наземних спостережень, дистанційних методів та даних, зібраних різними міністерствами. Наземний моніторинг має 2 складові: 1) проведення досліджень у мережі постійно діючих полігонів та еталонних стаціонарних ділянок 2) виконання зйомок, спостережень і обстежень (суцільних і вибіркових). Дистанційний моніторинг полягає у залученні даних знімання з космічних засобів, літаків та засобів малої авіації.

Моніторинг стану земель на регіональному рівні складається з ряду послідовних дій на кожному з етапів. На виробничому етапі спочатку проводиться збір і аналіз наявних матеріалів: агрохімічного, радіологічного, токсикологічного та інших обстежень, земельно-кадастрової інформації, картографічних та даних ДЗЗ. Далі проводиться оцінка достовірності наявних даних. Проектуються нові дослідницькі полігони та створюється мережа дослідницьких полігонів. Формуються дослідницькі бригади, узгоджуються дії підрозділів різних структур, які задіяні в моніторингу. Важливими є технологічні етапи, такі як розробка автоматизованої інформаційної системи (формування бази даних) та методів обробки матеріалів дистанційного зондування. Формується база даних нормативних документів, що регулюють моніторинг земель. Останніми етапами є розробка критеріїв оцінки стану земельних ресурсів та оцінка за ними реального стану земель району.

1.2. Види моніторингу земель.

У «Положенні про моніторинг земель» моніторинг земель відповідно до рівнів його проведення поділяється на національний, регіональний і локальний, які розрізняються ступенем охоплення територій та метою спостережень [10]. Національний моніторинг земель проводиться на всіх землях у межах території України. Регіональний моніторинг охоплює території, що характеризуються

єдністю фізико-географічних, екологічних та економічних умов, а локальний - окремі земельні ділянки та окремі частини (елементарні структури) ландшафтно-екологічних комплексів. На локальному та регіональному рівні моніторинг земель проводять територіальні органи Держгеокадастру, на національному рівні – Держгеокадастр [10].

Спостереження за станом земель розрізняються за строком та періодичністю їх проведення і поділяються на: базові, періодичні та оперативні [10]. Базові спостереження фіксують стан земель на момент початку ведення моніторингу земель. Періодичні спостереження проводять через рік чи більше з метою отримання інформації про зміни за якийсь проміжок часу, а оперативні фіксують стан об’єкта на даний момент.

Залежно від призначення моніторингу земель науковці виділяють такі його види: базовий (загальний), кризовий (оперативний), фоновий [15].

Базовий моніторинг – це систему систематичних поточних спостережень за ґрунтом у просторі і часі [16]. Він дозволяє прослідкувати динаміку зміни стану грунтів за різними показниками такими як дегуміфікація ґрунтів, дефіцит балансу поживних речовин (азоту, калію та ін.), підкислення і засолення ґрунтів тощо.

Кризовий моніторинг земель проводиться у зонах надзвичайної екологічної ситуації , а також у районах аварій зі шкідливими екологічними наслідками з метою забезпечення оперативного реагування на кризові ситуації та прийняття рішень щодо їх ліквідації [16].

Фоновий моніторинг – вихідна оцінка об’єкта спостережень, умовно прийнята за нульову позначку, стосовно якої порівнюються одержані дані у рамках поточних спостережень. Фоновий моніторинг забезпечує даними про властивості ґрунтів у природному стані (на цілині), і при зіставленні з даними на ріллі, дає можливість визначити напрямок і інтенсивність трансформації ґрунтів під впливом антропогенних чинників. Через високу розораність ґрунтового

покриву України, для багатьох грунтів відсутні їх природні еталони, тому за фоновий беруть дані першого туру агрохімічних обстежень [17].

В. Медведєв наголошує на можливості створення в Україні постійно діючої системи з фонового, виробничого і наукового видів моніторингу [17]. Науковий моніторинг надає інформацію підвищеної точності та за більшою кількістю показників, що дозволяє якісно збагатити виробничий моніторинг як основний вид поточних спостережень за ґрунтом у просторі і часі. І найголовніше, за допомогою наукового моніторингу можна створити суттєво більш надійні прогностичні моделі. Цей моніторинг включає проведення спеціальних польових дослідів, застосування лізиметричних станцій, використання імітаційних і математичних моделей. Виробничий і фоновий моніторинг повинні вести спеціальні виробничі підрозділи, науковий – наукові установи .

П. Черняга та В. Мошинський у системі моніторингу земельних ресурсів виділяють статичний, кінематичний і динамічний моніторинг [18]. Статичний моніторинг фіксує стан земельних ресурсів на певну дату та використовується на територіях, де антропогенні зміни довкілля незначні. Для цього створюється статична модель земельних ресурсів на основі картографо-геодезичних матеріалів знімання території та багатошарової геоінформаційної системи (набору тематичних шарів та баз даних), яка комплексно характеризує параметри географічної оболонки.

У разі помірного антропогенного навантаження на певну територію, зокрема для сільськогосподарських угідь, доцільно використовувати кінематичну модель земельних ресурсів, яка базується на періодичному моніторингу. Це дозволяє виявляти зміни стану або структури земельних угідь.

Коли вплив господарської діяльності людини стає небезпечним для стану природних ресурсів та призводить до погіршення їх стану або є ризик техногенних катастроф використовується динамічна модель. Така модель

підходить для територій великих міст та об'єктів промисловості, адже вона не тільки дозволяє спостерігати зміни, які відбулись, але й виявляти їх причину та прогнозувати розвиток несприятливих процесів в майбутньому. Для функціонування динамічної моделі необхідним є застосування систем дистанційного зондування для безперервного та оперативного моніторингу земель.

Вибір моделі залежить від особливостей просторово-часових змін, які відбуваються у стані земель та їх структурі.

1.3. Моніторинг земель в системі моніторингу довкілля.

Моніторинг земель відповідно до ЗК України [5] є складовою частиною державної системи моніторингу довкілля, тобто системи спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково-обгрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки. За методами спостережень моніторинг довкілля поділяється на аерокосмічний моніторинг (дистанційні методи) та моніторинг за фізичними, хімічними та біологічними показниками [19]. При проведенні моніторингу земель, зокрема при прогнозуванні змін структури земельних ресурсів необхідно враховувати, що земля як частина довкілля пов'язана з іншими складовими навколишнього середовища. Виділяються чотири блок-компоненти моніторингу земель: структура та стан агроландшафту, ґрунти, рослинність, вода. Блок-компонент «ґрунти» є одним із найважливіших обмежених і незамінних природних ресурсів, який зазнає великих антропогенних навантажень, викликаних різними видами ерозії, забрудненням хімікатами, важкими металами і радіонуклідами, а також втратою гумусу, заболоченням, засоленням, тощо [20].

Суб'єктами моніторингу земель є Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру (Держгеокадастр) за участю Міндовкілля, Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України (Мінекономіки), Національної академії аграрних наук (НААН) та Державного космічного агентство України (ДКА).

В Положенні про державну систему моніторингу довкілля [12] приведено повноваження суб'єктів системи моніторингу довкілля, які надають інформацію для проведення оцінки екологічного стану земель. Моніторинг грунтів на землях різних категорій здійснюють різні міністерства. Так, Міндовкілля здійснює моніторинг ґрунтів на природоохоронних територіях, Держлісагентство - земель лісового фонду. ДСНС - моніторинг ґрунтів різного призначення за вмістом залишкової кількості пестицидів та важких металів. Держводагентство та Держгеокадастр здійснює моніторинг особливо важливої категорії - зрошуваних та осушуваних земель. На Держгеокадастр також покладена функція моніторингу грунтів і ландшафтів за вмістом забруднюючих речовин та проявом несприятливих процесів і спостереження за станом берегових ліній водних об'єктів та гідротехнічних споруд.

Мінекономіки здійснює моніторинг грунтів сільськогосподарського використання та сільськогосподарських рослин і продуктів з них. Проводяться радіологічні, агрохімічні (для грунтів) та токсикологічні визначення. Наукові дослідження з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь здійснюються державною установою «Інститут охорони ґрунтів України» (ДУ «Держґрунтохорона»), яка складається з 23 обласних філій та підпорядковується Мінекономіки.

Державне космічне агентство України надає архівні та поточні матеріали з дистанційного зондування Землі.

Узагальнені за районами, містами, областями або за окремими природними комплексами дані моніторингу передається у пункти збору автоматизованої

інформаційної системи територіальних органів Держгеокадастру. За результатами оцінки стану земель складаються звіти, прогнози та рекомендації, що подаються місцевим органам виконавчої влади, органам місцевого самоврядування та Держгеокадастру для вжиття заходів до запобігання і ліквідації наслідків негативних процесів [10].

Значна кількість суб'єктів моніторингу, які збирають інформацію про стан земель та поширення окремих видів деградаційних процесів в Україні, та використання ними різних методологій призводить до складності співставлення отриманих даних та визначення територій, які мають незадовільний стан або піддались деградації. В якості вирішення даної проблеми В. Петриченко, С. Балюк, В. Медведєв [21] пропонують створити Центр моніторингу земель у рамках Мінагрополітики або НААНУ та доручити йому проведення регулярних спостережень і об'єднати накопичену різними відомствами інформацію про стан земельних ресурсів. Це допоможе у створення сучасної бази даних, що стане основою для проведення на належному рівні усіх видів оцінки землі, визначення обґрунтованої плати за землю, прийняття рішень щодо зміни категорії земель та виведення земель з обробітку. Аналізуючи досвід деяких європейських країн, науковці вважають, «що методичну роботу з моніторингу можна доручити ННЦ «Інститут грунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», а виконання — ДУ «Держґрунтохорона», що спеціалізується на здійсненні агрохімічної паспортизації полів. Дані установи можуть досить швидко адаптувати роботи з моніторингу до європейських вимог, а саме сформувати постійну, фіксовану в просторі й у часі мережу спостережень з використанням регулярних або нерегулярних мереж; значно розширити кількість показників які визначаються та перейти на європейські стандарти у відборі, транспортуванні, збереженні зразків грунтів.

Науково-методичні основи застосування дистанційних методів для вирішення завдань сільськогосподарського моніторингу в Україні теж

розробляються науковими колективами різних відомств. Вагомий внесок щодо впровадження дистанційних методів у сільське господарство зробили кілька організацій НААНУ. Зокрема, у секторі дистанційного зондування ґрунтового покриву Інституту ґрунтознавства й агрохімії ім. А. Н. Соколовського на базі матеріалів багатоспектрального космічного знімання й ГІС-технологій здійснюється моніторинг різноманітних характеристик ґрунту та створюються електронні ґрунтові карти. Науковцями Інституту водних проблем і меліорації НААН опрацьовуються методи дистанційного зондування в контексті удосконалення моніторингу меліорованих земель В Інституті агроекології і природокористування НААНУ функціонує лабораторія аерокосмічного зондування агросфери, одним з основних завдань якої є проведення фундаментальних досліджень і прикладних розробок у сфері дистанційного зондування сільськогосподарських об'єктів [22]. Дослідження лабораторії направлені на розроблення сучасної методології і технології збирання, обробки, узагальнення та розповсюдження інформації з засобів дистанційного зондування про процеси та явища, що відбуваються в агросфері. Також проводиться впровадження світового досвіду у практику дистанційного моніторингу агроресурсів з адаптацією до українських умов [23].

Таким чином, в Україні наявні численні напрацювання щодо використання матеріалів ДЗЗ для задач моніторингу агроресурсів, і існує потреба покращення інформаційного забезпечення сфери сільського господарства для повної реалізації її потужного аграрного потенціалу. Проте через деякі проблеми, зокрема невизначений спосіб обміну інформацією між установами, які залучені до впровадження методик застосування супутникових даних в сферу сільського господарства, єдина система дистанційного моніторингу агроресурсів досі не створена. Для створення такої системи необхідно об'єднати зусилля наукових та інженерних установ та організацій та налагодити систему обміну інформацією між ними.

Мартин А. у статті «Реформування системи моніторингу земель в Україні: напрями та механізми» висловлює думку, що для реформування моніторингу земель як важливого компоненту системи моніторингу довкілля є доцільним вивчити європейський досвід його здійснення за програмою спостереження Землі Європейського союзу Copernicus [24]. У цій системі [25] моніторингові дані збираються з супутників Sentinel та наземних станцій, які передають дані, отримані безліччю датчиків на землі, в морі або в повітрі. Обробка одержаних даних забезпечує постачання надійної та актуальної інформації за шістьома тематичними напрямами: земля, море, атмосфера, кліматичні зміни, безпека та надзвичайні ситуації. Служба моніторингу земель Copernicus (CLMS) надає географічну інформацію про земельний покрив та його зміни, використання земель, стан рослинності, кругообіг води та змінні поверхневої енергії Землі широкому колу користувачів у Європі та в усьому світі в галузі наземних екологічних програм. Служба моніторингу підтримує такі програми у сферах просторового планування та містобудування, управління лісами, управління водними ресурсами, сільського господарства та продовольчої безпеки, збереження та відновлення природи, розвитку сільських територій, обліку екосистем та пом'якшення / адаптація до змін клімату. Моніторинг земель здійснюється на глобальному і загальноєвропейському рівнях (картографування земельного покриву та землекористування), а також на локальному рівні (картографування певних областей, схильних до екологічних проблем).

1.4. Моніторинг земель сільськогосподарського призначення.

З метою регулювання сфери аграрного природокористування, при реформуванні форм господарювання та земельних відносин проведення моніторингу земельних ресурсів, зокрема земель сільськогосподарського призначення є як ніколи актуальним. Моніторинг земель сільськогосподарського

призначення відіграє важливу роль не тільки в для раціонального використання природних ресурсів, але й дозволяє прогнозувати врожайність, що гарантує продовольчу безпеку. На землях сільськогосподарського призначення проводиться моніторинг ґрунтів, який є складовою частиною моніторингу земель і являє собою систему спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про зміни показників якісного стану ґрунтів, їх родючості, розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо ухвалення рішень про відвернення та ліквідацію наслідків негативних процесів [11]. Об'єктами моніторингу ґрунтів є землі сільськогосподарського призначення, а саме рілля, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища, перелоги, землі тимчасової консервації. Моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення проводиться Мінекономіки у взаємодії з іншими виконавцями: Міндовкілля, Держгеокадастром, Держводагентством України та науково-дослідними установами НААН України землеохоронного профілю з метою розроблення науково обґрунтованих систем землеробства і агротехнологій [11].

У «Положенні про моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення» перераховано завдання моніторингу [11].

Наведені завдання стосуються земель с/г призначення, головна їх ціль направлена на збір, аналіз та накопичення інформації в банках даних щодо стану усіх складових агроландшафтних систем і особливо грунтів (виявлення їх структури, родючості, забруднення, рівня та виду деградації) та джерел впливу на них для інформаційної підтримки управлінських рішень щодо охорони та відтворення родючості грунтів й забезпечення екологічності продукції сільського господарства.

Відповідно до ЗУ «Про охорону земель», моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення включає агрохімічне обстеження ґрунтів; агрохімічну паспортизацію земельних ділянок та контроль змін якісного стану ґрунтів [7].

При проведенні моніторингу ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення здійснюється аналіз та узагальнення архівного фонду даних для порівняння стану грунтів на початку спостереження та на сучасному етапі, виявлення певних тенденцій змін. Проводиться ґрунтово-агрохімічне та еколого-меліоративне обстежень ґрунтів, агрохімічна паспортизація полів та земельних ділянок. Здійснюються дослідження грунтів за їх властивостями у мережі стаціонарних ділянок та польових дослідів, що дозволяє розробляти прогностичні моделі та ґрунтозахисні технології. Разом з наземними дослідженнями використовують космічні мультиспектральні знімки для визначення кількісних показників родючості грунтів, зокрема гумусу. Для визначення місцезнаходження досліджуваних ділянок застосовують глобальну систему супутникової навігації.

Агроекологічний моніторинг є важливою складовою загальнодержавної системи моніторингу і має на меті проведення спостережень за станом агроекосистем у процесі інтенсивної сільськогосподарської діяльності. В агроекологічному моніторингу виділяють дві взаємопов’язані інформаційні підсистеми – наукову і виробничу [19]. Полігонний агроекологічний моніторинг здійснюється на ділянках довготривалих дослідів та постійних в просторі та часі ділянках спостережень та є базою науковою підсистеми. Розробки, які отримані на дослідних полігонах, проходять перевірку у системі локального моніторингу. Локальний агроекологічний моніторинг проводять у виробничих умовах у дослідно-показових і базових господарствах, розташованих в основних ґрунтово-кліматичних регіонах країни. Використання як полігонів опорних господарств є об’єктивним методом локально оцінити рівень впливу регулярного внесення добрив і пестицидів на грунт та інші складові агроекосистеми і прогнозувати відповідну зміни їх стану, що дозволяє встановити безпечні з екологічної точки зору норми їх внесення для різних грунтово-кліматичних умов та розробити показники допустимих навантажень у землеробстві. Виробнича підсистема включає моніторинг всіх сільськогосподарських земель за визначеним набором

показників з періодичністю 5-15 років. За даними цих обстежень грунтового середовища складають ґрунтові та агрохімічні описи, в яких дають всебічну характеристику землекористування господарств та рекомендації з його поліпшення, а також створюють карти і картограми. При проведенні таких обстежень виявляють зміни стану і властивостей ґрунтів під впливом різноманітних чинників. При суцільному агроекологічному моніторингу передбачають також щорічне комплексне мінеральне живлення на основних етапах органогенезу.

Перспективним напрямом суцільного агроекологічного моніторингу є космічне знімання.

Інститут охорони ґрунтів України проводить дослідження грунтів і рослин на землях сільськогосподарського призначення в мережі спостережень на моніторингових ділянках (рис 1.1). Всього на території України їх 754. Використання таких ділянок дозволяє сформувати національну базу даних та створити просторово-часову системи спостережень агроекологічного стану ґрунтів для виявлення тенденцій у змінах їх агрохімічних та екологічних характеристик. Також такі дослідження забезпечують створення моделей, що описують зміни показників родючості ґрунтів і якості продукції під впливом різного рівня антропогенних навантажень та несприятливих метеорологічних факторів.

Рис.1.1. Мережа стаціонарних ділянок моніторингу ґрунтів на території України

Періодичність спостережень ґрунтів на моніторингових ділянках є різною залежно від показників, які визначаються. Загальні та агрофізичні показники, вміст валових форм важких металів і мікроелементів контролюється один раз у 10 років. Агрохімічні, фізико-хімічні показники, вміст міцнофіксованих форм важких металів та мікроелементів, залишки стійких пестицидів визначаються один раз у 5 років. Вміст рухомих форм мікроелементів і важких металів контролюють щорічно. Гамма-фон на моніторингових ділянках контролюють один раз на рік, а у зоні АЕС – один раз у квартал. Питому активність цезію Cs^{137} визначають щорічно, а стронцію Sr^{90} один раз у 5 років в орному і підорному шарах ґрунту [28].

Суцільне агрохімічне обстеження земель проводиться в Україні кожні 5 років, починаючи з 1964 року. Проведено десять повних турів таких обстежень і робота продовжується. Протягом останнього, десятого, туру (2011 – 2015 рр.)

обстежено близько 20 млн. га сільськогосподарських угідь. На обстежених площах відібрано 1,9 млн. грунтових зразків та проведено 9,6 млн. лабораторних досліджень для визначення більше 20-ти показників, що характеризують якісний стан ґрунтів. В ході обстежень визначалися показники реакції ґрунтового розчину ґрунтів, вмісту в ґрунтах гумусу, поживних речовин (рухомих сполук азоту, фосфору та калію), мікроелементів, забруднення ґрунтів радіонуклідами, пестицидами та важкими металами. За матеріалами агрохімічного обстеження сільськогосподарських угідь землекористувачам і землевласникам видано 360,8 тис. агрохімічних паспортів на земельні ділянки з рекомендаціями щодо підвищення ефективності їх використання.

Законом України «Про державний контроль за використанням і охороною земель» визначено, що агрохімічна паспортизація земель сільськогосподарського призначення є одним із способів здійснення державного контролю за їх використанням та охороною. Строки агрохімічної паспортизації визначені у ЗУ «Про охорону земель» [7]. Так, для орних земель вона здійснюється через кожні 5 років, а для сіножатей, пасовищ і багаторічних насаджень - через кожні 5-10 років. Суцільне ґрунтове обстеження проводиться через кожні 20 років. Результати моніторингу ґрунтів та агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення мають широке застосування. Вони є основою для планування та удосконалення методів ведення господарської діяльності в аграрній сфері, що сприяє поліпшенню екологічного стану земель та підвищення урожайності сільськогосподарських культур. Також їх використовують при проведенні оцінки земель, при встановленні розмірів плати за землю. Дані моніторингу необхідні при проведенні еколого-агрохімічного районування (зонування) території та визначенні зон виробництва сільськогосподарської продукції для виготовлення продуктів для дитячого та дієтичного харчування.

На даному етапі функціонування системи моніторингу с/г земель в Україні, стан ґрунтів земель сільськогосподарських угідь оцінюються в основному за

результатами агрохімічної паспортизації. Але агрохімічна паспортизація не передбачає збору систематичної просторово-часової інформації про динаміку несприятливих процесів, яким найбільше піддаються грунти України – ерозії та ущільнення [21]. Водна і вітрова ерозія ґрунтів найбільше впливає на зниження продуктивності земель та є головною причиною деградації агроландшафтів. Нині в Україні не здійснюється контроль ерозійної ситуації на належному рівні, майже не впроваджуються агротехнічні та лісомеліоративні протиерозійні заходи та не ремонтуються протиерозійні споруди [21].

Аналізуючи проблему удосконалення мережі моніторингу ґрунтового покриву, Цуркан Н. робить висновок, що «моніторинг як система періодичних спостережень за змінами властивостей ґрунтів на постійних ділянках в Україні практично ще не склався» (Цуркан Н. В. Удосконалення системи моніторингу земель сільськогосподарського призначення. *Фізична географія та геоморфологія. Геоінформаційні системи в ландшафтознавстві та геоморфології*. 2016. Вип. 1 (81). С. 113-118.). Як видно з рис. 1.1, стаціонарні моніторингові ділянки мають нерівномірний розподіл за областями. Існуюча мережа є недосконалою, з її допомогою не можна об’єктивно охарактеризувати стан грунтів. Причину цбого пояснюють Балюк С. та Мірошниченко М. у тезах доповіді «Інтеграція даних інформаційних систем управління грунтовими ресурсами»: «При створенні цієї мережі ділянок моніторингу земель не було здійснено попередньої оцінки репрезентативності цих ділянок, тому методично дуже складно коректно перенести результати спостережень на більш великі територіальні виділи. З цих причин більшість відомих узагальнень щодо динаміки стану родючості ґрунтів України базуються на результатах агрохімічної паспортизації, а не моніторингу» (Моніторинг ґрунтів як невід’ємна частина моніторингу довкілля: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м.Київ, 2019 р. С. 15-17.) [29]. «Первинною ланкою цих даних є поле, яке є виробничою ділянкою і тому часто змінює межі, а у ґрунтово-агрохімічному відношенні має високий рівень неоднорідності. Якщо й

надалі йти таким шляхом, то не можна точно встановити, чи є зміни показників родючості ґрунтів наслідком деградаційних процесів, чи наслідком зміни складу та просторових меж об'єктів, на яких проведено агрохімічну паспортизацію» (Там само).

В якості вирішення даної проблеми вченими пропонується реорганізувати мережі моніторингу ґрунтів з обов'язковим узгодженням наземних спостережень з даними дистанційного зондування Землі, що дозволить здешевити інформацію моніторингу ґрунтів та отримувати й використовувати інформацію необхідного охоплення - від smart agriculture до регіонального та національного рівня в рамках виконання державних та міжнародних програм щодо боротьби з опустелюванням та деградацією земель.

Щепак В. В., Карюк А. М., Шарий Г. І., Тимошевський В. В. вважають, що основою ефективного управління земельними ресурсами є організація постійного моніторингу земель. Для цього необхідно врахувати зарубіжний досвід [30]. Також на основі дослідження чинного законодавства України вчені приходять до висновку, що «моніторинг земель необхідно розглядати як складну систему, яка формує базу даних про стан земель» (Нормативно-правове забезпечення моніторингу земель. *Бізнесінформ. Економіка природокористування*. 2018. № 10. С. 209 – 214.).

Цуркан Н. на основі вивченння європейського досвіду, пропонує нові підходи до організації мережі постійних ділянок моніторингу грунтів сільськогосподарського призначення [2]. Він вважає, що треба використовувати змішаний спосіб створення мережі моніторингу зважаючи на різницю у рельєфі територій, грунтового покриву та господарської діяльності на території України. Коли територія характеризується строкатістю ландшафтів та типів землекористування, доцільним буде використання нерегулярної мережі ділянок, тобто ділянки будуть приурочені до типових особливостей території. Якщо ж рельєф території рівнинний, з однотипним грунтовим покривом та вузькою

господарською спеціалізацією, можна віддати перевагу регулярній мережі. Таким чином можна буде сформувати рівномірно-розподілену мережу постійних ділянок, в тому числі з розміщенням їх на землях які піддаються негативним процесам. Також є актуальним привести системи моніторингу грунтів України у відповідність до європейських принципів, стандартів і нормативів. Для цього, окрім удосконалення спостережної мережі, необхідно поліпшити систему показників. . Особливу увагу в удосконаленні моніторингу треба звернути на правильне визначення переліку обов'язкових індикаторів стану ґрунтів, які визначають під час обстеження полів та коригування розміщення ділянок спостережень, які увійдуть до загальноєвропейської системи моніторингу ґрунтів Також треба розвинути дистанційні методи спостереження за станом ґрунтів. Адаптація українського законодавства і стандартів до європейських створить належні умови для входження України до єдиної європейської мережі моніторингу ґрунтового покриву, яка створюється в рамках ЄС.

На думку М. Мірошниченка, С. Балюка, поєднання даних результатів стаціонарних польових дослідів та інших об'єктів, у яких проходять перевірку окремі агрозаходи та технології обробітку ґрунту, удобрення, меліорації із систематизованою інформацією надземного і дистанційного моніторингу «дозволить не тільки коректніше визначати найкращий варіант впровадження агрозаходів, але й прогнозувати розвиток деградації ґрунтів за тим чи іншим сценарієм» (Балюк С., Мірошниченко М. Інтеграція даних інформаційних систем управління грунтовими ресурсами. С.17) .

Отже, аналіз європейського досвіду свідчить, що найбільш актуальною та економічно-вигідною формою здійснення моніторингу земель є спеціальні зйомки та обстеження земель із застосуванням засобів космічного та аерофотознімання, оперативного картографування з їх використанням. Тому існує потреба відпрацювання науковими установами та відповідних центральних органів влади

відповідних технологій масового збирання, обробки та аналізу інформації про стан земель [23].

РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

2.1. Аналіз сучасних систем ДЗЗ та їхнього використання в моніторингу довкілля.

Моніторинг передбачає процес систематичного або безперервного збору інформації про параметри навколишнього середовища для визначення тенденцій їх зміни. Моніторинг можна проводити за допомогою мережі стаціонарних пунктів, однак спостереження на окремих точках або профілях не завжди відображають просторові зміни . Аеро- і космічні знімки (дані дистанційного зондування Землі) дозволяють отримувати неперервний розподіл показників об’єктів моніторингу на досліджуваній території, тому їх використання є необхідною умовою проведення регулярних спостережень за сучасним станом екосистем. Порівняння їх з результатами знімань, виконаних за останні десятиліття, дозволяє точно зафіксувати зміни, що відбулися. Вагомими перевагами застосування дистанційного зондування землі є також висока оглядовість, генералізація інформації, можливість вивчення важкодоступних районів, реєстрація широкого спектру параметрів, періодичність знімання, об’єктивність та оперативність [19].

В даний час велику частину даних ДЗЗ отримують з космосу. Велике одномоментне охоплення території поверхні Землі, високе часове (темпоральне), просторове і спектральне розрізнення космічних знімків дозволяють в оперативному режимі отримувати великі обсяги даних на необхідну територію. ДДЗ Землі - це растрові зображення, представлені в цифровій формі [31].

Потенційні переваги методів ДЗЗ найбільш відчутні у сфері глобального моніторингу, де оглядовість матеріалів і генералізація інформації відіграють істотну роль, а також у сфері національного моніторингу держав, що займають

великі території. Використання оперативної глобальної космічної інформації дозволяє успішно здійснювати моніторинг як швидкоплинних процесів (пожежі, повені і т. п.), так і тих, що протікають досить повільно (заростання вирубок і гарей, пересихання водойм і т. п.) , що охоплюють великі території. Однак і в сфері регіонального та локального моніторингу методи ДЗЗ успішно застосовуються. Їх використання разом з проведенням наземних спостереження є дуже ефективним. Методи ДЗЗ доповнюють традиційні контактні методи спостереження за навколишнім середовищем. Тому підсистему аерокосмічного моніторингу варто розглядати як відносно самостійний компонент загальної системи моніторингу навколишнього середовища.

ДЗЗ з космосу розвивається вже протягом 60-ти років. Перший супутник, виведений на орбіту з метою дистанційного зондування в 1960 р (американський TIROS), мав гідрометеорологічне призначення. Також з початку 1960-х рр. розвивалися спочатку військові (розвідувальні), а пізніше і цивільні програми аналогової (фотографічної) зйомки Землі. В рамках програми Ресурс-Ф було здійснено понад 100 запусків космічних апаратів в період з середини 1970-х до кінця 1990-х рр.

Першим космічним апаратом, який дозволяв отримувати цифрові знімки на основі оптико-механічного сканування, став американський супутник Landsat-1 з сенсором MultiSpectral Scanner (MSS). Він був виведений на орбіту в 1972 р і дозволяв отримувати знімки з просторовим розрізненням 80 м в чотирьох спектральних зонах. З 1980-х рр. знімальна апаратура супутників ДЗЗ вже мала характеристики, наближені до сучасних, а число країн, які розвивали технології цифрової космічної зйомки, почала збільшуватися. З появою сенсорного обладнання нового покоління, зі збільшеним просторовим розрізненням та вузькими спектральними діапазонами, з’явились нові космічні системи – природничо-ресурсні, які дозволили вирішувати задачі моніторингу для

локального і регіонального масштабів. Також в останнє десятиліття XX ст. відбувся перехід до цифрових технологій обробки даних ДЗЗ.

Дані космічного ДДЗ використовуються в різних напрямах моніторингу Землі, таких як складання географічних і тематичних картографічних матеріалів та їх оновлення; вивчення гідрогеологічних особливостей землекористувань на локальному та регіональному рівнях; виконання геоморфологічного дешифрування і виявлення рельєфоутворюючих процесів; дешифрування (рослинності, ландшафтне, сільськогосподарське, грунтів) геоботанічні обстеження [14]. Унікальність технологій ДЗЗ полягає у можливості їх багатоцільового використання. Завданнями ДЗЗ може бути: перевірка цільового використання землі; періодичне оцінювання стану та ступеня деградації земель; об’єктивне і оперативне оцінювання збитків від стихійних лих; моніторинг стану гідротехнічних споруд; оцінювання екологічних наслідків використання територій [19].

Виділяють два напрямки отримання просторової інформації про земну поверхню з космосу: за допомогою оптико-електронних та радарних систем [32]. На даний час функціонує 72 оптико-електронні 17 радарних космічних апаратів різних держав, які спрямовані на дослідження природних ресурсів. Оптико-електронні супутникові системи ДЗЗ здатні розпізнавати пасивне відбите випромінювання земної поверхні і дозволяють отримувати космічні знімки у видимому і інфрачервоному діапазонах довжин електромагнітних хвиль. У таких системах випромінювання потрапляє на відповідні датчики, що генерують, електричні сигнали в залежності від інтенсивності випромінювання. У оптико-електронних системах ДЗЗ, як правило, використовуються датчики з постійним порядковим скануванням. Радарна космічна зйомка виконується в ультракороткохвильовій області радіохвиль, яка поділяється на X-, C- і L-діапазони. Радіолокатор направляє промінь електромагнітних імпульсів на об'єкт.

Частина імпульсів відбивається від об'єкта, і датчик вимірює характеристики відбитого сигналу і відстань до об'єкта.

Основними технічними характеристиками сучасних даних ДЗЗ є параметри, що описують чутливість або точність реєстрації різних властивостей об'єктів: просторове, спектральне, радіометричне і часове розрізнення [33]. Також велике значення мають оглядовість або ширина смуги огляду і сезонність зйомки.

Найважливішим параметром одержуваних даних дистанційного зондування є просторове розрізнення, тобто детальність зображення [34]. Класифікація космічних знімків за просторовою розрізненістю з удосконаленням супутникових знімальних систем зазнавала істотних змін. На сучасному етапі космічні знімки за просторовою розрізненістю найчастіше поділяють на знімки дуже низької (10 000–1 000 м), низької (30–1 000 м), середньої (10–30 м), високої (1–10 м) та дуже високої (0,3–1 м) просторової розрізненості [35]. Наразі з комерційно доступних знімків найкращою вважають просторову розрізненість 30 см – супутник WorldView 3.

Вибір детальності знімків залежить від мети досліджень і географічних особливостей об'єкта спостережень. Важливо мати на увазі принаймні три фактори. Перше - це мінімальний розмір об'єктів, які передбачається дешифрувати і / або відобразити на карті відповідно до масштабу, в якому вона буде складатися. У більшості випадків доводиться орієнтуватися не тільки на розмір об'єктів, які є предметом спостережень, але і на більш дрібні об'єкти, оскільки вони можуть дати додаткову інформацію при розпізнаванні. Друге - вираженість, чіткість кордонів об'єктів, які дешифруються: чим більш чіткі кордони мають об'єкти, тим більш детальне зображення можна використовувати. У той же час немає сенсу використовувати дуже детальні знімки для дешифрування об'єктів з погано вираженими, у вигляді перехідної смуги, кордонами, адже вони стають більш чіткими у міру зменшення масштабу. Третє - інтервал повторних спостережень. У

загальному випадку для виявлення сезонних змін потрібні знімки більш високої роздільної здатності, ніж для виявлення довгострокових змін [36].

Дані дуже низького розрізнення (~ 1 км) широко використовуються для моніторингу суші і океану. Ці дані відрізняє висока доступність (вільне розповсюдження або низька вартість) та можливість спостереження всій поверхні Землі з періодичністю близько однієї доби. Серед даних низького просторового розрізнення широко використовуються знімки супутників NOAA зі знімальною системою AVHRR та супутника SPOT-5 з системою Vegetation [34].

Радіометр AVHRR забезпечує проведення зйомки Землі у п’яти спектральних каналах з розрізненням 1,1 км. Так як одночасно на орбіті функціонують кілька супутників NOAA, періодичність зйомки будь-якої території становить кілька годин. Метою приладу AVHRR є надання даних про сяйво для дослідження хмар, меж суші та води, атмосферних явищ, температури поверхонь та класифікації рослинності. Vegetation є додатковим сенсором космічного засобу SPOT-5 з розрізненням приблизно 1 км. Він використовується для щоденного спостереження земних екосистем і біосфери, особливо з метою своєчасного виявлення глобальних змін і проблем навколишнього середовища в чотирьох спектральних каналах. Прилад відрізняється кращою порівняно з AVHRR геометричною точністю суміщення спектральних каналів (0,1 км) та різночасових зображень (0,3 км).

Перевагою знімальних систем низького просторового розрізнення (250-500 м) є оперативність отримання даних та велика кількість спектральних каналів з шириною спектральної смуги до 10 нм, що дозволяє проводити знімання в окремих вузьких зонах для більшої точності розпізнавання об'єктів земної поверхні і оцінювати їх стан за спектральним ознаками. Прилади низького просторового розрізнення можуть використовуватися для моніторингу окремих сільськогосподарських полів, розміри яких в зоні інтенсивного землеробства

України часто перевищують величину просторового розрізнення отримуваних даних, з періодичністю спостереження 1-2 дні.

Спектрорадіометр MODIS, встановлений на борту супутників Terra і Aqua, має 36 спектральних каналів в оптичному діапазоні спектра з розрізненням від 250 до 1000 м. Актуальні для моніторингу рослинності дані червоного та ближнього інфрачервоного каналів мають просторове розрізнення 250 м, з них формуються спеціалізовані продукти. Широка смуга огляду забезпечує можливість спостереження однієї території щодня. Усі ці переваги та вільне поширення даних MODIS сприяють їх використанню для дослідження сільськогосподарських земель.

Зйомку поверхні Землі з середньою роздільною здатністю веде цілий ряд супутникових систем. В даний час найбільш значні обсяги даних космічної зйомки середнього просторового розрізнення забезпечуються супутниками LANDSAT-5/7/8 і SENTINEL-2 [33]. Програма Landsat - найбільш тривала програма по отриманню космічних знімків. Супутники серії Landsat (початкова назва ERTS - Earth Resources Technology Satellite) призначені для вивчення природних ресурсів Землі або вирішення проблем землезнавства. Перший супутник цієї серії був запущений в липні 1972 року. Мета запуску - зібрати придатний для комп'ютерної обробки матеріал для вирішення питань сільського та лісового господарства, геологічного картування, пошуків і розвідки родовищ корисних копалин, просторового планування територій. Отримані знімки широко використовуються для моніторингу середовища і сучасних динамічних процесів на поверхні Землі - виверженьвулканів, землетрусів, цунамі, випадання і танення снігу, вегетації рослин і т.п. В даний час функціонують супутники серії Landsat 7 та Landsat 8. Просторова роздільна здатність каналів у видимому і ближньому ІЧ діапазонах становить 30 м / пікс (15 м / пікс для панхроматичного каналу) при ширині смуги зйомки 185 км. У травні 2003 року на КА Landsat 7 з сенсором ETM + (Enhanced Thematic Mapper Plus) стався збій модуля SLC, і з вересня 2003 він

став використовуватися в режимі без корекції ліній сканування (SLC-off), що зменшило кількість одержуваної інформації до 75% від початкової [31]. Супутник LANDSAT-8 (запущений 11.02.2013) має на борту встановлені сенсори OLI (Operational Land Imager) і TIRS (Thermal Infrared Sensor). Наступним кроком у розвитку програми LANDSAT є супутник LANDSAT-9, запуск якого запланований на грудень 2020 року.

EO-1 (Earth Observing-1) - американський космічний апарат, який став першим супутником програми «Нове тисячоліття», що проводиться NASA. Основна ідея розробки супутника полягала в пошуку заміни космічному апарату Landsat 7, який діяв на орбіті, починаючи з 1999 р. EO-1 несе на своєму борту радіометри ALI, Hyperion і додатково - апаратуру LAC, яка дозволяє встановити і виключити вплив атмосфери. Гіперспектральний сенсор Hyperion призначений для отримання цифрових зображень земної поверхні з просторовим розрізненням до 30 м в 220 спектральних діапазонах видимої та ІЧ області електромагнітного спектра. Спочатку планувався річний орбітальний політ супутника, але після успішного завершення цього терміну було прийнято рішення про продовження перебування EO-1 на орбіті на невизначений термін.

Супутники SENTINEL-2 (A/B) з сенсором MSI (Multispectral Instrument) є частиною програми Copernicus Європейського Космічного Агентства (ESA, European Space Agency). Супутник SENTINEL-2A запущений 23.06.2015 р, а SENTINEL-2B - 07.03.2017. Орбіти забезпечують можливість зйомки в середніх широтах північної півкулі з частотою кожні 2-3 доби. 4 канали супутників мають роздільну здатність 10 м / пікс у видимому і ближньому ІЧ, 6 каналів - 20м/пікс в ближньому і середньому ІЧ діапазонах, інші 3 канали з дозволом 60 м/пікс. Панхроматичний канал відсутній. Найбільший практичний інтерес представляють канали R, G, B, NIR з дозволом 10 м/пікс, що забезпечують відразу, без перетворень типу pan-sharpening, розрізнення вище, ніж дають знімки LANDSAT.

Космічний апарат Terra (EOS AM-1) - транснаціональний науково-дослідний КА, що знаходиться на сонячносинхронній орбіті висотою 705 км навколо Землі і діє під керівництвом американського національного управління з повітроплавання і дослідження космічного простору (НАСА). На борту супутника Terra встановлені п'ять наукових інструментів, в тому числі радіометр ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), який проводить зйомку в 15 діапазонах електромагнітного спектра, з довжиною хвилі від 0,52 мкм до 11,65 мкм і розрізненням від 15 м до 90 м.

Дані високої та надвисокої роздільної здатності для моніторингу рослинності на регіональному та національному рівнях практично не використовуються. Крім того, важливим фактором, що стримує широке і регулярне використання супутникових даних високої та надвисокої роздільної здатності, є їх висока вартість. Надвисоке просторове розрізнення ряду космічних апаратів (GeoEye-1, WorldView-1, 2, 3, РЕСУРС-П, ASNARO, CARTOSAT-2, 2B, 2C, Deimos-2, DMC-3, DubaiSat-2, EROS-B, KOMPSAT-3, 3A, SkySat) дозволяє за космічними знімками виявляти особливості будови різноманітних типів ландшафтів, а також виконувати якісну екологічну оцінку стану за прямими та опосередкованими дешифрувальними ознаками.

Супутники SPOT-6 і SPOT-7 - два ідентичних за характеристиками космічні апарати ДЗЗ, що забезпечують зйомку високого просторового розрізнення (6м). Вони є новим поколінням супутників серії SPOT, спроектованої Національним центром космічних досліджень Франції (CNES) і розробленої за участю Швеції і Бельгії, яка існує з 1986 р. Незаперечною перевагою угруповання SPOT 6/7 є висока продуктивність - щоденний обсяг зйомки, виробленої двома супутниками, становить 6 млн. км^2, що робить систему основним інструментом формування актуальних безхмарних і високодетальних покриттів. Основні напрямки використання даних SPOT 6/7 включають в себе моніторинг екологічного стану територій, контроль лісокористування, оновлення топографічної основи,

інвентаризацію сільськогосподарських угідь, моніторинг стану посівів, моніторинг і прогнозування процесів заболочування і опустелювання, засолення, карсту, ерозії, степових пожеж і т. п [33].

GeoEye-1 - космічний супутник, призначений для фотозйомки поверхні Землі. Запущений 6 вересня 2008 року. Даний КА відрізняє надвисока просторова роздільна здатність в панхроматичному режимі, висока точність прив'язки знімків, а також дуже висока продуктивність зйомки. Супутник має високу маневреність, що дозволяє отримувати великий обсяг даних за один проліт. У 2013 р орбіта супутника була піднята з 681 км до 770 км, просторова роздільна здатність в панхроматичному режимі змінилась з 0,41 до 0,46 см. В інших спектральних каналах просторова розрізненість – 1,84 м. Власником спутника є американська компанія GeoEye (нині DigitalGlobe), що крім даного володіє ще одним супутником високого розрізнення – IKONOS.

IKONOS-2 - перший комерційний супутник, який забезпечував зйомку з роздільною здатністю 1 м в панхроматичному режимі. До запуску IKONOS космічні знімки такої детальності були доступні тільки розвідувальним службам США і Росії. Виведений на орбіту 24 вересня 1999 р. Супутник відрізняється високою маневреністю, можливістю зйомки великих площ за один прохід (до 5 тис. кв. км). З запуском супутника IKONOS-2 (24 вересня 1999) почалася нова ера в цивільному сегменті ДЗЗ - зйомка з метровим дозволом. КА завершив свою місію в травні 2015 року, а виведення його з експлуатації запланований на кінець 2015 року .

WorldView (1,2,3) - серія космічних апаратів ДЗЗ, що належить космічному угрупованню американської компанії DigitalGlobe, що вже багато років поставляє матеріали супутникової зйомки споживачам, включаючи відомі всім картографічні онлайн-сервіси, такі як Google Maps, Яндекс Карти, Bing.

Ресурс-ДК1 - російський КА ДЗЗ, створений ВАТ «РКЦ «Прогрес». Апарат призначений для забезпечення господарської діяльності державних структур,

структур в галузі сільського господарства і грунтознавства, геології, океанології, лісокористування, землекористування. Крім основної функції - ДЗЗ, КА використовується для виконання науково-дослідних проектів. Супутник забезпечує зйомку земної поверхні з роздільною здатністю не гірше 1 метра в панхроматичному режимі і не гірше 1,6-1,8 метрів в 3-х спектральних смугах. Ширина смуги земної поверхні, що знімається за один проліт - 27 км. Інформація оперативно доставляється по радіоканалу з наступним поданням її після тематичної обробки широкому колу споживачів. Для заміни КА «Ресурс-ДК1» створений КА ДЗЗ Ресурс-П. Всього передбачається запуск трьох супутників «Ресурс-П». «Ресурс-П» № 1 виведений на орбіту 25 червня 2013 року та прийнятий в експлуатацію 1 жовтня 2013 г. «Ресурс-П» №2 запущений 26 грудня 2014 року і 1 червня 2015 р прийнятий в експлуатацію. Основні тактико-технічні характеристики «Ресурс-П» №1 та «Ресурс-П» №2 є ідентичними. Апарати призначені для оновлення карт, забезпечення господарської діяльності багатьох державних органів та інших споживачів, а також отримання інформації в галузі контролю та охорони навколишнього середовища.

Супутник EROS-B (Earth Remote Observation Satellite) ізраїльської компанії-оператора ImageSat Int. виведений на орбіту 25 квітня 2006. Висока якість знімків EROS/B (просторове розрізнення 0,7 м) дозволяє використовувати дані як для вирішення завдань оперативного моніторингу території, так і для довготривалого аналізу різних процесів і явищ.

Спектральна розрізненість – це здатність сенсорної системи реєструвати електромагнітне випромінювання специфічного частотного діапазону, що визначається кількістю каналів супутника, тобто інтервалів довжин хвиль електромагнітного спектра, до яких чутливий сенсор. Умовно весь діапазон довжин хвиль, що використовуються в ДЗЗ, можна поділити на чотири ділянки – радіохвилі, теплове випромінювання, інфрачервоне (ІЧ) випромінювання і видиме світло. Такий поділ зумовлено відмінностями взаємодії електромагнітних хвиль і

земної поверхні, відмінністю в процесах, що визначають електромагнітне відбиття і випромінювання. Найбільше застосування в наукових дослідженнях має оптичний діапазон (світловий). Він включає видиму (380...720 нм), ближню інфрачервону (720...1300 нм) і середню інфрачервону (1300...3000 нм) області. У цьому діапазоні відбита сонячна радіація несе в собі інформацію здебільшого про біохімічні процеси об'єктів земної поверхні. Так, наприклад, ближній ІЧ-діапазон ефективний для оцінювання стану рослинності, визначення ступеня її пригнічення чи захворювання. У свою чергу теплове ІЧ-випромінювання містить інформацію про температуру поверхні, дає змогу визначати температурні режими видимих об'єктів і явищ (відслідковувати динаміку лісових пожеж, нафтові і газові факели), а також досліджувати приховані під землею об'єкти, як-от підземні річки, трубопроводи тощо [35].

Залежно від спектральної розрізненості (кількості каналів, що відповідають певним ділянкам електромагнітного спектра) сенсорні системи поділяються на панхромні, багато-, мультиспектральні, гіперспектральні (рис. 2.1) [35].

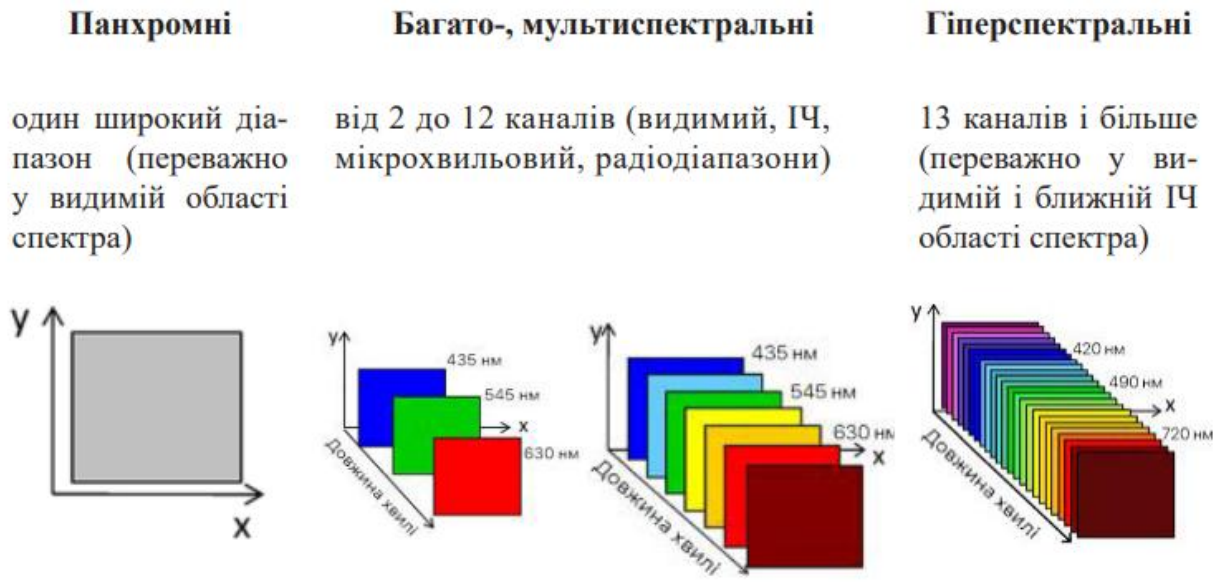

Рис. 2.1. Схема панхроматичних, мульти- та гіперспектральних космічних зображень

Зазвичай оптична зйомка ведеться або відразу у всьому видимому діапазоні (панхроматичний режим зйомки), або в декількох більш вузьких зонах спектра (багатозональна зйомка). Панхроматичні зображення займають практично весь видимий діапазон електромагнітного спектра (0,45–0,90 мкм). Зазвичай вони мають вищу просторову розрізненість, ніж мультиспектральні зображення, тому використовуються для уточнення меж об’єктів [35]. Через розбіжності в спектральних властивостях об'єкти земної поверхні за рідкісним винятком краще розпізнаються на багатозональних знімках - кольоровому синтезованому або окремих зональних. Принцип багатозональної зйомки, тобто одночасної зйомки в декількох каналах, які фіксують випромінювання в різних ділянках спектра, ґрунтується на відмінностях в спектральній яскравості об'єктів. Спектральні властивості об'єктів земної поверхні надзвичайно різноманітні, але при цьому виявилося, що деякі їх типові особливості пов'язані з певними класами об'єктів. По виду кривої спектральної яскравості виділяють класи: гірські породи і грунти, рослинність, водні об'єкти, сніг і хмари [36].

Перевагою мультиспектральної (не більше приблизно 10 каналів) і гіперспектральної (десятки і сотні каналів) зйомки є можливість отримання кривої спектральної яскравості, що може бути способом дешифрування об'єктів земної поверхні на рівні окремого пікселя. За умови однорідності ділянки земної поверхні, які відповідає 1 пікселю (наприклад, вся ділянка представлена рослинністю одного типу з однаковими коефіцієнтами відбиття) набір відліків яскравостей по каналах дозволяє отримати наближення кривої спектральної яскравості, яка може бути порівняна з каталогом для її ідентифікації [33].

Типові приклади мультиспектральних даних дають сенсори супутників серій Landsat і Sentinel-2, що включають діапазони видимого та ІЧ випромінювання, в тому числі теплового випромінювання з довжинами хвиль 10,5-12,5 мкм. У літературі прийнято позначати спектральні канали як Blue, Green, Red, NIR («синій», «зелений», «червоний» і ближній ІЧ канали відповідно), SWIR (канали

середнього або короткохвильового ІЧ діапазону, тобто Short Wave Infrared Channel) і PAN (панхроматичний канал). Межі спектральних діапазонів вказані в технічних характеристиках знімальної апаратури, для різних сенсорів вони зазвичай трохи відрізняються. Просторова роздільна здатність теплових каналів (TIR) завжди нижче дозволу VNIR і SWIR внаслідок високого рівня шуму в даному діапазоні. Супутник LANDSAT-8 має 11 каналів, з них 8 з розрізненням 30 м/пікс у видимому, ближньому ІЧ (канали 1-5 і 9), середньому ІЧ (номера каналів 6, 7), 2 канали (10, 11) з дозволом 100 м/пікс в тепловому діапазоні, а також панхроматичний канал (8) з дозволом 15 м / пікс. Канал 1 знаходиться в ультрафіолетовій частині спектру. Характеристика спектральних каналів Landsat 8 наведена у додатку А.

Мультиспектральні знімки дозволяють використовувати різні варіанти колірного синтезу (комбінації спектральних каналів) для візуального та автоматизованого дешифрування об'єктів земної поверхні. Основні комбінації каналів, їх властивості, особливості та сфери застосування цих комбінацій наведені у додатку Б.

Гіперспектральні сенсори на відміну від мультиспектральних ділять спектр на безліч вузьких діапазонів (сотні каналів), що допомагає точніше розрізняти об’єкти за їхнім фізико-хімічним складом, ідентифікувати видовий склад і стан рослинного покриву, визначати геологічну структуру, виявляти хімічний склад води і багато іншого [35].

Радіометрична розрізненість – це число можливих кодованих значень спектральної яскравості у файлі даних для кожної зони спектра, що вказується числом біт [35]. Визначається кількістю градацій значень кольору, відповідних переходів від яскравості абсолютно «чорного» до абсолютно «білого» і виражається в кількості біт на піксель зображення. Раніше радіометрична розрізненість більшості сенсорів супутників ДЗЗ складала 8 біт на піксель, але на даний момент майже всі нові супутники мають радіометричну розрізненість не

менше 12 біт на піксель (наприклад, КЗ Landsat 8 має 12 біт/піксель, а КЗ Sentinel 2 – 16 біт/піксель), Своєю чергою підвищення радіометричної розрізненості сучасних сенсорів дозволяє точніше визначати коефіцієнти спектрального відбиття і знизити рівень шуму на космічних зображень.

Темпоральна розрізненість – це проміжок часу, який минає між двома зйомками тієї самої території. Для супутників ДЗЗ темпоральна розрізненість визначається параметрами супутникової орбіти, кількістю парних супутників, а також шириною смуги зйомки сенсору. Оператори здатні коригувати орбіту супутників для підвищення частоти повторюваності знімання.

У завданнях моніторингу поверхні Землі існує два основні режими знімання: маршрутне і прицільне (вибіркове) На практиці найбільшого поширення набула глобальне (маршрутне) знімання, що забезпечує повне покриття поверхні Землі. Прикладом є супутники серії LANDSAT, орбіти яких є круговими (висота 705 км) полярними квазіперіодичнимими та сонячно-синхронними з повним циклом повторення траєкторій 233 обороти (16 діб, що приблизно і відповідає частоті повторної зйомки в екваторіальній зоні). Квазіперіодичность (число обертів за добу не є цілим) забезпечує зміщення смуг зйомки за рахунок добового обертання Землі, а сонячна синхронність - однакові умови сонячного освітлення (висота Сонця над горизонтом) протягом тривалого проміжку часу. Для супутників високої та надвисокої роздільної здатності ширина смуги зйомки набагато менше (наприклад, 13.1 км для супутника WorldView-3 з просторовим дозволом 0.3 м / пікс), що означало б неприйнятно низький часове розрізнення в режимі маршрутної зйомки. Для апаратів такого роду застосовується прицільна зйомка ділянок місцевості за заздалегідь складеною програмою, при цьому відхилення камери від надира може досягати 40 ° і більше. За рахунок цього частота повторної зйомки підвищується до 4.5 доби (на широті 40° і при відхиленні від надира не більше 20°).

Для дистанційного зондування дуже важливі властивості відбивання та поглинання різних матеріалів на земній поверхні і навіть одного і того ж матеріалу, але в різних станах, наприклад, здатність грунту у вологому і сухому стані по-різному відображати і поглинати сонячну енергію, а також те, що різні об'єкти на Землі по-різному нагріваються і віддають своє тепло, тобто мають різну емісію.

Найбільш важливі властивості поверхні гірських порід і грунтів, що визначають їх спектральні ознаки: вид нерівностей поверхні, розмір і форма, скульптурної (текстура і структура), розмір і ступінь зв'язності часток, мінеральний склад частинок, що утворюють масу гірської породи, колір порід або ґрунтів.

Гірські породи і грунти відрізняються поступовим збільшенням яскравості зі зростанням довжини хвилі сонячного випромінювання (рис 2.2). Спектральна яскравість гірських порід залежить перш за все від оптичних властивостей входять до їх складу мінералів і хімічних елементів, а також від їх дисперсності і вологості. Відмітна особливість грунтів - істотні відмінності в інтегральній яскравості. Найменшою здатністю відображати сонячне випромінювання володіють чорноземи, найбільшою – сильноопідзоленні суглиннкові грунти. На відображення сонячного світла ґрунтами впливають три основні групи речовин [36]: 1) світло забарвлені сполуки (карбіди, сполуки кремнію і алюмінію), що відображають випромінювання рівномірно, але значно, 2) темні гумусові речовини, що відбивають світло слабо і рівномірно і 3) з'єднання заліза, які обумовлюють селективність (нерівномірне відображення) грунтами сонячного випромінювання. Дуже суттєво яскравість ґрунтів залежить від вологості - яскравість грунту тим менше, чим більше вологи вони утримують. Крім цього оптичні характеристики грунтів залежать від гранулометричного складу поверхні: зі зменшенням розміру частинок коефіцієнт яскравості зростає експоненціально.

Рослинність володіє найбільшою спектральної селективністю, в порівнянні з іншими об'єктами земної поверхні. Відбивні властивості рослинного покриву в основному залежать від чотирьох факторів [36]: 1) оптичних властивостей зеленого листя; 2) геометрії рослин, особливо індексу листкової поверхні, і кутового розподілу листя; 3) відбивної здатності поверхні грунту, якщо рослини не утворюють суцільного покриву; 4) структури рослинного покриву, тобто характеру просторового розподілу рослин. При всьому різноманітті криві спектральної яскравості зелених рослин мають одну загальну закономірність: в оптичному діапазоні спектра у них два мінімуму - в синьому (0,45-0,47 мкм) і червоному (0,68-0,69 мкм) ділянках спектра і два максимуму - в зеленому (0,54-0,58 мкм) і ближньому інфрачервоному (0,7-1,3 мкм) ділянках (див. рис. 2.2). Велика частка (70-90%) сонячних променів синього і червоного ділянок спектра поглинається пігментами листя рослин, перш за все хлорофілом, і перетвориться в енергію, необхідну для процесу фотосинтезу. До зеленої зоні приурочений максимум відображення поверхнею листя. Найбільш високе відображення - в ближній інфрачервоній області спектра, воно пов'язане з внутрішньою структурою листа. У міру зростання і визрівання листя їх відбивна здатність змінюється. З особливостей спектральних властивостей рослинності слід, що її дешифрування і вивчення дає найкращі результати при використанні матеріалів зйомки в декількох спектральних зонах видимого та ближнього інфрачервоного ділянок спектра, тобто багатозональної зйомки.

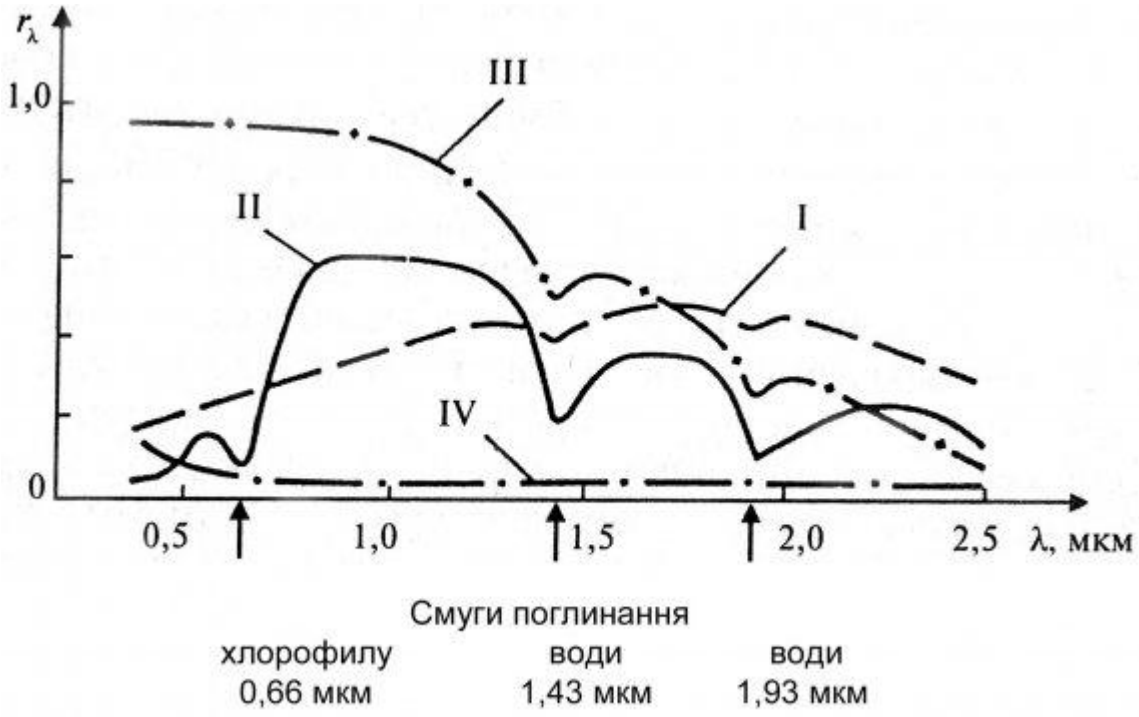

Рис. 2.2. Схематизовані криві спектральної яскравості основних класів природної яскравості: I-гірські породи і грунти; II-рослинний покрив; III-сніжний покрив; IV-водяні поверхні.

Водні об'єкти мають високу поглинальну здатність. Їх спектральна яскравість падає зі зростанням довжини хвилі сонячного випромінювання (див. рис. 2.2). Знімання водних об’єктів у ІЧ ділянці спектру є доцільним тільки для визначення їх меж і поверхні, тому що хвилі цього діапазон майже повністю поглинаються водним дзеркалом. У видимій ділянці спектра можна отримати інформацію про водну товщу, а також про об'єкти, що знаходяться всередині неї або на дні. Сонячне випромінювання не тільки відбивається поверхнею води, але і проникає на глибину, де частково поглинається молекулами води і розчиненими органічними речовинами. Проникнення світла на глибину спектрально селективне: синьо-зеленого світла значно більше, ніж червоного. Наявність мінеральних зважених часток у воді підвищує яскравість в жовто-зеленій ділянці спектра, а фітопланктон знижує яскравість в смугах поглинання хлорофілу (синій

і червоній ділянках). Серія зональних знімків представляє спектральний образ об'єктів і може бути використана для виявлення їх сутності.

Таким чином, поверхні гірських порід, грунтів, рослинного покриву та водних об’єктів мають свою матеріально обумовлену специфіку, що і використовується при дистанційному зондуванні.

2.2. Особливості космічного моніторингу земель сільськогосподарського призначення.

Використання ДДЗ для моніторингу сільськогосподарських земель ведеться з 70-х років минулого століття. На даний час сільське господарство є однією з ключових областей, де методика дистанційного зондування ефективно впроваджується для вирішення широкого спектру завдань [37]. В умовах необхідності забезпечення регулярного моніторингу дані супутникового знімання є практично безальтернативним джерелом даних. Застосування супутникової інформації та геоінформаційних систем залишається актуальним методом моніторингу сільськогосподарських угідь, як для значних площ, так і для невеликих ділянках (точне землеробство). Супутниковий моніторинг сільськогосподарських земель дозволяє забезпечити отримання об'єктивної інформації про їх стан та використання. Особливо важливими в системі моніторингу сільськогосподарських земель є дані про просторове розміщення використовуваних орних земель і посівів сільськогосподарських культур, а також дані оперативного моніторингу стану посівів [38, 39].

Землі сільськогосподарського призначення є стратегічним ресурсом держави, який визначає продовольчу безпеку населення. Ефективне управління земельними ресурсами в значній мірі визначається поінформованістю про розташування, форму, розміри і конфігурації оброблюваних полів, родючість, агрохімічні і агротехнологічні властивості ґрунтів та деградаційні процеси, які на них

відбуваються, локалізацію об'єктів інфраструктури. Невід'ємною частиною є також інформація про врожайність сільськогосподарських культур. Землі сільськогосподарського призначення не є статичними об'єктами. На них щороку змінюються сівозміни, висіваються нові культури. Одним з найбільш передових, ефективних і надійних джерел інформації про властивості сільськогосподарських земель і про стан посівів є дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) [40]. Також супутникове зондування є методом, який дозволяє проводити оперативний моніторинг стану сільськогосподарських угідь. Організація робіт з вивчення стану земель, заснована на поєднанні дистанційних методів з невеликим обсягом польових досліджень, які проводяться на обмеженій кількості ключових ділянок, дозволяє сильно скоротити терміни виконання робіт, а також знизити їх вартість [41].

Протягом останніх десятиліть активно обговорюються можливості використання матеріалів ДЗЗ для виконання різних завдань сільськогосподарського моніторингу. Спостерігається широкомасштабне застосування даних супутникового моніторингу для аграрних об'єктів в багатьох країнах Європейського союзу, США, Росії, Білорусії, Казахстані, Азербайджані, Україні. Теоретичні та прикладні аспекти застосування методів дистанційного зондування для моніторингу земель сільськогосподарського призначення висвітлені у багатьох наукових публікаціях українських та зарубіжних вчених. А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук, Е. С. Перминова у своїй праці описують дешифрувальні ознаки, які використовуються для розпізнавання і аналізу сільськогосподарських угідь за багатозональними супутниковими знімками середнього і високого просторового розрізнення [33]. О. Сахацький, Г. Жолобак, Г. Макарова, О. Апостолов, М. Ющенко оцінили точність дистанційного визначення площ озимих зернових на рівні адміністративних районів з застосуванням знімків супутника MODIS/TERRA [43]. В.Лялько, Л. Єлістратова, О. Апостолов у своєму дослідженні за космічними знімками Landsat визначили

посівні площі озимих культур для Донецької області, використовуючи різницю в значеннях нормалізованого різницевого вегетаційного індексу NDVI та водного індексу WI за серпень та квітень [44]. Е. Сайб, А. Безбородова, С. Соловйов, Г. Міллер, Д. Філімонова проаналізували різні способи аналізу і методи обробки космічних знімків з метою виявлення перелогів і визначення їх віку, такі як візуальне дешифрування, синтез різних спектральних каналів, розрахунок вегетаційного індексу NDVI [45]. Встановлено, що використання індексу NDVI дозволяє виявити характерні особливості різновікових перелогів, цілини і ріллі і запропонована шкала для визначення віку перелогів. П. Трофименко, В. Зацерковний, Е. Зубова, Н. Трофименко Т. Мислива розробили алгоритм застосування методів дистанційного зондування для прогнозування врожайності, який передбачає визначення взаємозв'язку між енергетичними параметрами багатоспектральних знімків і продуктивністю озимої пшениці на різних типах грунтів [46].

Нині створено системи супутникового моніторингу сільськогосподарських земель на глобальному рівні [22]. До найбільш відомих прикладів таких діючих систем можна віднести системи, які розроблені Міністерством сільського господарства США, проект MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing) Європейської Комісії й систему GIEWS (Global Information and Early Warning System). Можна виділити загальні властивості діючих систем моніторингу сільськогосподарських земель. Окрім даних дистанційного зондування, така система повинна містити в собі всю доступну соціально-економічну й статистичну інформацію про сільськогосподарське виробництво. Для моніторингу необхідно володіти кліматичними даними й довгочасними рядами метеорологічних спостережень, інформацією про характеристики ґрунтового покриву. ДДЗ дозволяють вводити в систему моніторингу найоперативнішу й необхідну інформацію про фактичний розвиток сільськогосподарських культур [47].

Глобальна система інформації й раннього попередження проблем продовольства та сільського господарства GIEWS, яка розроблена FAO (Food and Agriculture Organization), служить для моніторингу стану основних продовольчих культур у всьому світі для оцінки перспектив їх виробництва. Для сприяння аналізу та доповнення до інформації, отриманої на місцях, в GIEWS використовуються дані дистанційного зондування, завдяки яким може бути отримана цінна інформація про наявність води і рослинного покриву протягом сезонів врожаю. У розділі «Спостереження Землі» представлені карти просторового розподілу різних вегетаційних індексів (наприклад, індекс здоров'я рослинності VHI, індекс вегетаційних умов VCI) та показників опадів [48]. Вегетаційні індекси отримані з супутникової інформації NOAA. У доповнення до оцінок атмосферних опадів і Усередненого індексу відмінностей в рослинному покриві (NDVI) GIEWS і Відділ ОСВ ФАО розробили Сільськогосподарський стрес-індекс (ASI), оперативний показник раннього виявлення сільськогосподарських зон, які можуть зазнати впливу посушливого періоду або посухи. Інформація даних дистанційного зондування про типи земної поверхні і землекористування разом з даними сільськогосподарської статистики, інформація про сільськогосподарські ринки та погодні умови використовується для моніторингу і прогнозу виробництва сільськогосподарської продукції [49].

В американському міністерстві сільського господарства (USDA) працює відділ прогнозування виробництва сільськогосподарських культур (PECAD), який відповідає за глобальний моніторинг сільськогосподарської продукції з використанням ДЗЗ. В своїй діяльності PECAD використовує дані дистанційного зондування. На території США здійснюється оцінка площ посівів і прогнозування врожайності найважливіших культур на основі супутникових даних середньої та високої просторової роздільної здатності (Landsat, SPOT, IKONOS, Quickbird), а для прогнозування врожайності с/г культур на інших територій використовуються дані дуже низького та низького просторового розрізнення (NOAA-AVHRR,

SPOT-IV, MODIS). Поряд із супутниковими даними, PECAD використовує метеорологічні дані, моделі посівів сільськогосподарських культур і офіційні урядові звіти, що дозволяє зменшити похибку розрахунків. Глобальний сільськогосподарський моніторингу можливий завдяки проведенню аналізу багаторічної серії даних з супутникових знімків Комплексне використання цих даних разом з метеорологічною інформацією PECAD використовує для оцінки продуктивності посівів. Нині є можливість для різних країн отримувати інформацію про умови росту рослин, а також орієнтовну оцінки продуктивності сільськогосподарських культур, у режимі реального часу через web-інтерфейс Crop Explorer.

Для Європи в цілому працюють системи супутникового моніторингу сільськогосподарських земель MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing). Спочатку він був розроблений для застосування нових космічних технологій з метою забезпечення незалежної й своєчасної інформації про площі посівів та врожайність культур. З 2000 року розроблені технології почали застосовуватися за межами ЄС з метою здійснення глобального агропромислового моніторингу та оцінки продовольчої безпеки. Діяльність MARS розподілена за такими тематичними напрямками: моніторинг сільського господарства, прогнозування врожайності сільськогосподарських культур, глобальна продовольча безпека, сільськогосподарське біорізноманіття, сільський розвиток, зміна клімату, спостереження за Землею. Система MCYFS (MARS Crop Yield Forecasting System) прогнозує врожайність основних с/г культур в Європі та контролює ріст посівів. У роботі системи використовуються дані дистанційного зондування як з супутників, так і з повітряних апаратів, метеорологічні дані, статистичні дані, карти та агрометеорологічні моделі.

У багатьох країнах діють національні системи моніторингу сільського господарства з використанням ДДЗ [58]. Наприклад, система дистанційного моніторингу сільського господарства Китаю (CHARMS). Це комплексна система

оперативного моніторингу врожаю в Центрі застосування дистанційного зондування Міністерства сільського господарства Китаю. Представляє собою систему баз даних шести складових моніторингу: змін посівних площ; оцінки врожайності; моніторингу росту врожаю; моніторингу вологості ґрунту; моніторингу стихійних лих; інформаційного обслуговування. Вона відстежує таку аграрну інформацію для 7 основних культур (пшениця, кукурудза, рис, соя, бавовник, ріпак і цукрова тростина) в Китаї [61].

Основними перевагами даних ДЗЗ для вирішення задач сільського господарства є [40]:

- оперативність – актуальні космічні знімки можуть бути отримані протягом доби після розміщення замовлення на здійснення зйомки;
- об'єктивність – інформація, що отримується за космічними знімками, є об’єктивною та відображає дійсну картину стану сільськогосподарських земель і посівів;
- одночасність і періодичність – сучасні супутникові системи дистанційного зондування Землі дозволяють здійснювати зйомку з високою роздільною здатністю з заданою періодичністю протягом усього сільськогосподарського сезону;
- одноманітність – дані космічної зйомки є однорідною, стандартизованою інформацією, яка придатна для автоматизованої обробки;
- оглядовість – сучасні супутникові системи дистанційного зондування Землі дозволяють отримувати одноразову зйомку на величезних площах, що забезпечує одночасність спостережень на виробничих ділянках, розташованих на значній відстані один від одного;
- комплексність - рішення широкого кола прикладних задач сільського господарства.

Супутникові дані успішно використовуються при вирішенні декількох основних завдань моніторингу і оцінки стану сільгоспугідь [33]:

1. Визначення меж і типів сільськогосподарських угідь (інвентаризація). Для вирішення цього завдання ключове значення має висока просторова роздільна здатність і геометрична точність знімків. Однак сільгоспугіддя займають великі площі - в деяких регіонах до 60-80% від усієї території. Тому для дешифрування меж і типів угідь частіше використовуються дані з супутників, які забезпечують досить широку смугу зйомки (від 30-40 км і більше), як наприклад SPOT-6/7 (Франція) або Ресурс-П (Росія), актуальні за поточний або попередній сезон.

2. Визначення поточного стану, типу використання сільськогосподарських земель, виявлення невикористовуваних і заростаючих ділянок, а також випадків нецільового використання (рис. 2.3). Ці завдання можуть бути вирішені по загальнодоступних знімкам середнього просторового дозволу Landsat-8 і Sentinel 2A / 2B.

3. Виявлення та оцінка ступеня деградації сільськогосподарських угідь внаслідок впливу природних чи антропогенних факторів (виявлення ділянок розвитку антропогенно-стимульованих сучасних екзогенних процесів і визначення ступеня їх активізації, процесів дефляції; визначення причин процесів засолення грунтів; виявлення ділянок пасовищної дегресії (перевипасу худоби), масивів грунтового покриву з ознаками деградації). В даному випадку вибір даних залежить від особливостей досліджуваних процесів і території. Наприклад, для моніторингу засмічення або незаконного будівництва на сільськогосподарських землях потрібні знімки більш високого просторового дозволу, ніж для оцінки збитку від пожеж та інших небезпечних природних явищ [33, 43].

Рис. 2.3. Карта типів сільськогосподарського землекористування і посівів сільськогосподарських культур, отриманих в результаті обробки різночасових спектрозональних знімків.

Визначення структури посівних площ є актуальною задачею моніторингу земель сільськогосподарського призначення. Альтернативним джерелом інформації про вирощувані на угіддях сільськогосподарські культури (при наявності наземних даних за тестовими ділянками) є матеріали космічних зйомок в різних спектральних діапазонах, здійснюваних в різні терміни. Результати проведених експериментів з дистанційного моніторингу культур на основі космічних знімків підтвердили можливість досягнення високої (більш 80%) достовірності їх розпізнавання. Отримання об'єктивної інформації про структуру посівних площ важливо для прогнозу обсягів товарного виробництва культур і контролю регіональних сівозмін [50].

Ефективне виявлення оброблюваних і необроблюваних в тій чи іншій рік сільськогосподарських земель проводиться на основі різночасових космічних

знімків, отриманих протягом вегетаційного періоду. Варіації яскравості на знімках, отриманих в різні строки, дозволяють судити про зміни, які відбуваються на угіддях або їх відсутність. Зіставлення різночасових знімків за трирічний період сприяє виявленню невикористовуваних сільськогосподарських угідь. Створювані на основі космічних знімків карти невикористовуваних угідь можуть служити додатковим джерелом інформації для наглядових органів, що приймають рішення про вилучення земельних ділянок. На основі спільного використання таких карт і додаткових відомостей (про показники ґрунтової родючості, заростання деревно-чагарниковою рослинністю та кущами і ін.) можна приймати рішення про доцільність залучення земельних ділянок в сільськогосподарський оборот [50].

Виявлення ділянок заростання сільськогосподарських угідь деревно-чагарниковою рослинністю є однією з важливих задач сільськогосподарського моніторингу. Дані космічних зйомок дозволяють виявити конкретні ділянки угідь, схильні до заростання, а також оцінити ступінь заростання. Отримана інформація може використовуватися в якості допоміжної при прийнятті рішень про переведення земель до іншої категорії. Для визначення віку деревно-чагарникової рослинності, що відновлюється на сільськогосподарських угіддях, необхідно використовувати різночасові знімки [50].

При проведенні глобального моніторингу використовуються супутникові прилади низького розрізнення, що дозволяють за короткий період отримувати дані на всю поверхню Землі, але не забезпечують можливості збору інформації на рівні окремих сільськогосподарських полів [34]. В якості основи для виконання космічного моніторингу сільськогосподарського виробництва можуть бути використані космічні знімки середнього (10 - 50 м), високого (1 - 10 м) і надвисокого просторового розрізнення (менше 1 м). Вибір вихідних даних ДЗЗ для здійснення моніторингу сільськогосподарського виробництва залежить від багатьох факторів. До основних факторів, що визначають вибір вихідних даних, відносяться: площа об'єктів моніторингу і їх територіальне розташування,

специфіка організації сільськогосподарського виробництва (спеціалізація господарств, характеристики сівозмін і т. д.) і перелік показників, за якими ведуться спостереження [40]. Аналіз досвіду космічного моніторингу для сільського господарства дозволяє виділити завдання моніторингу, які можна вирішити за знімками певного просторового розрізнення [34, 40]:

1. Знімки дуже низького та низького розрізнення - можуть використовуватися для прогнозування врожайності на великій території і якісної оцінки стану посівів, оперативного моніторингу розвитку с/г культур, виявлення фактів негативного природного, техногенного та антропогенного впливу на сільськогосподарську рослинність (посухи, вимокання, заморозки, шкідники і т. д.).

2. Знімки середнього розрізнення – можуть бути використані для виявлення та картографування необроблюваних (занедбаних) сільськогосподарських земель за різночасовими знімками протягом вегетаційного періоду, картографування посівів з залученням агрономічних та кадастрових даних та оцінки стану й розвитку сільськогосподарських культур на різних стадіях вегетації.

3. Знімки високого та надвисокого розрізнення - можуть застосовуватися для цілей картографування типів сільськогосподарських угідь (рілля, сіножаті, пасовища, багаторічні насадження, перелоги), структури посівів с/г культур, визначення їх стану, прогнозу врожайності на локальному рівні; визначення ступеня заростання сільгоспугідь.

Сучасні засоби програмного забезпечення дозволяють використовувати для контролю розмірів посівних площ, виявлення ерозійних ділянок, моніторингу стану посівів та прогнозування врожайності чимало ознак наземних об’єктів, котрі отримуються на підставі супутникових знімків. До них належать спектральні характеристики, текстурні параметри та вегетаційні індекси, що розраховуються математичними методами [22].

Серед сільськогосподарських угідь найціннішим і найпродуктивнішим є рілля. До неї належать землі з найбільш родючими грунтами, систематично оброблювані і використовувані під посіви сільськогосподарських культур. Крім полів з культурними рослинами, в цю групу включені посіви багаторічних трав на ділянках сівозміни, вивідні поля і чисті пари. На матеріалах космічного знімання рілля має досить чіткі кордони, має певну «геометричність» форми і однотонність всередині окремого поля. Найчастіше поля мають прямокутну форму, обмежену чіткими лінійними контурами (бровками ярів, дорогами, лісосмугами). Для певних періодів знімання досить інформативною ознакою ріллі є текстура зображення, але вона нестійка в часі. Залежно від просторового розрізнення космічного знімка, можливо виявити наявність характерних смуг (слідів оранки), борозен від обробітку грунту. Тон і колір ріллі також може варіюватися в великому діапазоні. Він змінюється в залежності від типу грунту і характеру його обробки, стану даної ділянки, культури, що на ній росте, фази розвитку цієї культури, густоти і стану рослин та ін. Рілля може бути найрізноманітнішого кольору, тому не можна вважати колір однозначною і достатньою ознакою дешифрування [33].

Свіжозораний грунт в синтезі каналів GREEN-NIR-RED можна відрізнити за яскравим темно-фіолетовим кольором. Це поля, які незадовго до знімання пройшли деяку обробку - розорювання або рекультивацію, тобто грунт більш-менш зволожений. Сухий грунт в такій комбінації каналів виглядає на знімку світло-фіолетовим і бузковим. Поля різних відтінків зеленого кольору відповідають різним стадіям вегетації сільськогосподарських культур (рис 2.4). Чим яскравіше і більш насиченою зелений колір, тим більше біомаса рослин і вище в ній зміст хлорофілу, що дає цей зелений колір. Крім вологості грунту, на тон зображення впливає вміст гумусу, безпосередньо тип ґрунту, гранулометричний склад, наявність сухих залишків рослин і т.д [33].

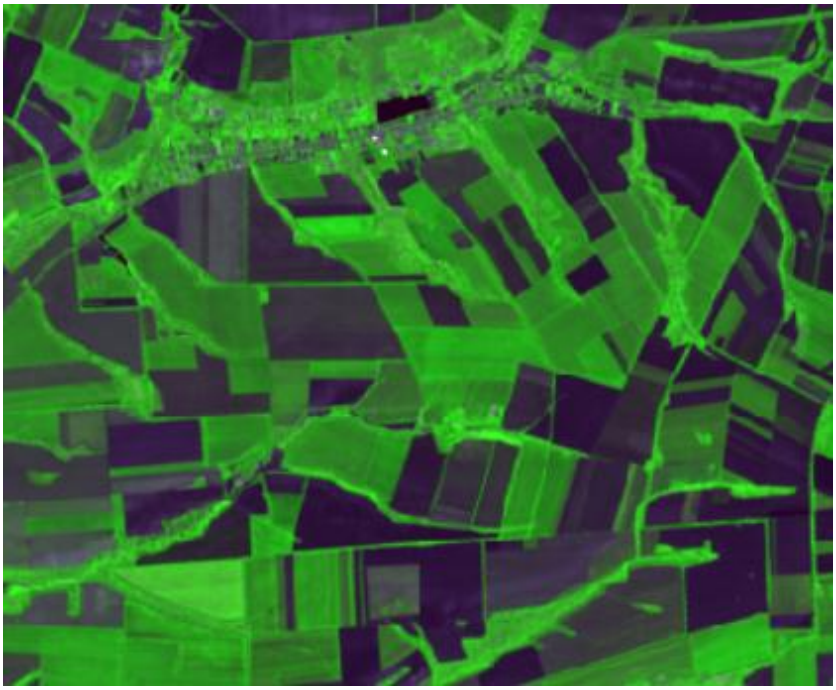

Рис 2.4. Відображення ріллі з посівами сільськогосподарських культур на різних стадіях вегетації в синтезі каналів GREEN-NIR-RED.

У комбінації каналів NIR-RED-GREEN рослинність має червоні відтінки, оскільки сильно відбиває інфрачервоне випромінювання, і в даному синтезі ІЧ присвоєно червоний колір. Здорова рослинність, яка знаходиться в активній стадії вегетації, відображає більше інфрачервоного випромінювання, тому вона виглядає яскраво-червоною. Чим більше проективне покриття рослинного покриву і вміст хлорофілу, тим яскравіше червоний відтінок. Колір відкритого ґрунту варіюється від темно- до світло-зеленого. Заболочені, перезволожені землі виглядають темніше через високий вміст вологи.

Моніторинг сільськогосподарських культур - перспективна область застосування технології ДЗЗ в аграрній сфері. Типовими завданнями тут є забезпечення поточного контролю за станом посівів сільськогосподарських культур і спостереження за протіканням усіх стадій їх розвитку, раннє прогнозування їх врожайності, одночасний моніторинг темпів збирання врожаю в великих регіонах, визначення ємності пасовищ різних типів, продуктивності сінокосів та ін. Ці завдання вирішуються проведенням систематичних повторних

знімань [38, 39]. Супутниковий моніторинг посівів використовується на окремих полях або для окремих сільськогосподарських культур і дозволяє відстежувати позитивні та негативні динаміки розвитку рослин [51]. Оцінка і моніторинг стану посівів базуються на визначенні спектральних відбивних характеристик і розрахунку вегетаційних індексів (NDVI, EVI і т.д.), яких налічується близько 160. Їх розробляють експериментальним шляхом, враховуючи особливості кривих спектральної відбивної здатності рослиннгості та грунтів.

Рослинність по різному відбиває випромінювання різних довжин хвиль. Знання про зв'язок структури і стану рослинності з її спектральною відбивною здатністю дають змогу використовувати аерокосмічні знімки для дешифрування та картографування типів рослинності, виявляти їх стресовий стану. На основі комбінації значень яскравості в певних каналах, інформативних для виділення досліджуваного об'єкта розраховуються спектрального індекси. Спектральні індекси, які використовують для вивчення і оцінювання стану рослинності називаються «вегетаційними індексами» [52]. Загальноприйнятим є побудова «індексних» растрових зображень, в кожному пікселі якого зберігається значення спектрального індексу. Це дозволяє виділити досліджуваний об'єкт та візуально оцінити його стан. Використовуючи при дешифруванні інформацію про зміну спектральної яскравості рослинності протягом вегетаційного періоду і індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), можна по тону зображення полів судити про їх агротехнічний стан [38].

Спостереження за динамікою розвитку сільськогосподарських культур за матеріалами ДЗЗ показали, що в спектральному просторі ознак кожна культура в певні терміни і в певній фазі розвитку утворює стійкий кластер (сукупність однорідних фотометричних точок). Хоча стан посівів і характеризується набором параметрів, але частково кількісною характеристикою стану посівів може служити нормалізований вегетаційний індекс NDVI [53]. Різниця в динаміці індексу вегетації повідомляє про диспропорції в розвитку в межах однієї культури або

поля, що свідчить про необхідність проведення додаткових сільськогосподарських робіт на окремих ділянках [51].

Одним з основних показників активності процесів фотосинтезу рослинності є індекс листкової поверхні (Leaf Area Index - LAI). Індекс листкової поверхні LAI характеризує просторовий розподіл рослинних елементів та визначається кількісно як відношення площі загальної поверхні освітлених листків до одиниці поверхні ґрунту для листяних культур: LAI = S / G , де S - площа освітлених листків, G – площа ґрунту. Для хвойних культур з голкоподібним листям індекс листкової поверхні визначається як відношення спроектованої площі хвойних голок до одиниці площі хвойного покриву. В основі застосування методів дистанційного оцінювання LAI за багатоспектральними даними супутникової зйомки лежить явище спектрально-вибіркової реакції рослинності на падаюче оптичне випромінювання. Така вибірковість фіксується на багатоспектральних аерокосмічних зображеннях ландшафтів з рослинністю і може бути оцінена за допомогою так званих вегетаційних індексів, показників що розраховуються в результаті операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) цих зображень. Найбільш часто з цією метою використовують Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) та Enhanced Vegetation Index (EVI), які розраховуються за формулами (1) та (2) [54]:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1),$$

$$EVI = 2{,}5 * \frac{(NIR-RED)}{(NIR+6*RED-7{,}5*Blue+1)} \quad (2),$$

де NIR – значення відбиття в ближній інфрачервоній області спектра (0,75 - 1,3 мкм),

RED – значення відбиття в червоній області спектра (0,62 - 0,75 мкм),

Blue – значення відбиття в синій області спектра.

Нормалізований диференційний вегетаційний індекс NDVI — це один з найпоширеніших індексів для отримання кількісних оцінок рослинного покриву,

його найбільш часто використовують для визначення якісного та кількісного стану біомаси. Широко застосовується у сільському господарстві для моніторингу стану вегетації культур, характеризує щільність рослинності й дозволяє оцінити схожість, ріст, наявність бур'янів або хвороб, а також спрогнозувати продуктивність полів [51]. В інтересах агропромислового моніторингу для картографування земель сільськогосподарського призначення, вивчення динаміки розвитку посівів і прогнозування врожайності у переважній більшості випадків використовується NDVI [55].

Показники індексу формуються через супутникові знімки зеленої маси, яка поглинає електромагнітні хвилі у видимому червоному діапазоні та відображає їх у ближньому інфрачервоному. У червоній зоні спектру хлорофіл найбільше поглинає сонячне випромінювання, а у ближній інфрачервоній клітинна структура листа максимально його відображає. Відношення коефіцієнтів відбиття один до одного у червному та ІЧ діапазонах дозволяє чітко відокремити рослинність від інших природних об'єктів. Величина NDVI особливо тісно пов'язана з індексом листкової поверхні і величиною надземної біомаси в початкові періоди вегетаційного сезону, коли сходи тільки з'являються на полях [55]. Значення цієї величини може змінюватися від -1 до 1 [42]. Для рослинності індекс NDVI має позитивні значення, і чим більша зелена фітомаса, тим вони вищі. Порівняно низькі значення нормалізованого різницевого вегетаційного індексу NDVI (для різних типів грунтів характерні значення NDVI лежать в діапазоні від 0,05 до 0,2) дозволяють відрізнити відкритий грунт від ділянок, вкритих сухою рослинністю або мають проективне покриття вегетуючої рослинності менше 50% [33]. Індекс помірно чутливий до змін ґрунтового й атмосферного фону, крім випадків із бідною рослинністю, і може перенасичуватися в умовах густої рослинності, коли рівень індексу листкової поверхні (LAI) стає високим [51].

Вдосконалений вегетаційний індекс EVI розроблений як поліпшення NDVI шляхом оптимізації сигналу рослинності в областях із високим індексом листкової

поверхні (LAI). Індекс використовує синю область відображення для корекції фонових сигналів ґрунту і зменшення атмосферних впливів, у тому числі аерозольного розсіювання. Найбільш корисний у регіонах із високим рівнем LAI, де NDVI може перенасичуватися [51]. Шкала EVI варіюється від -1 до 1; для здорової рослинності показник коливається в межах 0,2-0,8 [56]. Яскраві об'єкти, такі як хмари й білі будівлі, поряд із темними об'єктами, такими як вода, можуть призвести до аномальних значень пікселів у зображенні EVI. Використовується для оцінки мінливості розвитку культур як в умовах густого рослинного покриву, так і в умовах розрідженої рослинності [51].

За допомогою вегетаційних індексів вирішується широкий діапазон задач. Розрахунок вегетаційних індексів та використання індексно-картографічних зображень є безумовно актуальним для моніторингу земель сільськогосподарського призначення, зокрема стану сільськогосподарських культур.

Застосування методів ДЗЗ та вегетаційних індексів дозволяє найкращого шляху розвитку агроекосистеми, адже вони допомагають своєчасно виявити негативні тенденції, що призводять до зниження продуктивності, зростання собівартості продукції та зниження ефективності господарювання.

РОЗДІЛ 3. ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ

3.1. Структура, стан та використання сільськогосподарських земель в Україні

Україна має потужний потенціал земельних ресурсів. Станом на 1 січня 2019 р. земельний фонд України становить 60,35 млн гектарів, що складає близько 6% території Європи. У його складі сільськогосподарські землі становлять 41,9 млн. га (69,5%) загальної площі земель; ліси та інші лісовкриті площі – 10,7 млн га (17,7%); забудовані землі – 2,5 млн га (4,1%); під водою та відкриті заболочені землі – 3,4 млн га (5,6 %); відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом (кам'янисті місця, піски, яри) та сухі відкриті землі з особливим рослинним покривом – 0,6 млн га (1,1%) [57]. Тобто землі сільськогосподарського призначення займають більше 2/3 території України. Вони є особливою категорією земель, до складу якої входять кращі, родючі землі, що становлять цінне надбання нашої країни, адже є основним засобом виробництва для одержання сільськогосподарської продукції, яка є сировиною для виробництва продуктів харчування.

За даними Держгеокадастру України, станом на 01.01.2019 в цілому по Україні площа сільськогосподарських угідь складала 41,3 млн га, в тому числі рілля – 32,7 млн га, багаторічні насадження – 0,9 млн га, луки, пасовища та сіножаті – 7,6 млн гектарів [57]. Найбільша площа сільськогосподарських угідь (46 %) знаходиться у зоні Степу, 34,9 % – Лісостепу та 19,1 % у зоні Полісся [29]. Зрошувані землі сільськогосподарського призначення становлять 2,2 млн. га, осушені – 3,3 млн. га. Наявність зрошуваних земель створює міцну базу для боротьби з опустелюванням земель. Це важливо, особливо в умовах адаптації аграрної сфери до змін клімату в зоні степу. Однак стан зрошуваних земель постійно погіршується, і лише на 15-20% земель, від їх загальної площі, він є задовільним [57].

Україна має один із найвищих у світі показників забезпеченості сільськогосподарськими угіддями і ріллею на душу населення. Так, найбільшу питому вагу мають орні землі – займають 54,2 %, багаторічні насадження – 1,4, сіножаті – 3,8 і пасовища – 8,8%. Такий розподіл земельних угідь характеризує високу розораність і сільськогосподарську освоєність території України [57]. Розораність ґрунтів в середньому по Україні становить 78,4 % від площі сільськогосподарських угідь. Найбільша розораність спостерігається на території Херсонської області (90,3%), Черкаської, Кіровоградської, Вінницької, Запорізької, Дніпропетровської та Миколаївської (85–87%). Найменш розорані землі у Закарпатській, Львівській, Івано-Франківській та Волинській областях – 44–64 % [27]. У цих регіонах порушено баланс між кількістю пасовищ та сіножатей і площами, призначеними для вирощування агрокультур [40]. Порушення екологічно збалансованого співвідношення сільськогосподарських угідь, лісів та водойм, що негативно впливає на стійкість агроландшафтів і зумовлює надмірне антропогенне та техногенне навантаження на землю, що призводить до порушення якісного та екологічного стану ґрунтів [57, 40]. Незважаючи на те, що розораність земель у нашій державі є найбільшою в світі, ефективність використання земель сільськогосподарського призначення в Україні є значно нижчою, ніж у середньому в Європі [58].

Як відзначають Л. Перович та О. Гулько у статті «Сутність моніторингу використання сільськогосподарських земель», є як мінімум дві причини низької економічної ефективності використання сільськогосподарських земель в Україні (Землекористування. Збалансоване природокористування. 2018. № 2. С. 118 – 121). По-перше, сільськогосподарські підприємства не мають фінансів для удосконалення технологічних операцій щодо вирощування культур та впровадження інновацій. По-друге, порушується оптимальна структура посівних площ, а це неминуче веде до виснаження ґрунтового покриву». У 1990 р. площа посівів зернових та зернобобових складала 45% від загальної посівної площі, а

технічних 11,6%. У 2012 році ці показники значно збільшились - до 56,8% та 26,9% відповідно. Площі посівів кормових культур за цей період навпаки зменшились із 37% до 9%. Це пов'язано з тим, що більшість підприємств вирощують ті культури, які орієнтовані на експорт (зернові) експорт та рентабельні для виробництва.ю наприклад соняшник. Станом на 2018 р. у структурі посівних площ більшу частку складають посіви зернових і зернобобових – 53,6% та посіви технічних культур – 33,4%, тоді як кормовими культурами та коренеплодами, бульбоплодами, овочевими культурами та баштанними зайнято по 6,4% та 6,6% площі посівів відповідно [57]. Нині в структурі посівних площ основних сільськогосподарських культур посівам соняшнику належить 17,1% (у деяких областях займає площу понад 30% орних земель), тоді як науково рекомендована насиченість посівних площ соняшником, наприклад, для степової зони країни, не повинна перевищувати 12% [59].

Продуктивність сільськогосподарських угідь знижується також внаслідок невиконання агротехнічних, агрохімічних, меліоративних, фітосанітарних, протиерозійних та інших заходів щодо збереження й підвищення родючості ґрунтів [58]. Необхідно здійснити будівництво (реконструкцію) орієнтовно 460 протиерозійних гідротехнічних споруд, зокрема, 125 водоскидних споруд, 137 протиерозійних ставків, 198 споруд терасування схилів [57]. До зниження родючості ґрунтів призводить порушення сівозміни. У більшості випадків культура повертається на попереднє поле через три роки, а рекомендовано через шість-сім років. Порушення вимог щодо сівозміни, крім підвищення рівня забур'яненості та розвитку захворювань культур, призводить до втоми грунтів та токсикозу ґрунту [40].

У 2018 р. господарську діяльність здійснювали на площі 27,7 млн. га (посівні площі) понад 49 тис. сільськогосподарських підприємств, у тому числі 33 тис. фермерських господарств та домогосподарства України. Обсяг продукції сільського господарства у фактичних цінах становив 848 млрд грн. Зростання

обсягів виробництва було забезпечено, насамперед, за рахунок галузі рослинництва. Під посівні площі підприємствами було відведено 19,4 млн. га ріллі [57].

Україна є світовим лідером за вирощуванням зернових та кормових культур, включаючи пшеницю, кукурудзу, ячмінь, соняшник, цукровий буряк, тютюн, бобові, фрукти та овочі. За даними державної служби статистики середня врожайність зернових у 2019 році зросла на 2,2 центнера з гектара. Якщо у 2018-му і становить 49,1 ц/га. У 2018 р. було зафіксовано абсолютний рекорд аграрного експорту зернових, зернобобових культур – 50,4 млн тонн. Помітно збільшилася врожайність і деяких інших культур: озима пшениця — 41,7 ц/га, ячмінь – 34,8 ц/га, кукурудза – 71,4 ц/га, гречка – 13,3 ц/га, просо – 18,1ц/га, соняшник – 25,1 ц/га, соя – 23,5 ц/га [60].

Станом на 2019 рік в Україні було зареєстровано близько 280 тис. га сільськогосподарських земель під органічним виробництвом. Найбільше землі сконцентровано під зерновими культурами — 133,4 тис. га, або 46% всіх сільгоспземель під органікою. За останні 10 років кількість сільськогосподарських земель під органічне виробництво зросла на 39 тис. га [60].

Довготривала інтенсифікація і надмірна розораність призвели до загрозливого стану ґрунтів України - погіршення їхніх фізико-хімічних властивостей і навіть до розвитку процесів деградації. Основні причини зниження агрономічно важливих властивостей ґрунту – недостатнє внесення органічних та мінеральних добрив, водна та вітрова ерозії, переущільнення потужною важкою технікою [27]. Основними видами деградації ґрунтів в Україні, які визначають інтегральну оцінку їх екологічного стану є: втрата гумусу і поживних елементів, розвиток ерозійних процесів, зміна кислотно-лужних умов, засолення та осолонцювання ґрунтів, фізична деградація ґрунтів, забруднення ґрунтів [60].

За даними обстеження сільськогосподарських угідь у X турі (2011–2015 рр.) середньозважений уміст гумусу в ґрунтах України становить 3,16 %. 61,9 %

обстежених ґрунтів характеризуються середнім та підвищеним вмістом гумусу. Найменший уміст гумусу у зоні Полісся (2,33 %) найвищий – у степовій зоні 3,45%. Тенденція до зменшення вмісту гумусу у ґрунтах порівняно із IX туром агрохімічної паспортизації спостерігається у 13 областях. Насищення сівозмін культурами інтенсивного мінерального живлення, значне зменшення внесення органічних добрив, поширення процесів ерозії призвело до від'ємного балансу гумусу протягом 2011–2015 років [27].

У зв'язку з значним виносом азоту сільськогосподарськими культурами, втратами від ерозії і недостатнім поверненням його у ґрунт з органічними та мінеральними добривами, у ґрунтах України переважає дуже низький та низький вміст азоту (93,1 % обстежених площ), у тому числі на Поліссі – 90,5 %, Лісостепу – 94,3 %, Степу – 93,3 % [27].

На території України нараховується 57,5 % ґрунтів сільськогосподарських угідь, що піддані ерозії і ці процеси продовжуються. Загальна площа сільськогосподарських угідь, які зазнали згубного впливу водної ерозії, становить 13,3 млн гектарів [27].

Підкислення, засолення та осолонцювання також несуть загрозу втрати якісних показників ґрунту. Надмірно кислі ґрунти є суттєвим фактором зниження родючості та біопродуктивності, а також здатності накопичувати й зберігати вуглець. За даними X туру обстеження, більше 19 % ґрунтів є кислими, 57,3 % – близькими до нейтральних та нейтральні, 23,6 % – лужні. Висока питома вага кислих ґрунтів характерна для зони Полісся (45,6 %) Солонцеві комплекси займають більше 4 млн га обстежених площ. Вапнування кислих і гіпсування солонцевих ґрунтів у необхідних обсягах залишається однією із основних складових агрозаходів із поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунтів [27].

Фізична деградація ґрунтів, як наслідок їхнього інтенсивного механічного обробітку та зниження вмісту органічної речовини, практично охопила всю ріллю України. Грунти, які піддались фізичній деградації уразливі до ерозії, вони гірше

вбирають і утримують атмосферну вологу, а також обмежують розвиток кореневих систем рослин. Переущільнення ґрунтів має негативні екологічні наслідки та наносить великі економічні збитки [73]. Техногенне забруднення теж сприяє деградації грунтового покриву.

Таким чином, Україна не істотно використовує конкурентну перевагу природного потенціалу землі, а також поступово втрачає якість ґрунтового покриву внаслідок нераціонального використання земель. В Україні понад 1 млн. га деградованих, малопродуктивних і техногенно забруднених земель підлягають консервації, 143,7 тис. га порушених земель потребують рекультивації та 315,6 тис. гектарів малопродуктивних угідь, які потребують поліпшення [57].

Отже, слід погодитися з думкою Л. Перовича та О. Гулько , що «держава має створити такий механізм використання земельних ресурсів, який задовольняв би потреби підприємців-землекористувачів та вимоги щодо охорони й раціонального використання землі як природного ресурсу» (Л. Перович, О. Гулько. Сутність моніторингу використання сільськогосподарських земель. С. 119). Основою цього, безумовно, має стати організація моніторингу земель з невід’ємною складовою використанням методів супутникового моніторингу.

3.2. Класифікація багатоспектральних космічних знімків.

Стрімке зростання обсягів даних ДЗЗ неминуче породжує високу затребуваність в машинних засобах автоматичної обробки. До недавнього часу найбільш поширеним методом дешифрування було візуальне дешифрування знімка. Зазвичай таку обробку проводить експерт, добре знайомий з особливостями території і властивостями об'єктів, відображених на знімку. Цей метод є трудомістким і досить витратним за часом, тому актуальним є використання засобів автоматичного дешифрування (автоматичної класифікації) [62].

Класифікація - це тематична обробка, яка дозволяє здійснювати автоматизоване розбиття знімків на однорідні області (класи об'єктів) за певним критерієм. Зображення, яке при цьому отримують, називається тематичною картою. Оскільки зазвичай виділяють класи об'єктів, які відповідають реальним типам об’єктів на місцевості, то класифікацію можна розглядати як процедуру автоматизованого дешифрування ДДЗ. Процедура класифікації грунтується найчастіше на статистичному аналізі різних характеристик зображення: просторових, спектральних або часових. При визначенні природи об’єктів головну роль відіграють спектральні характеристики. Тому в більшості відомих алгоритмів класифікації використовуються спектральні образи (сигнатури) типів покриттів [31]. Під час автоматичної класифікації відбувається процес розбиття пікселів безперервного растрового зображення на категорії на основі їх спектральних значень, в результаті чого кожному пікселю присвоюється нове значення [62]. Розрізняють два основних методологічних підходи до проведення даної процедури: контрольована класифікація (з навчанням) і неконтрольована класифікація (без навчання) [31].

На практиці найчастіше використовується інтерактивне дешифрування, що поєднує етапи автоматизованого і візуального дешифрування, тобто чергуються етапи автоматизованої класифікації зображень, оцінки та коригування їх результатів силами експерта-дешифрувальника. Контрольована класифікація є більш точною в порівнянні з неконтрольованою, і її доцільно проводити, коли заздалегідь відомо, які об'єкти є на знімку і що їх кількість незначна (не більше 30) [31]. Якщо об'єкти дешифрування явно розрізняються на знімку, то частину об'єктів можна використовувати в якості еталонів (навчальних зразків) для класифікації всього зображення, тобто автоматичного виділення аналогічних об'єктів. Роль експерта зводиться тут до аналізу результатів автоматичної класифікації і подальшому поліпшенню шляхом корекції еталонів, методів класифікації і т.д.

Класифікація з навчанням виконується в такій послідовності [63]:

1. Визначаються змістовні класи, які необхідно виділити на знімку.

2. Створюються навчальні вибірки (користувацькі еталони) та перевіряється їх якість.

3. Обирається алгоритм (спосіб) класифікації з навчанням.

4. Безпосередньо виконоється процес класифікації за допомогою програмного забезпечення за обраним алгоритмом.

5. Проводиться післякласифікаційна обробка карти класифікації.

6. Оцінюється точність результатів класифікації.

На другому етапі класифікації з навчанням використовуються навчальні вибірки, звані також еталонами об'єктів або сигнатурами [31]. Навчальні вибірки - набори пікселів, які представляють спектральну сигнатуру тематичного класу, який розпізнається і служать для його ідентифікації. Це один або кілька ділянок на знімку, ідентифікованих на основі даних отриманих у ході польового дешифрування, аерофотозйомки, з топографічних карт і планів, у результаті візуального дешифрування зображення, у вигляді векторних шарів ГІС. Основними вимогами, що пред'являються до навчальних вибірок, є репрезентативність і відповідність одному класу природних об'єктів. Репрезентативність характеризує, наскільки повно вибірка описує спектральну сигнатуру класу, тобто наскільки точно можна оцінити спектральні параметри цього класу [64]. Процес навчання здійснюється шляхом порівняння значення яскравості кожного пікселя з навчальною вибіркою, в результаті чого кожен піксель відноситься до відповідного класу об'єктів.

Серед алгоритмів класифікації з навчанням виділяють такі способи: паралелепіпедів, мінімальної відстані, відстані Махаланобіса, максимальної правдоподібності, спектрального кута і бінарного кодування [31].

Спосіб паралелепіпедів застосовують, коли області значення яскравості об'єктів практично не перетинаються, а класів об'єктів небагато. Спосіб

мінімальної відстані використовують, коли спектральні ознаки різних класів схожі і діапазони значень їх яскравості перекриваються. Піксель ставиться до того еталонного класу, евклідова відстань до центру якого в просторі ознак мінімально. Спосіб відстані Махаланобіса відрізняється від способу мінімальної відстані лише тим, що в процесі класифікації вимірюється не евклідова, а відстань Махаланобіса, що дозволяє врахувати розподіл (дисперсію) значень яскравості пікселів в еталонних ділянках, однак вимагає великих затрат часу на обчислення в порівнянні з першими двома способами [31].

Спосіб максимальної правдоподібності розраховує ймовірність, з якою даний піксель належить до якого-небудь класу. Кількість і параметри класів задаються користувачем, шляхом вказівки навчальної вибірки. Кожен піксель відноситься до того класу, до якого він може належати з найбільшою ймовірністю. При розрахунку ймовірності враховується яскравість пікселя і яскравість оточуючих його пікселів. Даний спосіб має високу точність, враховує дисперсію значень ознак класів (як у вирішальному правилі відстані Махаланобіса) [31].

Спосіб спектрального кута дає хороші результати, коли потрібно провести класифікацію для об'єктів, які мають схожі значення яскравості у всіх спектральних діапазонах. Бінарне (двійкове) кодування використовується, якщо на знімку все пікселі потрібно розділити на два класи, наприклад, вода – суша [31].

В даному дослідженні для класифікації знімку з метою виділення земель, що знаходяться в сільськогосподарській обробці, був використаний програмний продукт SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) - вільно поширюване програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом. Будучи гібридною, SAGA GIS підтримує векторну і растрову моделі даних, спеціалізуючись на аналізі растрів, також в ній передбачені можливості по роботі з тривимірними даними. Операції в SAGA реалізуються за допомогою модулів. Для попередньої обробки, корекції зображень використовується велика бібліотека фільтрів. Для аналізу растрових зображень можуть використовуватися модулі на

основі методів неконтрольованої класифікації та класифікації з навчанням, дерев рішень, об'єктно-орієнтованих методів, що дозволяють аналізувати спектральну і контекстну інформацію, методів сегментації зображень, спектральних перетворень та вегетаційних індексів [65].

В якості вихідного зображення був використаний знімок супутника Landsat 8 176/026 за 1 червня 2019 року.

Спочатку було виділено 10 класів об’єктів: 1 - гідрографічні об’єкти, 2- хмари, 3 - тінь від хмар, 4 - відкрита земля, 5 - трав'яний покрив, 6 - ліс, 7 та 10 - 2 класи сільськогосподарських угідь (без рослинності та з рослинністю), 8 - населені пункти, 9 - кар’єри.

Далі був створений векторний шар еталонних ділянок за допомогою функції Create New Shapes Layer. Для кожного класу об’єктів були побудовані навчальні еталони у вигляді векторних полігонів-багатокутників та заповнені атрибутивні дані для них. При формуванні навчальних вибірок за виділеними класами для більшої достовірності додатково використовувались зображення високого розрізнення з картографічних сервісів.

На наступному етапі була проведена атмосферна корекція знімку за допомогою інструменту *Top of Atmosphere Reflectance* і здійснена керована класифікація за алгоритмом максимальної правдоподібності (*Maximum Likelihood*) з використанням інструменту *Supervised Classification for Grid*. Даний алгоритм був обраний, оскільки хмари значень класів перетинаються та існує кореляція між яскравістю вибірок. Для класифікації були використані усі 8 каналів знімку (канали 1-7 та 9) для найкращого спектрального аналізу.

Результатом класифікації є новий растровий шар Classification [*Maximum Likelihood*]. Для кожного класу був визначений відповідний колір у таблиці налаштувань зовнішнього вигляду растрового шару (Lookup Table) (рис.3.1). 2 класи сільськогосподарських угідь відображені світло жовтим кольором.

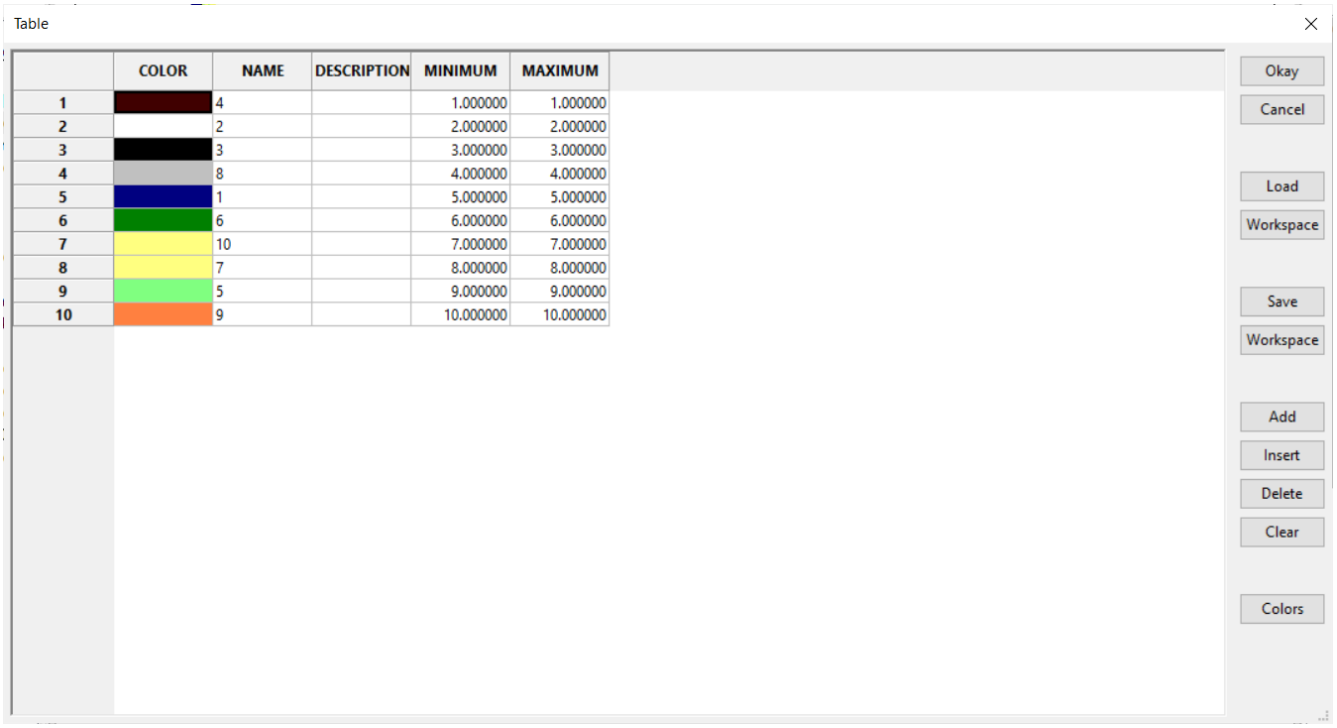

Рис. 3.1. Налаштування кольорів для відображення дешифрованих класів об’єктів.

Так було виконано розпізнавання сільськогосподарських угідь, виділення їх в окремий клас. Результати класифікації можуть бути використані для створення карти земель, що знаходяться в сільськогосподарській обробці.

3.3. Розрахунок вегетаційних індексів для оцінки стану сільськогосподарських культур.

Дослідження стану агроландшафтів, грунтів і окремих сільськогосподарських культур має обов'язково доповнюватися дистанційними методами, використання яких базується на застосуванні повнофункціональних програм - геоінформаційних систем.

Одна з можливостей використання даних ДЗЗ полягає в розрахунку вегетаційних індексів та створенні індексних зображень, що відображають стан посівів, на основі знімків, отриманих в різних спектральних діапазонах. Часто середні значення різних показників, за якими можна судити про стан рослинності,

наприклад, NDVI, розраховують для кожного контуру поля. Карти вегетаційного індексу дозволяють виявляти неоднорідність рослинного покриву в межах поля, що може свідчити про варіювання властивостей і типів грунтів [69].

У даному дослідженні проводилась обробка супутникових даних з метою створення та інтерпретації карт вегетаційних індексів на прикладі NDVI в повнофункціональній геоінформаційній системі QGIS. Для отримання відомостей про стан сільськогосподарських культур використовувались космічні знімки супутника Landsat 8. Використання космічних знімків Landsat дозволяє розрахувати індексні зображення з розміром пікселя 30 × 30 м. Для отримання знімків було обрано інформаційний ресурс, що надає знімки супутника Landsat 8 безкоштовно та у вільному доступі – геопортал EarthExplorer (https://earthexplorer.usgs.gov).

EarthExplorer (EE) - це інтерфейс клієнт / сервер, який забезпечує доступ до архіву Центру спостереження за земними ресурсами (EROS) Геологічної служби США (USGS). Архів EROS – це всебічна колекція даних дистанційного зондування Землі, яка охоплює понад 70 років для покриття США та понад 50 років для світу [67].

Портал EarthExplorer призначений для пошуку, завантаження і замовлення супутникових зображень, аерофотознімків і картографічної продукції. Понад 180 колекцій даних доступні через EE. На додаток до даних з місій Landsat і ряду інших постачальників даних, EarthExplorer надає доступ до продуктів MODIS супутників Terra і Aqua і до продуктів відкаліброваних даних ASTER в США і територіях з місії NASA ASTER. Постійний збір даних та включення нових наборів даних для підтримки геонаукового співтовариства та широкої громадськості дозволяють EE залишатися актуальним [67].

Для пошуку знімків в лівій частині геопорталу EarthExplorer знаходиться панель пошуку потрібної місцевості для вибору знімка. Вона розділена на чотири основні області:

• Вкладка «Критерії пошуку» - для введення різних параметрів пошуку.

• Вкладка «Набори даних» - для вибору наборів даних, які потрібно шукати.

• Вкладка «Додаткові критерії» - для введення додаткових критеріїв пошуку, специфічних для вибраних наборів даних.

• Вкладка «Результати» - для відображення текстового та графічного подання результатів запиту.

Для пошуку певної області, для якої необхідно отримати космічні знімки на Вкладці «Критерії пошуку» користувачі мають можливість або ввести критерії розташування за допомогою текстового інформаційного компонента, або за допомогою інтерфейсу Leaflet Map. Компонент Geocoder на панелі пошуку дозволяє задати об’єкти (ввести назву географічного об’єкта або обрати зі спадного меню штат / країну, клас об’єкта чи тип об’єкта), ввести конкретну адресу або назву місця для об’єкта США чи світу, або Path/Row всесвітньої довідкової системи Landsat (WRS). Натиснувши клавішу «Показати», можна побачити розташування місця, яке ми задали. Ввести область інтересу через інтерфейс Leaflet Map, можна використовуючи функції Полігон (необхідно ввести координати), Коло, Визначити область інтересів (AOI) з використанням інтерактивної карти для вказівки географічної точки, прямокутника або багатоточкових полігонів.

Також на панелі «Критерії пошуку» можна здійснювати пошук знімків за певний період часу на даній території – необхідно задати діапазон дат та місяці, які цікавлять. Додатково можна обрати бажаний/небажаний хмарний покрив для запиту. Після вибору часового періоду, необхідно перейти на панель вибору набору даних, які необхідні для дослідження.

Переходячи до вкладки «Результати» у лівій частині сторінки відображається панель результатів із мініатюрою та текстовою інформацією для кожної сцени результатів пошуку. Натискаючи піктограму «Показати відбиток», відображається відбиток вибраної сцени на інтерфейсі карти. При натисканні на

піктограму, з’являється кольорове поле навколо неї. На карті територія, яку покриває знімок відображається таким самим кольором. Це представляє покриту територію за цим зображенням. Можуть бути вибрані та відображені кілька слідів на карті. Кожен слід відображається в іншому кольорі. Натиснувши «показати всі відбитки», можна побачити всі відбитки знімків зі сторінки результатів пошуку. Також можна здійснити попередній перегляд зображення сцени на карті Show browse overlay.

Використовуючи функцію AOI, була виділена територія України для ознайомлення з знімками, які наявні на дану територію. Також був встановлений діапазон дат з 1 травня 2016 року по 31 серпня 2020 року, обрані місяці з травня по серпень (період вегетації культур, окрім озимих) та встановлено хмарність до 10%. Далі був обраний набір знімків Landsat 8 OLI/TIRS C2 L1. Необхідно було обрати територію, на яку є достатня кількість знімків з заданими параметрами протягом вегетаційного періоду одного з років. Для дослідження зміни вегетаційного індексу необхідно мати хоча б 1-2 знімки на кожен з місяців вегетаційного періоду. Цим вимогам задовольняє територія знімку 176/026 (за глобальною системою позначень даних Landsat WRS), що охоплює частину Харківської, Донецької та Луганської областей. Так як скачування знімків доступне тільки для зареєстрованих користувачів, попередньо була здійснена реєстрація на сайті. Далі були завантажені 6 знімків станом на 16 травня, 1 та 17 червня, 3 та 19 липня, 20 серпня 2019 р.

При виборі програмних засобів для обробки супутникових знімків, важливе значення мають функціональні можливості додатків і умови їх використання [66]. Тому обробка космічних знімків проводилась у програмному продукті QGIS – вільній геоінформаційній системі, що відноситься до категорії програмного забезпечення з відкритим кодом. ГІС QGIS призначена для візуалізації, редагування і аналізу просторових даних. QGIS дозволяє одночасно поєднувати

векторні і растрові зображення, створювати нові shape-файли та редагувати вже наявні, виконувати арифметичні операції з растровими даними.

Для кількісної оцінки стану вегетації сільськогосподарських культур доцільно спочатку обрати конкретне поле з відомим типом культури, а потім за космічними знімками розраховувати індекси NDVI [37]. Тому для оцінки стану дозрівання декількох культур було обрано декілька полів Краснолиманського району Донецької області. Відповідно до шару Публічної кадастрової карти «Класифікація посівів 2019 (ярові)» на обраних ділянках в 2019 р. вирощувалися кукурудза (поля 1, 2, 3), соняшник (поле 4) та зернові (поля 5, 6, 7) (Рис. 3.2).

Рис. 3.2. Шар публічної кадастрової карти «Класифікація посівів 2019 (ярові)»

Для відображення мультиспектрального знімка в програмному середовищі QGIS необхідним є створення віртуального растра. Віртуальним растром є спосіб об’єднання сцен знімка в один файл. Сцена знімка – це результат супутникового фотографування земної поверхні в одному каналі [66]. Тому за допомогою функції «Створити віртуальний растр» були створені віртуальні растри для серії різночасових знімків протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур.

Знімок Landsat охоплює велику територію, тому було необхідно виділити на досліджуваній території кордони полів, для яких необхідно визначити вегетаційні індекси. Для цього був створений векторний шар полів за допомогою візуального дешифрування меж полів за знімком та порівнянням з даними публічної кадастрової карти (рис 3.3, а). Таким чином була створена маска полів, за якою виконувалась обрізка космічного знімка до меж землекористування (рис. 3.3, б).

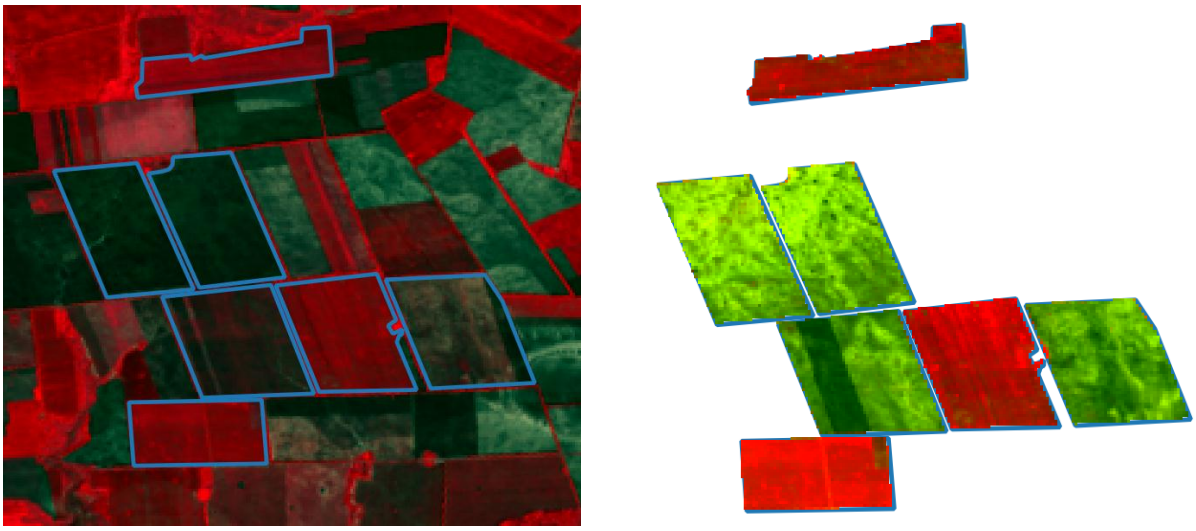

Рис. 3.3. Досліджувані поля з відомими культурами: а) відображення меж полів на мультиспектральному знімку; б) відображення знімка за маскою полів.

Знімок Landsat 8 містить 11 каналів. З них для розрахунку NDVI використовується канал 4 (червоний) і канал 5 (ближній інфрачервоний). За допомогою функції «Калькулятор растрів» були розраховані значення вегетаційних індексів для досліджуваних полів станом на 16 травня, 1 та 17 червня, 3 і 17 липня, 20 серпня 2019 р. з метою оцінки стану вегетації рослинного покриву досліджуваних полів кукурудзи, соняшнику та зернових. Шкала для графічного відображення вегетаційного індексу NDVI представлена 6 градаціями, які наведені в табл. 3.1. Це дозволяє виявити поточний якісний стан біомаси та її зміну протягом вегетаційного періоду. Ділянки з різним станом рослинності або об’ємом зеленої фітомаси на знімках відображуються різними кольорами від

червоного до зеленого, відкритий грунт або хмарність відображається червоним кольором (рис 3.4).

Таблиця 3.1

Стан рослинності відповідно до значень вегетаційних індексів

Значення індексу NDVI	Стан рослинності
0-0,1	відкритий грунт або немає даних (хмарність на космознімку)
0,1 – 0,2	Розріджена рослинність
0,2 – 0,3	Пригнічений стан
0,3 – 0,4	Поганий
0,4 – 0,5	Задовільний
0,5 – 0,6	Добрий

Візуальний аналіз розподілу NDVI в межах поля з кукурудзою дозволило виявити на ньому аномальну зону (зону рослинності у пригніченому стані). Неоднорідний розподіл вегетаційного індексу в межах земельної ділянки може побічно свідчити про негативні процеси, які розвиваються на полі, а встановлення зв’язку між значеннями вегетаційних індексів і станом рослин згодом може послужити основою для диференційованого внесення добрив з метою вирівнювання врожайності на полі. Також візуально можна побачити, що стан посіві кукурудзи станом на 19.07 найкращий на 3 полі. За зміною кольору полів на індексних зображеннях можна встановити, що 16.05 по 01.06 приросту біомаси на полях 1 та 2 з кукурудзою не відбулось, а на полі 3 розвиток культури у цей період відбувається набагато швидше, що може бути пов'язане з властивостями грунтів, відмінністю сортів та умовами розвитку. Також чітко прослідковується відмінність розвитку озимих та ярових культур. Найкращий стан усіх полів з озимими культурами припадає на 01.06.

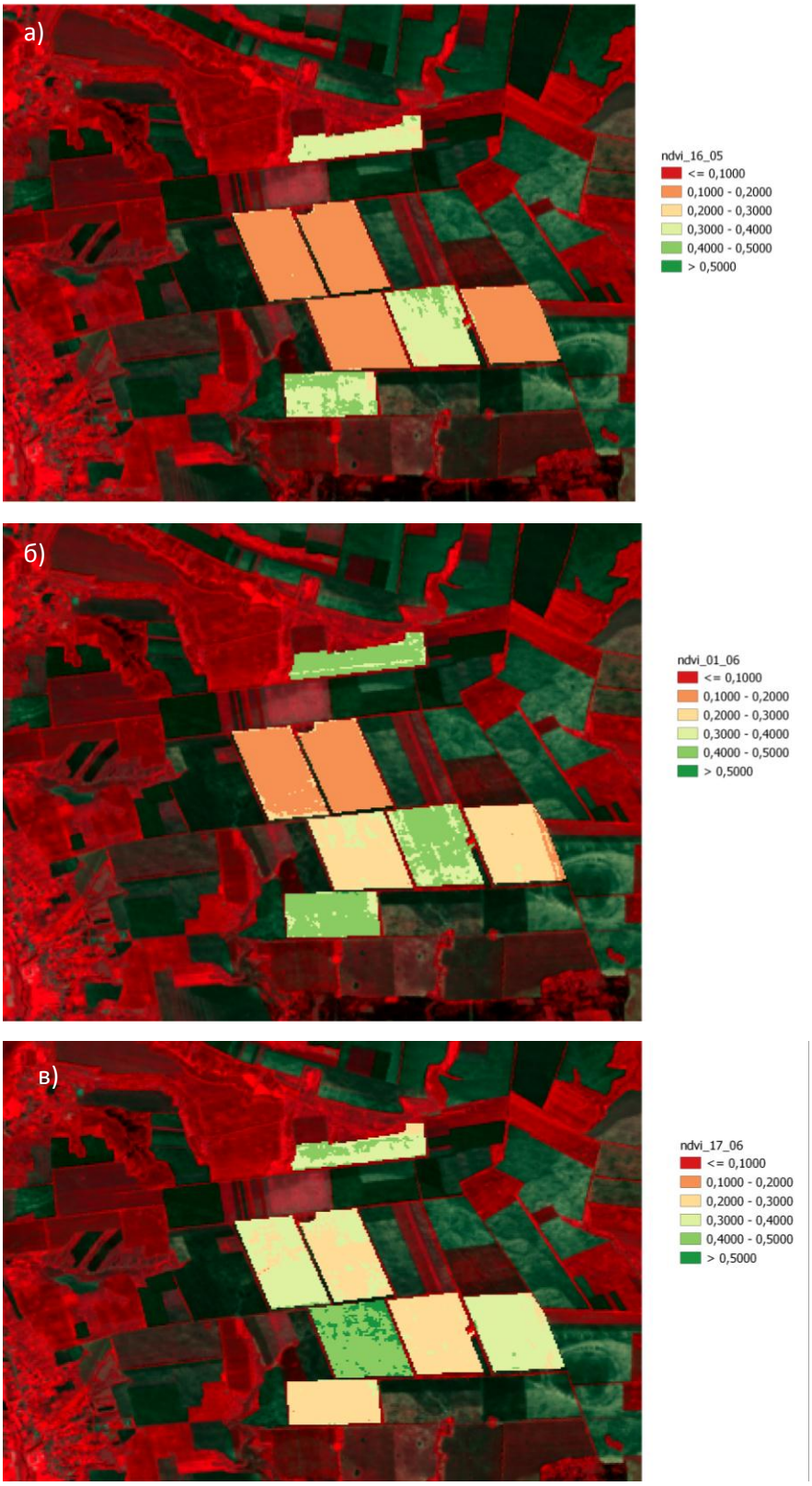

Рис. 3.4. Сезонна динаміка NDVI досліджуваних полів: а)16 травня; б) 1 червня; в) 17 червня; г) 3 липня; д) 17 липня; е) 20 серпня.

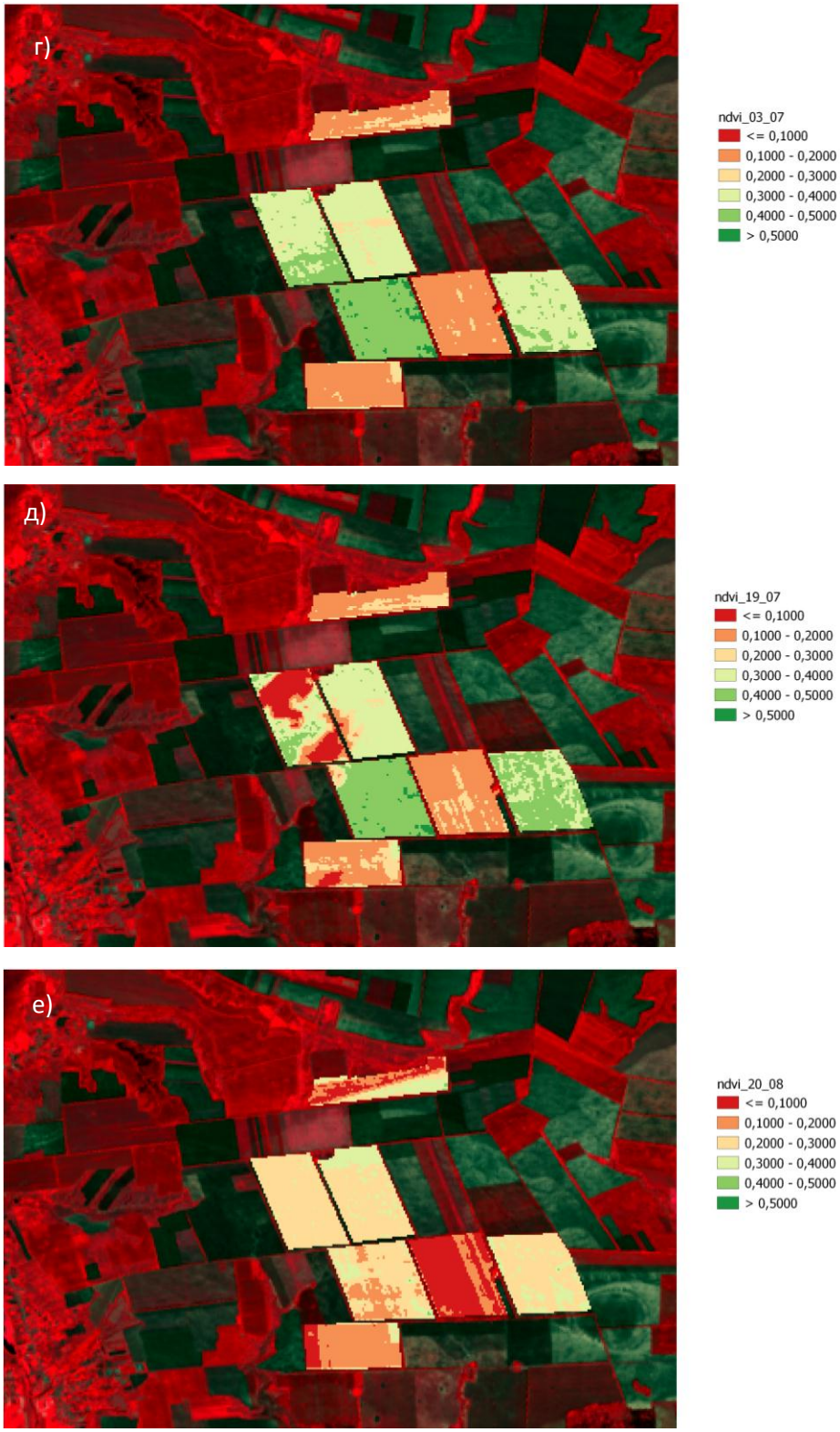

Рис. 3.4. Сезонна динаміка NDVI досліджуваних полів: а)16 травня; б) 1 червня; в) 17 червня; г) 3 липня; д) 17 липня; е) 20 серпня.

За значеннями NDVI растрового шару була розрахована зональна статистика для кожного контуру поля на різні дати спостереження – середній, медіанний, мінімальний, максимальний NDVI і стандартне відхилення в межах кожного поля. Для оцінки динаміки розвитку посівів складаються графіки зміни вегетаційного індексу протягом вегетаційного періоду для полів із різними культурами, досліджується форма кривої NDVI, будуються кілька параметрів її форми, які використовуються для класифікації культур і оцінки стану[55]. Тому за розрахованими кількісними показниками було побудовано графіки сезонного ходу середніх значень NDVI для кожного поля. Це дозволило дослідити кількісну зміну цих індексів у часі та оцінити стан вегетації культури на різних етапах дозрівання. На графіку (рис 3.5) добре прослідковується, шо при появі сходів та у вегетаційний період росту й розвитку культур значення NDVI зростають, а з настанням періоду дозрівання вміст хлорофілу знижується і, відповідно, знижуються значення NDVI. За зменшенням середнього значення індексу NDVI після його максимуму 17 липня можна виділити період дозрівання кукурудзи. Зменшення значень NDVI в період активної вегетації (до настання фази молочної стиглості таких сільгоспкультур, як, наприклад, кукурудза та яра пшениця) може свідчити про стресовий стан посівів. Це може бути пов’язане з їх пошкодженням унаслідок несприятливих природних явищ (град, зливи, посуха, пожежі), а також ураження шкідниками [53].

Зіставлення графіків сезонного ходу значень NDVI для однакових культур з різних полів дозволяє побачити, яке поле є продуктивнішим (рис 3.6, 3.7). Як видно з графіків на рис.3.5., хід NDVI для поля 1 та поля 3 з кукурудзою є дуже схожими з 17 червня по 3 липня, але через хмарність 17 липня середнє значення вегетаційного індексу для 1 поля є недостовірно низьким. Поле 2 характеризується меншою динамікою значень NDVI протягом періоду вегетації. Поля з озимими культурами 1 та 2 характеризуються подібною між собою динамікою індексу

вегетації з різким спадом індексу NDVI з 1 по 17 червня, а для поля 3 зменшення значення NDVI зменшується плавно.

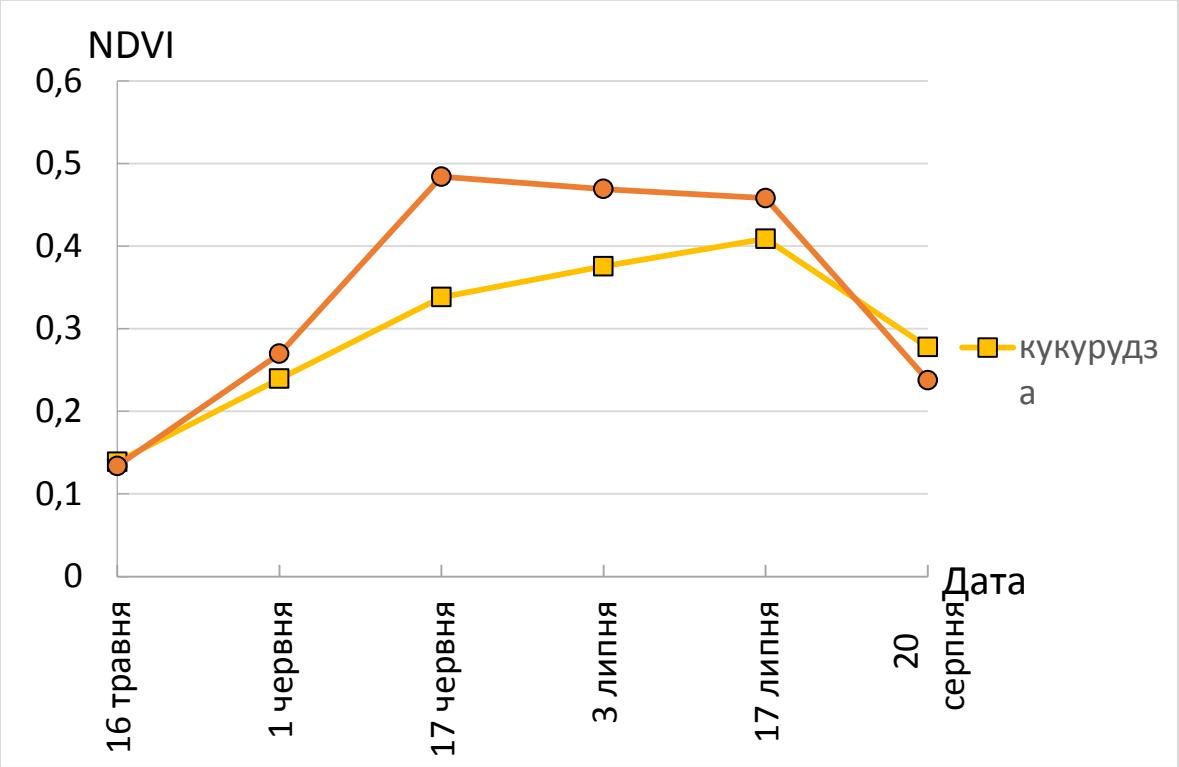

Рис. 3.5. Графік сезонного ходу NDVI кукурудзи та соняшнику

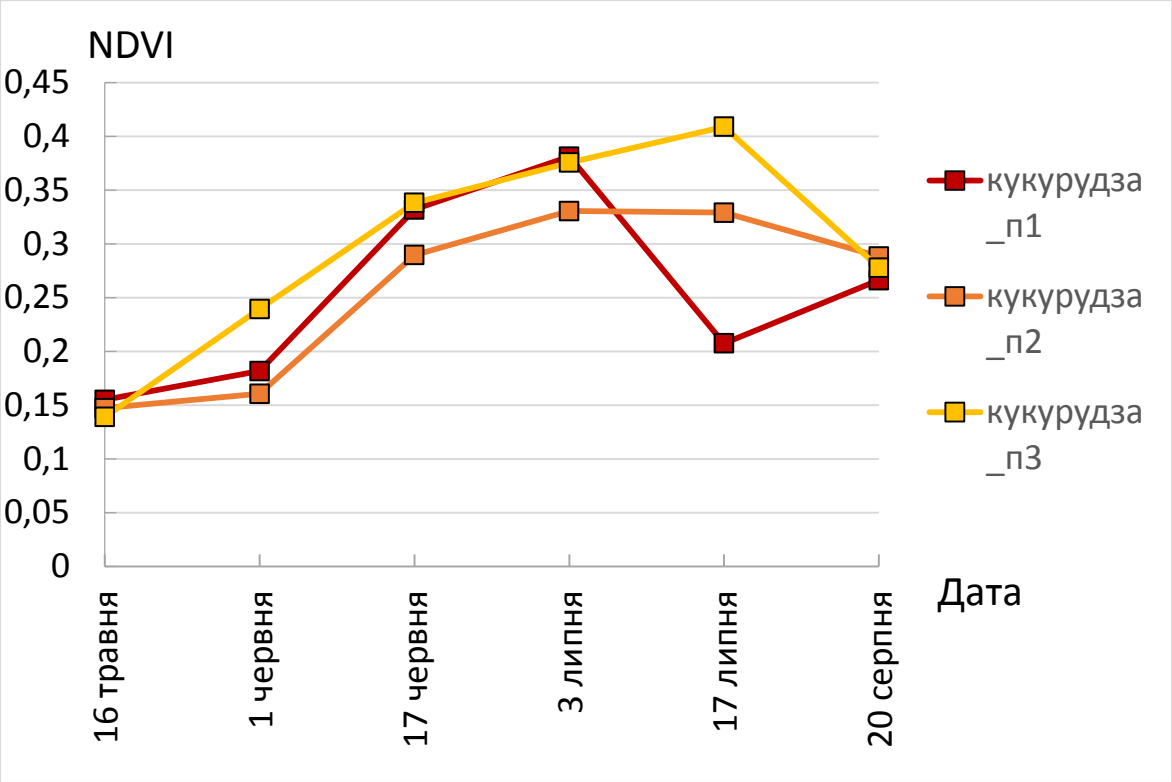

Рис. 3.6. Графік сезонного ходу NDVI на полях 1, 2, 3 з кукурудзою

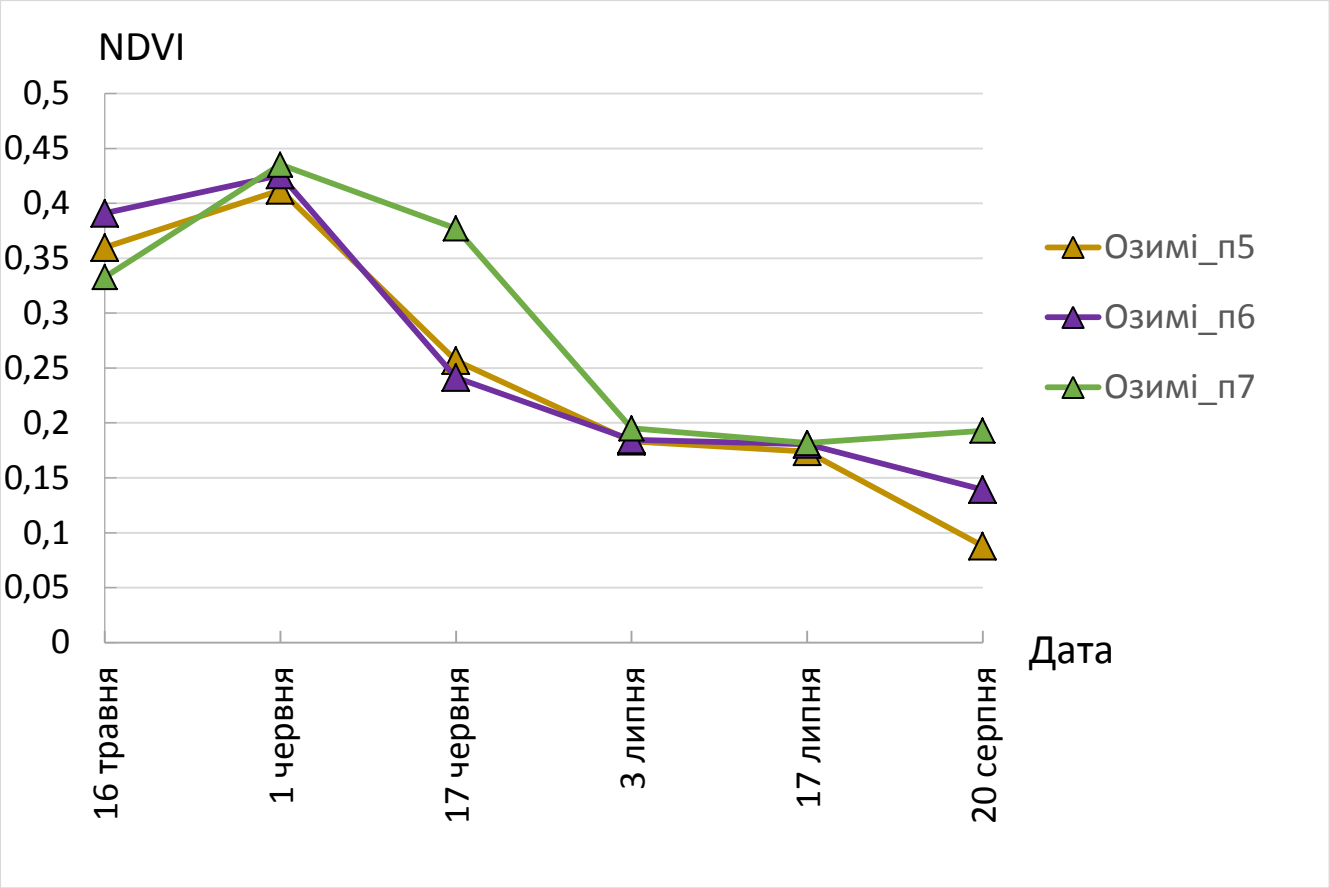

Рис. 3.6. Графік сезонного ходу NDVI на полях 5,6, 7 з озимими культурами

Отже, застосування вегетаційних індексів, зокрема NDVI, дає можливість своєчасно виділяти проблемні ділянки сільськогосподарських угідь і оперативно надавати рекомендації щодо їх раціонального використання та покращення стану, оцінювати врожайність. Моніторинг стану сільськогосподарських культур протягом фази вегетації з використанням візуального аналізу індексних зображень та кількісних показників, розрахованих за мультиспектральними космічними знімками має практичну цінність як для організації моніторингу стану сільськогосподарських земель з метою збереження цінних земельних ресурсів, так і для подальшого їх економічно-ефективного використання.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи магістра встановлено:

1. Моніторинг земель є дієвим інструментом державної політики для ефективного управління земельними ресурсами, особливо для раціонального використання земель сільськогосподарського призначення. Добре налагоджена система моніторингу, з поєднанням наземних та дистанційних методів, забезпечує надходження надійної інформації щодо динаміки стану земель, негативних процесів, які на них розвиваються, продуктивності земель, що дозволяє своєчасно реагувати на негативні тенденції та зміни та прогнозувати такі зміни.

2. В Україні до кінця не сформований моніторинг земель як система збору систематичної просторово-часової інформації про динаміку несприятливих процесів, а існуюча мережа постійних ділянок моніторингу грунтів і рослин є недосконалою. Неузгодженість між відомствами веде до неефективності системи моніторингу, тому доцільним є доручення повноважень в сфері моніторингу земель щодо його здійснення службі моніторингу й охорони земель, яку доцільно створити на базі Інституту охорони ґрунтів, що діє в рамках Міністерства аграрної політики і продовольства, а науково-методичне керівництво слід покласти на Національну академію аграрних наук України. Незважаючи на актуальність застосування дистанційних методів моніторингу земель та наявності певного досвіду роботи з космічними знімками для вирішення різноманітних завдань сільського господарства, система космічного моніторингу сільськогосподарських земель не створена. У зв’язку з цим необхідним є розробка науковими установами технологій масового та систематичного збирання, обробки та аналізу інформації про стан земельних ресурсів з використанням засобів ДЗЗ та впровадження їх разом з наземними обстеженнями.

3. Велике різноманіття систем ДЗЗ та даних, які з них отримуються - різної періодичності, детальності та у різних діапазонах електромагнітного спектру - дозволяє успішно застосовувати їх для вирішення широкого кола задач моніторингу сільськогосподарських угідь – від локального моніторингу в межах окремого поля до регіональних та глобальних спостережень за станом посівів, отримання інформації про структуру посівних площ, прогнозування врожайності культур для певного регіону, а також виявлення процесів деградації земель внаслідок господарської діяльності людини та природних явищ.

4. Відмінність у відбитті земними об’єктами випромінювання різних довжин хвиль дозволяє оцінювати їх стан. З цією метою широко використовують дані декількох спектральних каналів знімків для розрахунку вегетаційних індексів та створюють «індексні» зображення. Природна властивість рослинності поглинати сонячну радіацію переважно у видимому (червоному) діапазоні сонячного спектра і відбивати її в ближньому інфрачервоному діапазоні, дозволяють проводити кількісні оцінку стану сільськогосподарських культур з використанням нормалізованого диференціального вегетаційного індексу NDVI.

5. Дистанційне одержання даних про обсяги наземної біомаси сільськогосподарських культур з використанням супутникових знімків є ефективним та найбільш економічно вигідним методом агромоніторингу. В ході дослідження було підтверджено, що такі методи цифрової обробки зображень як тематична класифікація та спектральні перетворення зображень, які набули найбільшого поширення в задачах дистанційного зондування, є доцільними для використання у сфері моніторингу земель сільськогосподарського призначення. Було здійснено тематичне дешифрування сільськогосподарських земель шляхом автоматичної контрольованої класифікації космічного знімка Landsat 8. Були розраховані вегетаційні індекси NDVI, побудовані графіки їх сезонного ходу та створені індексні зображення для семи полів Краснолиманського району Донецької області з сільськогосподарськими культурами, що дозволило оцінити

стан культур в процесі їх росту і розвитку, виявити проблемні ділянки на конкретному полі та порівняти динаміку розвитку однакових культур на різних полях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крючков А. Н. Экспериментальный образец системы оперативного дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных земель Беларуси / А. Н. Крючков, И. П. Самсоненко // Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием [«Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве»] (Санкт-Петербург, 26–28 сент. 2018 г.). – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. – С. 19 – 25.
2. Цуркан Н. В. Удосконалення системи моніторингу земель сільськогосподарського призначення / Н. В. Цуркан // Фізична географія та геоморфологія. Геоінформаційні системи в ландшафтознавстві та геоморфології. – 2016. – Вип. 1 (81). – С. 113 – 118.
3. Комаров А. А. Тестовые мониторинговые полигоны как инструмент для идентификации данных дистанционного зондирования Земли. А. А. Комаров, П. А. Суханов, А. Д. Кирсанов // Материалы II Всероссийской научн. конф. с межд. участ. [“Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве”] (Санкт-Петербург, 26–28 сент. 2018 г.). - Санкт-Петербург, 2018. - С. 139 – 145.
4. Бінчаровська. Т. А. Теоретичні підходи до тлумачення економічної сутності об’єктів земельних відносин: землі, земельних ресурсів та земельних ділянок [Електронний ресурс]/ Т. А. Бінчаровська // Ефективна економіка. – 2017. - № 10. – Режим доступу: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5823.
5. Земельний кодекс України № 2768-III від 25.10.2001 [Електронний ресурс] / Відомості Верховної Ради України. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text
6. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» № 1264-XII від 25.06.1991 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12 15.
7. Закон України «Про охорону земель» № 962 від 19.06.2003 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/962.
8. Закон України «Про меліорацію земель» № 1389-XIV від 14.01.2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1389-14#Text.

9. Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» № 963-IV від 19.06.2003 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15 16.
10. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про моніторинг земель» № 661 від 20.08.1993 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-93-п 17.
11. Наказ Міністерства аграрної політики України «Про затвердження Положення про моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення» № 383/8982 від 26.02.2004 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0383-04#Text.
12. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» № 391 від 30.03.1998 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon.rada.gov. ua/laws/show/391-98-п
13. Наказ Державного комітету України по водному господарству Про затвердження Інструкції з організації та здійснення моніторингу зрошуваних та осушуваних земель [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0656-08#Text.
14. Горбунова Ю. В. Инвентаризация и мониторинг земель населенных пунктов: курс лекций [Электронный ресурс] / Ю. В. Горбунова, А. Я. Сафонов. – Красноярск, 2018. – 210 с.
15. Горлачук В. В. Управління земельними ресурсами: навчальний посібник / В. В. Горлачук, В. Г. В'юн, А. Я. Сохнич; за ред. В. Г. В'юна. - Миколаїв: Вид-во МФ НаУКМА, 2002. -316 с.
16. Охотнікова О. М. Роль державного управління в сфері моніторингу земель в Україні / О. М. Охотнікова // Часопис Київського університету права. Адміністративне право і процес. Фінансове право. Інформаційне право. – 2017. – №1. - С. 92 - 95.
17. Медведєв В. В. Методологія ефективного моніторингу грунтового покриву (на основі аналізу 25-річного європейського досвіду / В. В. Медведєв // Грунтознавство. – 2016. – Вип. 17, № 3-4.
18. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Моніторинг земель» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://lib.udau.edu.ua/bitstream/123456789/6744/1/M3.pdf
19. Моніторинг довкілля: підручник / В. М. Боголюбов, М. О. Клименко, В. Б. Мокін [та ін.]; за ред. В. М. Боголюбова. Вид. 2-ге, переробл. і доповн. – Київ: НУБіПУ, 2018. – 435 с.

20. Тишковець В. В. Сучасні проблеми моніторингу земель в Україні / В. В. Тишковець, В. М. Опара. - Харків: ХНАУ імені В. В. Докучаєва, 2009. - С. 126–134.
21. Петриченко В. Моніторинг земель як рятівний круг [Електронний ресурс] / В. Петриченко, С. Балюк, В. Медведєв // Урядовий кур'єр. – 2014. – Режим доступу: https://ukurier.gov.ua/uk/articles/monitoring-zemel-yak-ryativnij-krug/
22. Жолобак Г. М. Використання методів дистанційного зондування Землі для моніторингу агроресурсів України / Г. М. Жолобак // Космічна наука і технологія. - 2010. – Т. 16, № 6. - С. 16—23
23. Лабораторія аерокосмічного зондування агросфери [Електронний ресурс] / Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України. – Режим доступу: https://agroeco.org.ua/viddilennia-ahroekolohii/viddil-radioekologyi-i-dystantsijnogo-zonduvannya-landshaftiv/laboratoriia-aerokosmichnoho-zonduvan/
24. Мартин А. Реформування системи моніторингу земель в Україні: напрями та механізми / А. Мартин // Земельний вісник України. - 2017. - № 11. – С.22 – 24.
25. Land [Електронний ресурс]/ Copernicus. – Режим доступу: https://www.copernicus.eu/en/copernicus-services/land
26. Вольвач О. В. Агроекологічний моніторинг: Конспект лекцій / О. В. Вольвач – Одеса: Екологія, 2011. – 116 с.
27. Наукові дослідження з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь України за результатами X туру (2011–2015 рр.) / І. П. Яцук, І. С. Брощак, М. О. Венглінський [та ін.]; за редакцією І. П. Яцука. – Київ, 2018.
28. Дослідження грунтів і рослин в мережі моніторингових ділянок [Електронний ресурс] / Державна установа «Інститут охорони грунтів України». – Режим доступу: http://www.iogu.gov.ua/monitorynh-objektiv-dovkillya/monitorynhovi-dilyanky/
29. Балюк С. Інтеграція даних інформаційних систем управління грунтовими ресурсами / С. Балюк, М. Мірошниченко // Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. [«Моніторинг ґрунтів як невід'ємна частина моніторингу довкілля»] (Київ, 23-25 липн. 2019 р.). – К., 2019. – С. 8-11
30. Щепак В. В. Нормативно-правове забезпечення моніторингу земель / В. В. Щепак, А. М. Карюк, Г. І. Шарий [та ін.] // Бізнесінформ. Економіка природокористування. – 2018. - № 10. – С. 209 – 214.

31. Мониторинг землепользования: учебно-методическая документация [Электронный ресурс]. - Тюмень, 2015. – Режим доступа: https://karta.yanao.ru/eks/docs
32. Пространственные данные. Космическая съемка [Электронный ресурс] / Компания «Совзонд». – Режим доступа: https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/.
33. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук [и др.]. - Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 191 с. – Режим доступа: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchuk-perminova-tematicheskoe-deshifrovanie-i-interpretaciya-kosmicheskih-snimkov.pdf.
34. Гарнець С. В. Можливості приладів дистанційного зондування із супутників для вирішення завдань моніторингу земель сільськогосподарського призначення / С. В. Гарнець // Теорія і практика будівництва: наук.-техн. журн. – 2013. – Вип. 11. – С. 31 – 35.
35. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах : навч.-метод. посіб. / С. О. Довгий, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма [та ін.]. – К.: Національний центр «Мала академія наук України», 2020. – 268 с.
36. Лабутина И.А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ: методическое пособие / И. А. Лабутина, Е. А. Балдина. – М., 2011. – 88 с.
37. Марюшко М. В. Моніторинг сільськогосподарських культур із застосуванням космічних знімків SENTINEL-2 / М. В. Марюшко, Р. Е. Пащенко, Н. С. Коблюк // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2019. - №1 (89). – С. 99 – 108.
38. Цыганков Д. Н. Применение данных дистанционного зондирования для мониторинга использования земель сельскохозяйственного назначения / Д. Н. Цыганков, В. И. Сысенко // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. - 2012. - №2 (22). - С. 304 - 310.
39. Шинкаренко С. С. Технологии спутникового мониторинга состояния посевов / С. С. Шинкаренко, Е. А. Малышко // Научно-агрономический журнал. - 2019. - №1 (104). - С.17 – 20.
40. Космический мониторинг в сельском хозяйстве:брошюра / Компания Совзонд.

41. Вітровий А. О. Моніторинг земель із застосуванням сучасних технологій ДЗЗ та ГІС / А. О. Вітровий // Матеріали ІІІ Міжнар. науково-практичної конференції [«Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій землі: наслідки та шляхи вирішення»] (Київ, 11-12 червн. 2020 р.). – Херсон, 2020. – С. 54 – 57.
42. Пьянков С. В. Мониторинг состояния сельскохозяйственных культур в Пермском крае по данным дистанционного зондирования Земли / С. В. Пьянков, Н. А. Калинин, Е. М. Свиязов [и др.] // Вестник Пермского университета. Биология. - 2009. - №10 (36). - С. 147 – 153
43. Класифікування земного покриття за супутниковими даними MODIS для моніторингу посівів озимих зернових у межах адміністративних районів Київської та Миколаївської областей України / О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак, Г. А. Макарова [та ін.] // Космічна наука і технологія. - 2009. -15, № 5. - С. 16—23.
44. Лялько В. І. Оцінка посівних площ озимих культур за даними космічної зйомки з супутника Landsat на території Донецької області / В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов // Доповіді національної академії наук. - 2017. - № 6. – С. 51 – 57.
45. Сайб Е. А. Выявление разновозрастных залежей на эрозионно-опасных территориях юга Западной Сибири с применением геоинформационных технологий / Е. А. Сайб, А. Н. Безбородова, С. В. Соловьев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2020. - Т. 17, №4. -С. 129–136
46. Трофименко П. И. Использование данных дистанционного зондирования для оценки продуктивности озимой пшеницы в условиях Житомирского Полесья / П. И. Трофименко, В. И. Зацерковный, Е. В. Зубова, Н. В. Трофименко Т. Н. Мыслива // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. - №2. – С. 161 – 168.
47. Зацерковний В. І. Використання ГІС та ДЗЗ для моніторингу сільськогосподарських земель / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, В. В. Сергієнко // Чернігівський науковий часопис. Серія 2, Техніка і природа. Геодезія. – 2011. - № 2 (2). – С. 1 – 9.
48. Наблюдения земели [Електронний ресурс] / Продовольственная и сельскохозяственная организация объединенных наций. - Режим доступу: http://www.fao.org/giews/earthobservation/index.jsp?lang=ru

49. Супутниковий моніторинг об’єктів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elearn.nubip.edu.ua/pluginfile.php/508534/mod_resource/content/1/01.%20%D0%A1%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9%20%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3.pdf
50. Козубенко И. С. Использование материалов дистанционного зондирования Земли в единой Федеральной информационной системе о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) / И. С. Козубенко, Р. Р. Бегляров, Н. М. Вандышева // Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием [«Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве»] (Санкт-Петербург, 26–28 сент. 2018 г.). – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. – С. 19 – 25.
51. Вегетаційні індекси NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True Color [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cutt.ly/Uc9Vg4P.
52. Черепанов А. С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А. С. Черепанов, Е. Г. Дружинина // Геоматика. - 2009. – № 3. – С. 28 - 32.
53. Слободяник М. П. Прогнозування врожайності сільськогосподарських культур за матеріалами ДЗЗ та вегетаційними індексами / М. П. Слободяник // Вісник геодезії та картографії. Фотограмметрія і дистанційне зондування. - 2014. - № 6 (93). – С. 16 – 20.
54. Методи дистанційного оцінювання біофізичних параметрів лісових рослинних угруповань та агрофітоценозів в межах різних ландшафтно-кліматичних зон території України: заключний звіт про науково-дослідну роботу / В. І. Лялько та ін. Київ: ЦАКДЗ, 2016.
55. Шукилович А. Ю. Применение сенсора modis для оперативного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения / А. Ю. Шукилович, Е. В. Федотоваа, Ю. А. Маглинец // Журнал Сибирского Федерального университета. Инженерия и технологии. - 2016. - №9 (7). - С. 1035 – 1044.
56. Индексы растительности для полного анализа вегетации [Електронний ресурс]/ Earth observing system. – Режим доступу: https://eos.com/ru/blog/vegetaczionnye-indeksy/
57. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році [Електронний ресурс] / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. – Режим доступу: https://mepr.gov.ua/news/35937.html

58. Мартин А. Г. Проблеми охорони земель сільськогосподарського призначення в умовах завершення земельної реформи / А. Г. Мартин, О. В. Шевченко // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. Моніторинг та охорона земель – 2014. - №1-2. – С. 48 – 56.
59. Перович Л. М. Сутність моніторингу використання сільськогосподарських земель / Л. М. Перович, О. Р. Гулько // Землекористування. Збалансоване природокористування . – 2018. - № 2. – С. 118 – 121.
60. Сільське господарство в Україні | DLF attorneys-at-law [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://dlf.ua/ua/silske-gospodarstvo-v-ukrayini/
61. Балюк С. А. Екологічний стан ґрунтів України / С. А. Балюк, В. В. Медведєв, М. М. Мірошниченко [та ін.] // Український географічний журнал. Геоекологія. – 2012. - № 2. – С. 38 – 42.
62. Инструментарий QGIS для полуавтоматической классификации земель сельскохозяйственного возделывания по данным КА Sentinel [Електронний ресурс] / TVIS. – Режим доступу: https://www.tvis.com.ua/ru/news/semi-automatic-classification-plugin
63. Як обрати найкращий метод класифікації з навчанням? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.50northspatial.org/ua/pick-best-supervised-classification-method/
64. Курач Т. М. Методичні вказівки до виконання робіт із курсу «Тематичне картографування із застосуванням аерокосмічних методів» / Т. М. Курач, І. О. Підлісецька – К., 2019.
65. Рахматуллина И. Р. Экологическое картографирование: практикум / И. Р. Рахматуллина, З. З. Рахматуллин, А. А. Кулагин. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2018. – 84 с.
66. Чащин А. Н. Основы обработки спутниковых снимков в QGIS: учебно-методическое пособие / А. Н. Чащин. – Пермь: ИПЦ "ПрокростЪ", 2018. – 47 с.
67. EarthExplorer Brochure [Електронний ресурс]. - https://lta.cr.usgs.gov/EEHelp/EEBrochure
68. Жулканич О. М. Моніторинг земель сільськогосподарського призначення в системі аграрного природокористування / О. М. Жулканич, Н. О. Жулканич // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Економіка. - 2014. - Вип. 2. - С. 74 - 77.
69. Задачі вдосконалення моніторингу сільськогосподарських земель / С. В. Агаджанова, А. В. Толбатов, В. А. Толбатов [и др.] // Научное окружение современного человека: техника, информатика, архитектура, медицина,

сельское хозяйство: Книга 2. Часть 1: серия монографий. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2019. – 199 с.

70. Горбатюк В. М. Організаційно-технологічні особливості здійснення моніторингу земель на регіональному рівні [Електронний ресурс] / В. М. Горбатюк, К. В. Клименко// Геодезія, картографія і аерофотознімання. Кадастр і моніторинг земель. - 2007 – Вип. 69. - Режим доступу: http://vlp.com.ua/files/22_51.pdf
71. Мироненко М. Л. Використання фотограмметричних методів у моніторингу земель сільськогосподарського призначення / М. Л. Мироненко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції [«Геоінформаційне забезпечення земельного адміністрування: стан та перспективи розвитку»] (Харків, 2 квітн. 2020 року). - Х.: ХНУМГ, 2020. – С. 6 -7.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Спектральні канали знімальної системи Landsat-8 OLI

Табл. А. 1.

Спектральні канали знімальної системи Landsat-8 OLI

Landsat-8 OLI	
Номер канала	**Длины волн, мкм**
1 (Aerosol)	0,433 – 0,453
2 (Blue)	0,45 – 0,515
3 (Green)	0,525 – 0,60
4 (Red)	0,63 – 0,68
5 (NIR)	0,845 – 0,885
6 (SWIR)	1,56 – 1,66
7 (SWIR-2)	2,10 – 2,30
8 (Pan)	0,50 – 0,68
9 (SWIR – Cirrus)	1,36 – 1,39

ДОДАТОК Б

Характеристика синтезу каналів Landsat-8

Табл. Б. 1.

Характеристика синтезу каналів Landsat-8

Синтез каналів	Характеристика
4-3-2 (Red, Green, Blue) – «Природні кольори»	Застосовується для аналізу стану водних об'єктів і процесів седиментації, оцінки глибини і вивчення антропогенних об'єктів. Вирубки і розріджена рослинність визначаються погано. Хмари і сніг виглядають однаково білими і важко розрізняються. Крім того, тут важко відокремити один тип рослинності від іншого. Ця комбінація не дозволяє відрізнити мілководдя від грунтів. Об'єкти земної поверхні виглядають схожими на те, як вони сприймаються людським оком. Здорова рослинність виглядає зеленою, прибрані поля – світлими, нездорова рослинність – коричневою і жовтою, дороги – сірими, берегові лінії – біляві.
5-4-3 (NIR, Red, Green) - «штучні», або «червоні» кольори	Застосовується для вивчення стану рослинного покриву, моніторингу дренажу і грунтової мозаїки, вивчення сільськогосподарських культур. Насичені відтінки червоного є індикаторами здорової і (або) широколистяної рослинності, в той час як більш світлі відтінки характеризують трав'янисту рослинність або рідколісся / чагарники. Рослинність в цій комбінації має відтінки червоного, міська забудова – зелено-блакитні кольори, грунт – від темно до світло коричневого або сірого, лід, сніг і хмари – білі або світло блакитні. Хвойні ліси в порівнянні з листяними мають більш темно-червоне або навіть коричневе забарвлення.
7-5-3 (SWIR, NIR, Green)	Дана комбінація дуже корисна при аналізі пустель, може бути використана для вивчення сільськогосподарських земель і водно-болотних угідь. Пройдені пожежами території виглядають яскраво червоними. Міська забудова відображається у відтінках рожево-фіолетового. Здорова рослинність виглядає яскраво зеленою, трав'янисті співтовариства – зеленими, яскраво рожеві ділянки відповідають відкритому ґрунту, коричневі та оранжеві тони характерні для розрідженої рослинності. Сухостійна рослинність виглядає

	помаранчевою, вода – блакитною. Пісок, відкритий грунт і мінерали можуть бути представлені великим числом кольорів і відтінків.
5-6-2 (NIR, SWIR, Blue)	Додавання SWIR каналу забезпечує розрізнення віку рослинності. Здорова рослинність відображається у відтінках червоного, коричневого, оранжевого та зеленого. Грунти можуть виглядати зеленими або коричневими, урбанізовані території – білявими, сірими і зелено-блакитними, яскраво блакитний колір може виявляти нещодавно вирублені території, а червонуваті – відновлення рослинності або розріджену рослинність. Чиста, глибока вода буде виглядати темно синьою (майже чорною), для мілководдя або високиого вмісту суспензій в кольорі переважають світліші сині відтінки.
5-6-4 (NIR, SWIR, Red), «червоні кольори»	Застосовується для аналізу вологості, вивчення грунтів і рослинного покриву. В цілому, чим вище вологість грунтів, тим темніше вони будуть виглядати, що обумовлено поглинанням водою випромінювання ІЧ діапазону. Комбінація дозволяє чітко розрізнити кордон між водою і сушею і підкреслити приховані деталі, погано видимі при використанні тільки каналів видимого діапазону. З великою точністю будуть визначатися водні об’єкти всередині суші. Рослинність відображається в різних відтінках і тонах коричневого, зеленого і оранжевого.
7-6-4 (SWIR-2, SWIR-1, Red)	Застосовується для моніторингу пожеж, так як теплові аномалії виглядають червонуватими або жовтими. Також добре виділяються затоплені території. Вони мають темно-синій і майже чорний колір. Поглинуте випромінювання в середньому ІЧ діапазоні водою дозволяє чітко виділяти берегову лінію і водні об’єкти на знімку. Рослинність відображається у відтінках темно і світло зеленого, урбанізовані території виглядають білими, зелено-блакитними і малиновими, грунти, пісок і мінерали можуть мати багато різних кольорів.
6-5-4 (SWIR, NIR, R)	Зручний для вивчення рослинного покриву і широко використовується для аналізу стану лісових угруповань. Комбінація дає дуже багато інформації і колірних контрастів. Здорова рослинність виглядає яскраво зеленою, а грунти – рожево-ліловими. На відміну від синтезу 7-4-2, що включає канал SWIR2 і дозволяє вивчати геологічні процеси, ця комбінація дає можливість краще розрізняти і аналізувати сільськогосподарські угіддя.

ДОДАТОК В

Результат класифікації космічного знімка Landsat 8

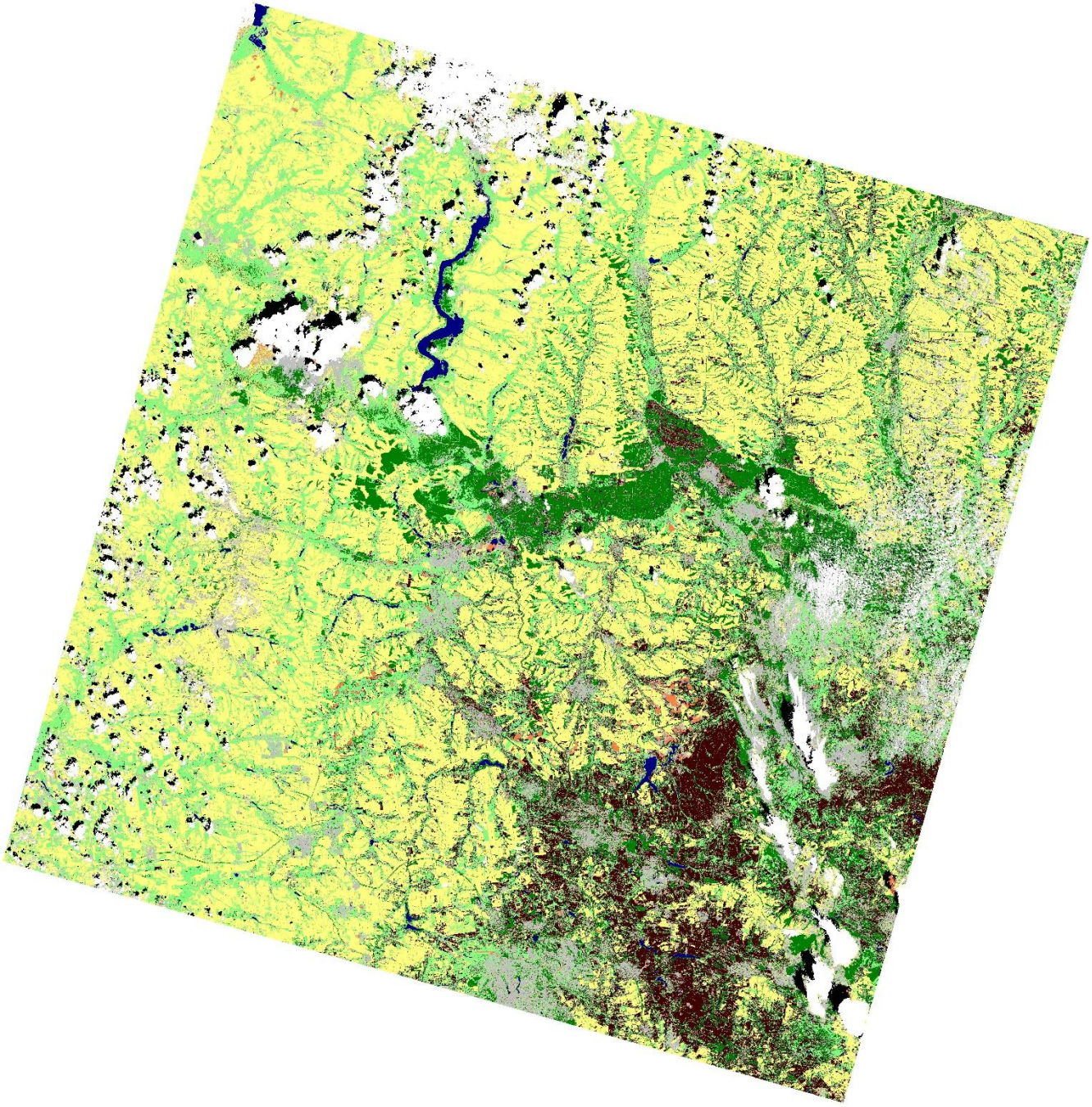

Рис. В.1.Результат класифікації космічного знімка Landsat 8 (176/026) 01.06.2019

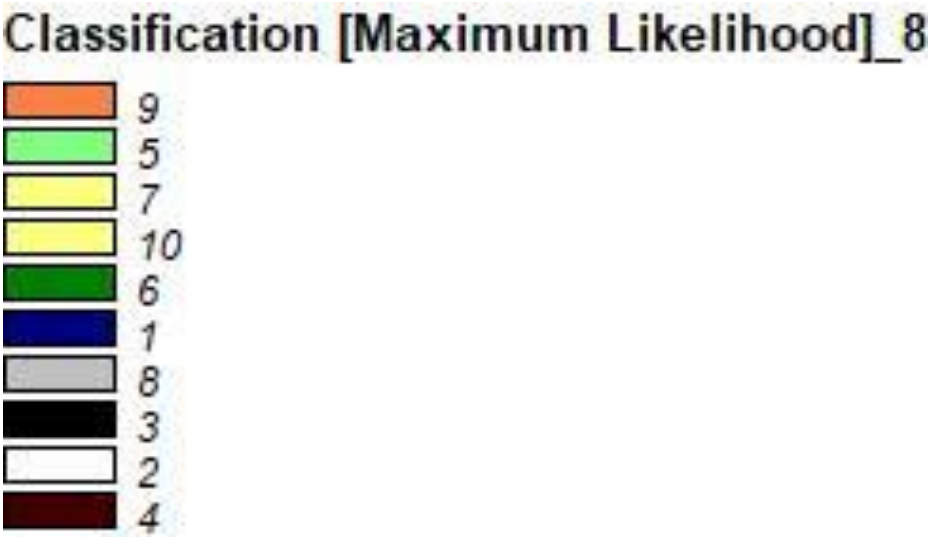

Рис. В. 2. Легенда до класифікованого знімку