МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Факультет геології, географії, рекреації і туризму

Кафедра фізичної географії та картографії

До захисту допустити
Зав. кафедри _____доцент Анатолій БАЙНАЗАРОВ
«____»_____2024 р.

КАРТОГРАФІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ (НА ПРИКЛАДІ ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Виконала: студентка 2-го курсу д.ф.н,
групи ГД- 21
спеціальність: 106 Географія
освітня програма: Картографія, геоінформаційні системи і дистанційне зондування Землі
Анастасія Романівна ГУЗЬ-МІШАТКІНА
Науковий керівник:
доцент, к.геогр.н. Борис ШУЛІКА

Кваліфікаційна робота захищена з оцінкою
_____
_____ *Голова ЕК Олександр САВВІЧ*
_____ *Секретар ЕК Тетяна БУЛГАКОВА*
«_____»_____2024 р.

Харків – 2024

ЗМІСТ

ВСТУП 3

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КАРТОГРАФІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ 7

1.1. Картографічні методи в сільському господарстві 7

1.2. Агрономічні карти: особливості створення та використання 10

1.3. Супутникові технології в сільському господарстві 13

1.4. Використання засобів картографії для оцінки екологічних ризиків у сільському господарстві 26

1.5. Геоінформаційні моделі для оцінки деградації ґрунтів через вирощування ріпаку. 30

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ 36

2.1. Супутниковий моніторинг стану посівів ріпаку 36

2.2. Використання NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) для оцінки стану рослинності 39

2.3. Геоінформаційні системи (ГІС) у моніторингу посівів ріпаку 43

2.4. Створення карт родючості ґрунтів 51

2.5. Вплив вирощування ріпаку на ґрунти та екосистему 55

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ КАРТОГРАФІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ 62

3.1. Характеристика ґрунтово-кліматичних умов регіону 62

3.2. Розробка картографічних матеріалів для моніторингу посівів ріпаку з використанням NDVI-індексу 66

3.3. Перспективи впровадження ГІС та супутникових технологій в аграрному секторі 77

3.4. Рекомендації щодо зменшення негативного впливу на навколишнє середовище 84

ВИСНОВКИ 88

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 90

ВСТУП

У сучасному сільському господарстві забезпечення ефективного управління земельними ресурсами та врожайністю є однією з основних передумов сталого розвитку аграрного сектору. Інноваційні підходи, зокрема використання картографічних методів, набувають особливої актуальності у контексті раціонального використання природних ресурсів та підвищення продуктивності вирощуваних культур. Тема кваліфікаційної роботи «Картографічне забезпечення сільськогосподарської діяльності на прикладі вирощування ріпаку» обрана з метою аналізу застосування картографічних методів у процесі вирощування ріпаку – стратегічно важливої культури для вітчизняного агропромислового комплексу. Використання картографічних даних дозволяє агрономам оптимізувати управління ресурсами, сприяючи підвищенню продуктивності та якості врожаю, зниженню витрат та зменшенню негативного впливу на довкілля.

Актуальність теми дослідження. Актуальність теми зумовлена зростаючим попитом на ріпак, який є важливим джерелом сировини для виробництва харчових продуктів, біопалива та кормів для тварин. Застосування сучасних картографічних методів у сільськогосподарському виробництві таких як топографічні карти, супутникові дані та індекси рослинності, дозволяє здійснювати більш точну оцінку стану полів, планувати посіви та контролювати стан врожаю протягом усього вегетаційного періоду, а також дає змогу вирішувати ключові завдання управління посівними площами та забезпечувати оптимальні умови для вирощування ріпаку. Завдяки цьому створюються можливості для точного планування агротехнічних заходів, моніторингу стану посівів, контролю за родючістю ґрунтів та управління іншими важливими факторами.

Сільськогосподарське виробництво ріпаку, як одного з найбільш затребуваних продуктів на світовому ринку, вимагає максимізації продуктивності

та мінімізації витрат ресурсів, зокрема добрив, водних ресурсів та обробки ґрунту. Актуальність дослідження посилюється також у контексті кліматичних змін, які спричиняють непередбачувані зміни в умовах вирощування сільськогосподарських культур.

Об'єктом дослідження є просторові особливості сільськогосподарської діяльності з вирощування ріпаку.

Предмет дослідження, це особливості картографування стану посівів ріпаку.

Метою роботи є системний аналіз можливостей впровадження картографічного забезпечення у вирощування ріпаку задля підвищення ефективності аграрного виробництва.

Для виконання та досягнення мети поставлені наступні **завдання:**

1. Проаналізувати теоретичні засади картографування, що застосовуються у сільському господарстві.
2. Проаналізувати специфіку вирощування ріпаку та визначення географічних, агрокліматичних і просторових факторів, що впливають на його продуктивність.
3. Дослідити можливості використання супутникових знімків, агрономічних карт та інших геопросторових даних для моніторингу стану посівів ріпаку та покращення управління сільськогосподарськими процесами.
4. Розробити картографічні матеріали для моніторингу посівів ріпаку, та оцінити значення індексу NDVI для контролю стану його вегетації.
5. Розробити рекомендації для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище, і оцінити агроекологічні умови регіону та потенціал його територій для сільськогосподарського виробництва.

Методологія дослідження. Під час написання роботи використовувалися наступні **методи**, зокрема, проведено аналіз наукової літератури та нормативно-правових актів, які регулюють використання картографічних методів у сільському господарстві. Застосовано методи аналізу супутникових знімків та

індексів рослинності для вивчення стану посівів ріпаку на різних стадіях його вегетаційного періоду. Укладання та аналіз агрономічних карт ґрунтувалися на даних ґрунтових досліджень та супутникових знімків.

Картографічні методи включали використання спеціалізованого програмного забезпечення для обробки геопросторових даних (GIS-системи), зокрема для створення карт родючості ґрунтів і супутникового моніторингу полів. Для оцінки продуктивності використаних методів було проведено кількісний аналіз результатів, що дозволяє зробити висновки щодо ефективності впровадження картографічних технологій у процес вирощування ріпаку.

Очікувані результати дослідження:

До теоретичних результатів можемо віднести узагальнення теоретичних основ картографічного забезпечення сільськогосподарської діяльності, та обґрунтування ролі геоінформаційних технологій і дистанційного зондування у вирішенні завдань сільського господарства.А також використання методики вирощування культури, при подальшому аналізу ґрунтових та кліматичних умов, для покращення управління сільськогосподарськими процесами.

Практичні результати, це: розробка картографічних матеріалів для підтримки процесів вирощування ріпаку (на прикладі Черкаської області), та підвищення ефективності вирощування культури через оптимізацію агротехнічних процесів за допомогою картографічного забезпечення.

Отримали подальший розвиток:

Використання сучасних картографічних методів, що є невід’ємною складовою сталого розвитку аграрного виробництва. Впровадження даних технологій сприяє підвищенню ефективності використання земельних ресурсів, адаптації аграрного сектору до кліматичних змін і збереженню довкілля. Оскільки напрацювання, отримані в межах цього дослідження, можуть бути використані як основа для подальшого розвитку картографічного забезпечення сільськогосподарської діяльності в Україні.

Апробація результатів дослідження. Матеріали кваліфікаційної роботи пройшли апробацію на захисті звітів з виробничої та переддипломної практик, і були представлені фаховою публікацією у журналі «Проблеми безперервної географічної освіти і картографії» (Випуск 35, 2022 р.) на тему: *«Вплив кліматичних змін на географічні умови вирощування ріпаку (на прикладі Харківської області)»,* а також доповідями та публікаціями на щорічній науковій конференції студентів та аспірантів, присвяченій пам'яті професора Г. П. Дубинського «Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи» (м. Харків) 2023 р. за темою: *«Зміна посівів ріпаку на території Харківської області»*, та 2024 р., тема: *«Геоінформаційний аналіз територій для вирощування ріпаку в умовах змін клімату».*

Структура та обсяг дипломної роботи. Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (71 найменування), 20 рисунків, 3 таблиць.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КАРТОГРАФІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

1.1. Картографічні методи в сільському господарстві

Історія людства показує, що використання картографії в сільському господарстві завжди було важливим для забезпечення сталого розвитку. Наприклад, у Давньоримській імперії топографічні карти використовувалися для побудови акведуків та іригаційних систем, що дозволяло збирати великі врожаї навіть на ділянках з обмеженим доступом до води. Це забезпечувало римлянам стабільність у постачанні продовольства та сприяло економічному зростанню імперії [31]. В епоху Відродження і Реформації в Європі вдосконалення топографічних і земельних карт значно підвищило продуктивність сільського господарства. Наприклад, у Франції після впровадження нових методів картографії та земельної реформи сільське господарство стало більш ефективним, що сприяло загальному піднесенню рівня життя [30].

З розвитком сучасних технологій карти стали ще більш детальними та точними завдяки використанню геоінформаційних систем (ГІС) та супутникових даних. Сучасні фермери використовують ці системи для створення інтерактивних карт своїх полів, які дозволяють не лише бачити рельєф і ґрунти, але й отримувати дані про поточний стан посівів, рівень вологості та поживних речовин у ґрунті. Це дає можливість приймати швидкі та точні рішення щодо догляду за врожаєм і оперативно реагувати на зміни кліматичних умов. Наприклад, у Канаді фермери використовують супутникові знімки для моніторингу стану полів, що дозволяє знижувати витрати на зрошення та оптимізувати внесення добрив [66]. Завдяки таким інноваціям, ефективність вирощування культур, включаючи ріпак, зростає, а екологічне навантаження на навколишнє середовище зменшується.

Зауважимо, що для використання топографічних та земельних карт для планування посівів є ключовим аспектом ефективного сільськогосподарського виробництва, адже ці карти надають точну інформацію про рельєф місцевості, водні ресурси та ґрунтові умови, що допомагає фермерам приймати обґрунтовані рішення. Топографічні карти відображають фізичні характеристики території, включаючи висоти, нахили, водні джерела та дренажні системи [36]. Це дозволяє передбачити розподіл води на полях під час дощів або зрошення, оцінити ризик ерозії та визначити оптимальні місця для розміщення систем іригації. Окрім цього, ці карти допомагають виявляти місця з різним ухилом для врахування водовідведення і уникнення застою вологи, який може пошкодити посіви (рис. 1.1). Висоти та нахили також впливають на температуру ґрунту, що важливо для культур, чутливих до кліматичних умов, таких як ріпак.

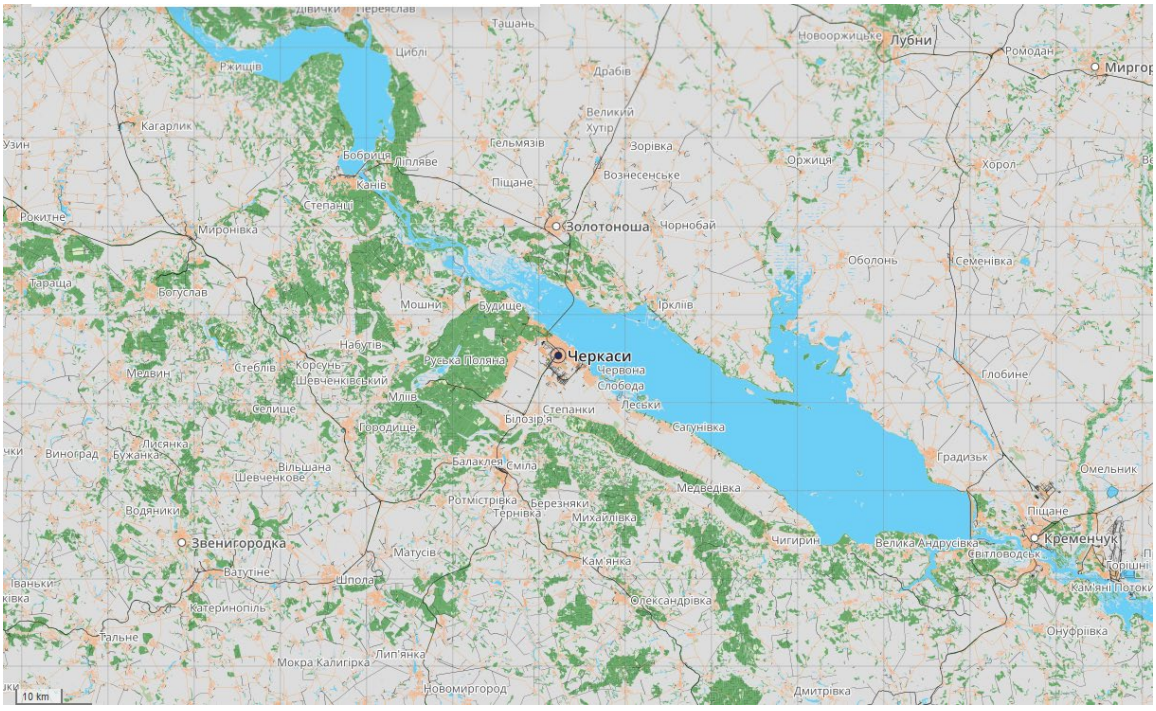

Рис 1.1. Приклад частини топографічної карти Черкаської області [40]

Земельні карти, у свою чергу, надають інформацію про типи ґрунтів, їх родючість, хімічний склад і здатність утримувати вологу. Це допомагає фермерам обирати найбільш придатні ділянки для вирощування певних культур. Наприклад, для ріпаку важливою є хороша дренованість ґрунту, здатність

утримувати достатню кількість вологи, але при цьому уникати надмірного зволоження, що може спричинити захворювання рослин. Різні типи ґрунтів мають різну здатність до утримання поживних речовин, що також слід враховувати під час планування сівозміни та внесення добрив. Ґрунти з високим вмістом органічних речовин зазвичай більш родючі, проте вони можуть вимагати специфічного підходу до обробки, щоб уникнути їх виснаження. Аналіз родючості також дозволяє ефективніше планувати витрати на добрива, оскільки можна точніше визначити потребу у внесенні тих чи інших поживних речовин (рис. 1.2).

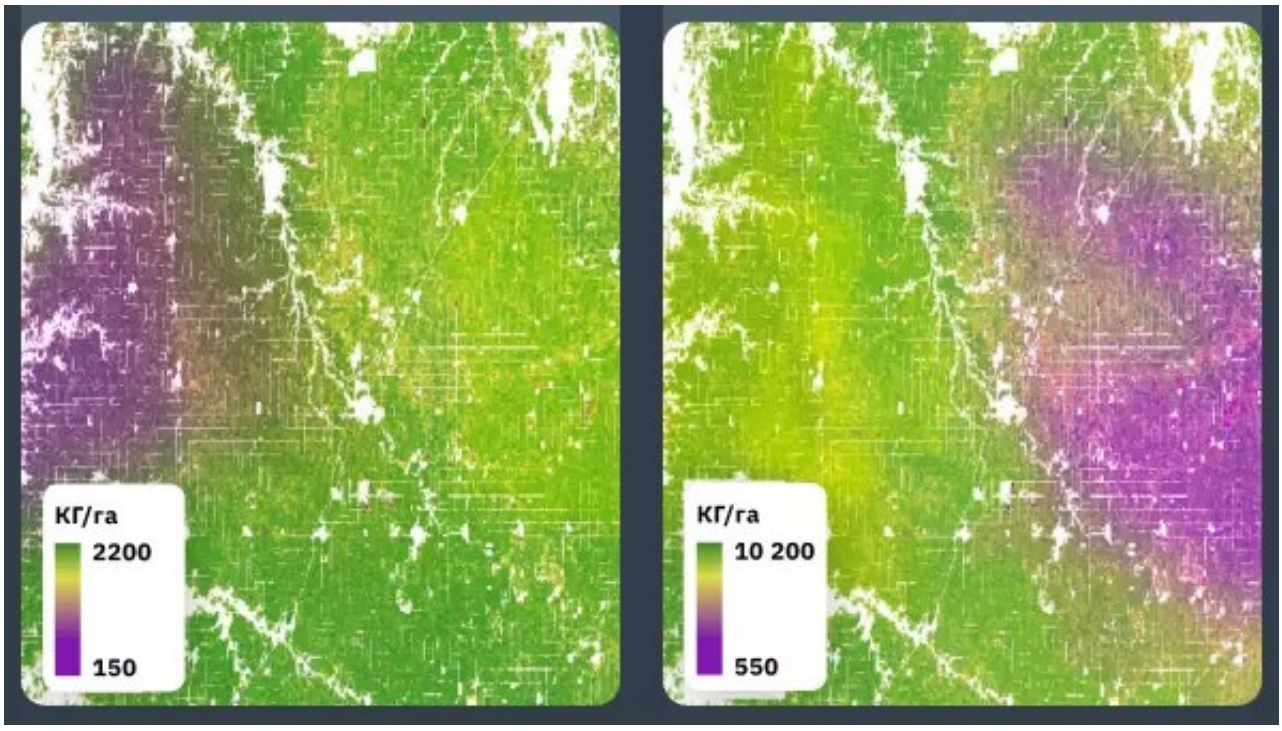

Рис 1.2. Приклад частини поля з розрахунком індексу продуктивності сільськогосподарських культур [16]

Застосування топографічних та земельних карт дозволяє аграріям інтегрувати ці дані для створення комплексної системи управління посівами. На основі аналізу рельєфу і ґрунтів можна розробити план агротехнічних заходів, який включає обробку землі, внесення добрив і вибір найкращих часів для посіву та збирання врожаю. Зокрема, на рівнинних територіях з хорошим дренажем можна вирощувати ріпак, що потребує регулярного зрошення, тоді як на схилах

з ризиком ерозії варто вирощувати культури, які менш чутливі до нестачі вологи та здатні утримувати ґрунт [67]. Такий підхід мінімізує ризики втрати врожаю через несприятливі природні умови та дозволяє максимально ефективно використовувати наявні ресурси [47].

Важливо зазначити, що використання карт для планування посівів дозволяє не лише збільшувати врожайність, але й підтримувати стале сільське господарство. Оптимальне використання земельних ресурсів допомагає уникати виснаження ґрунтів, а також зменшувати ерозійні процеси. Це особливо актуально в сучасних умовах зміни клімату, коли необхідно адаптувати методи обробки землі до нових викликів, таких як зміни в режимі опадів або підвищення температур. Карти стають основою для розробки таких адаптаційних стратегій, забезпечуючи аграріям необхідну інформацію для прийняття рішень щодо того, які культури вирощувати, як розміщувати посіви та коли найкраще здійснювати збирання врожаю [24].

У підсумку, використання топографічних та земельних карт у сільському господарстві є критично важливим для підвищення ефективності виробництва та стійкості до природних викликів. Історичні приклади карти показують, що карти завжди відігравали вирішальну роль у розвитку сільського господарства, а сучасні технології ще більше розширюють їхній потенціал, дозволяючи фермерам краще планувати свої дії та досягати стабільно високих результатів [22].

1.2. Агрономічні карти: особливості створення та використання

Агрономічні карти є надзвичайно цінним інструментом для сучасного сільського господарства, оскільки вони надають детальну інформацію про стан ґрунтів, специфіку рельєфу, рівень родючості, вологість, поширеність рослинності та навіть вплив кліматичних умов на конкретних ділянках. Завдяки такій інформації агрономи та фермери можуть ефективно планувати та

контролювати процеси посіву, обробітку та збору врожаю. Створення агрономічних карт базується на широкому спектрі даних, які отримуються через різні джерела, включаючи супутникову зйомку, аерофотозйомку, ґрунтові проби, кліматичні датчики та дані, зібрані дронами.

Для точного зображення умов полів ці карти створюються за допомогою геоінформаційних систем (ГІС), які дають можливість поєднувати просторові дані з інформацією про ґрунтовий та агротехнічний стан полів. ГІС-технології допомагають аналізувати великі обсяги геопросторових даних та з високою точністю відображати різні параметри полів, від зміни рівня зволоження до кислотності ґрунту та його механічного складу [38]. Зокрема, агрономічні карти дозволяють ідентифікувати ділянки з різними рівнями родючості та придатності до вирощування конкретних культур, наприклад, ріпаку, що важливо для підвищення ефективності використання ресурсів.

Іншим значущим аспектом є можливість динамічного моніторингу стану полів протягом усього вегетаційного періоду. Використання супутникових даних або безпілотників забезпечує доступ до високоякісних знімків, які можна регулярно оновлювати та аналізувати. Це дозволяє фіксувати зміни в стані рослинності, виявляти ділянки стресу (наприклад, через нестачу вологи, хвороби або шкідників) та оперативно реагувати на такі проблеми. Наприклад, при виявленні зон із зниженим рівнем NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), що є індикатором фотосинтетичної активності рослин, агрономи можуть вчасно вжити заходів, таких як полив, підживлення або обробка рослин (рис. 1.3).

Агрономічні карти відіграють важливу роль в оптимізації агротехнічних заходів, таких як внесення добрив і засобів захисту рослин. Вони надають точну інформацію про стан кожної ділянки поля, дозволяючи адаптувати агрозаходи до локальних умов. Наприклад, використання агрономічних карт для управління ґрунтовою кислотністю було впроваджено у дослідженнях Ґ. Брейді та Р. Вейля (2002), які акцентували увагу на важливості вапнування для регулювання pH ґрунту в умовах підвищеної кислотності.

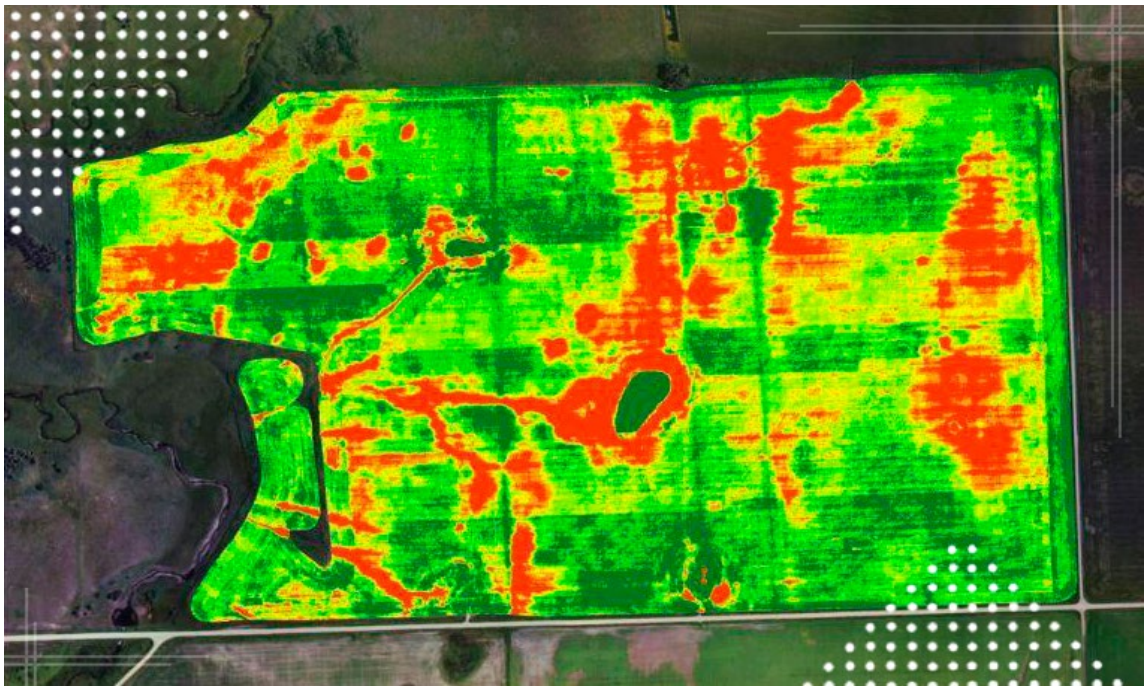

Рис. 1.3. Приклад NDVI зображення [38]

Такі карти також стають важливим інструментом для зменшення витрат у вирощуванні культур. Згідно з роботами К. Кукера (2011), правильна оптимізація норм внесення добрив на основі картографічних даних дозволяє не лише знизити витрати на агрохімію, але й мінімізувати ризик надлишкового використання азоту, що сприяє зменшенню забруднення водних ресурсів.

Для ділянок із високим ризиком ерозії агрономічні карти дозволяють запланувати сівозміну, враховуючи особливості рельєфу та структури ґрунту. Наприклад, дослідження Б. Рузелла (2005) демонструють, що інтеграція даних про ризики ерозії та систем сівозміни сприяє значному уповільненню деградаційних процесів. Це особливо актуально для районів із нахилами, де рекомендовано застосовувати технології мінімального обробітку ґрунту або висадку покривних культур.

Крім того, карти дозволяють зосередити увагу на мікрозонах із різним рівнем родючості. Наприклад, для ділянок із дефіцитом калію карти допомагають визначити точкове внесення відповідних добрив. За словами Дж. Говарда (2018), це не лише покращує ефективність рослинного покриву, але й сприяє збільшенню рентабельності вирощування культур.

Таким чином, використання агрономічних карт створює умови для стійкого сільського господарства, забезпечуючи раціональне використання ресурсів і зменшуючи вплив на навколишнє середовище. Вони є незамінним інструментом сучасного агровиробництва, що поєднує економічну ефективність із екологічною відповідальністю.

Також ці карти важливі для довгострокового стратегічного планування, адже вони фіксують зміни в родючості ґрунту, наявність дефіцитів поживних речовин та сліди деградації на окремих ділянках. Це дозволяє агрономам відстежувати та прогнозувати тенденції у стані земельних ресурсів, щоб розробляти більш стійкі підходи до їх використання. У перспективі, агрономічні карти можуть зберігати історичні дані про стан полів, що є основою для аналізу змін у продуктивності земель, забезпечуючи таким чином не лише короткострокову користь, але й довготривалу ефективність та стійкість агровиробництва.

Таким чином, агрономічні карти об’єднують у собі поточний моніторинг, планування ресурсів та стратегічний аналіз, дозволяючи аграріям приймати обґрунтовані рішення щодо управління посівами. Їхнє використання допомагає вирішити одночасно економічні, екологічні та виробничі завдання, підвищуючи продуктивність сільського господарства та зменшуючи негативний вплив на довкілля.

1.3. Супутникові технології в сільському господарстві

Супутникові дані збираються за допомогою різноманітних орбітальних платформ, що надає можливість здійснювати моніторинг Землі з космосу. Одним із основних принципів збору супутникових даних є розташування супутників на різних орбітах, що визначає їх функціональні можливості і сферу застосування.[58]Геостаціонарні супутники розміщуються на висоті приблизно 36 000 кілометрів над екватором і мають таку саму швидкість обертання, як і

Земля. Це дозволяє їм постійно спостерігати одну і ту саму область планети, що особливо важливо для метеорологічних досліджень та передачі сигналів у режимі реального часу (рис. 1.4).

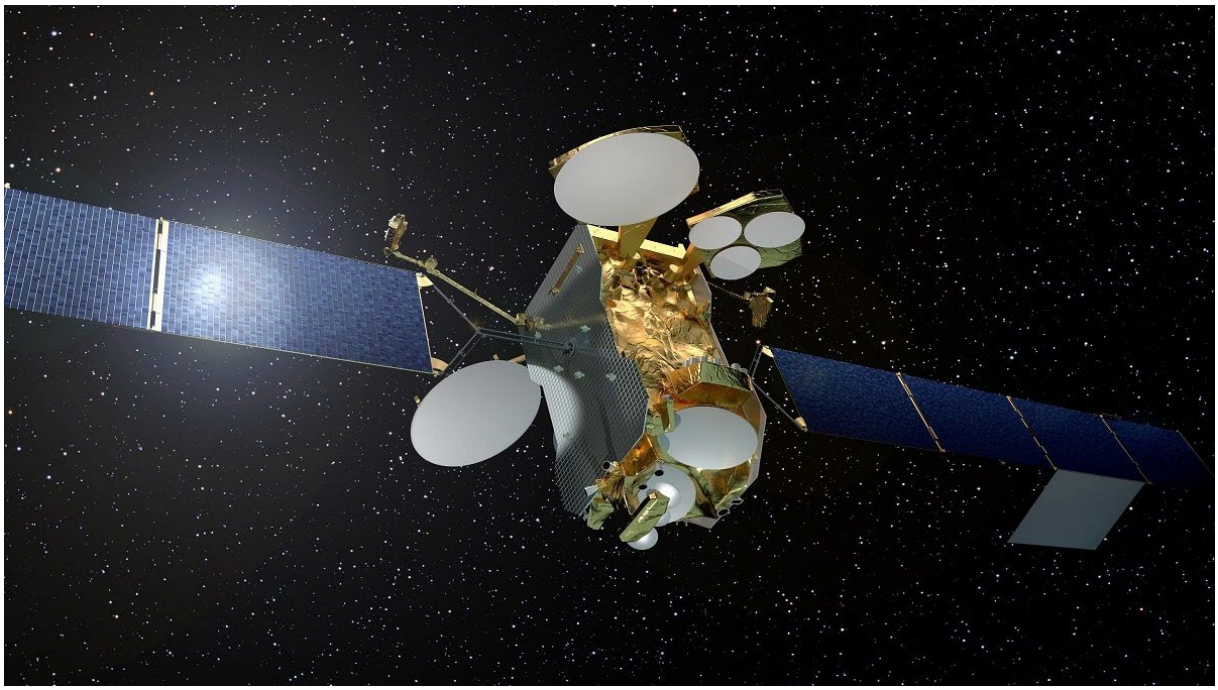

Рис 1.4. Приклад геостаціонарного супутника [59]

На відміну від геостаціонарних, супутники на низькій навколоземній орбіті (LEO) розташовуються на висоті від 200 до 2000 кілометрів, що дозволяє отримувати більш деталізовані зображення. Завдяки ближчому розташуванню до поверхні Землі, ці супутники можуть здійснювати високоточні знімки з високою роздільною здатністю, що робить їх особливо корисними для картографії, військового та екологічного моніторингу. Такі супутники швидко обертаються навколо Землі, і протягом доби можуть покривати всю її поверхню.

Існують також полярно-орбітальні супутники, які переміщуються від одного полюсу до іншого, дозволяючи охопити всі широти і збирати глобальні дані. Кожен їхній оберт забезпечує знімки нових смуг поверхні Землі, що дозволяє їм повністю охопити планету протягом декількох діб. Це особливо важливо для кліматичних досліджень та моніторингу змін в екосистемах [39].

Збирання даних відбувається завдяки використанню різних типів сенсорів, серед яких основними є оптичні, радарні та теплові. Оптичні сенсори

працюють у видимому та інфрачервоному діапазоні, що дає можливість отримувати зображення високої якості при хороших погодних умовах. Вони широко використовуються для спостережень за станом рослинності, водними ресурсами, ґрунтами. Однак, через залежність від погодних умов, оптичні сенсори мають обмеження в умовах хмарності.

Радарні сенсори, на відміну від оптичних, можуть функціонувати незалежно від погодних умов та часу доби, оскільки використовують активний радіолокаційний сигнал. Це дозволяє отримувати зображення навіть у хмарних умовах або вночі. Радарні дані корисні для спостереження за змінами поверхні, такими як деформації ґрунтів, рух льодовиків, або для відстеження наслідків стихійних лих, наприклад, землетрусів чи повеней.

Теплові сенсори вимірюють температуру поверхні та випромінювання, що дозволяє досліджувати кліматичні процеси, виявляти лісові пожежі або теплові забруднення. Дані теплового зондування широко використовуються в агрономії для аналізу водного стресу рослин або моніторингу стану врожаю.

Важливим аспектом збору супутникових даних є їх обробка та калібрування. Після отримання зображень, дані проходять первинну обробку, під час якої видаляються шуми і коригуються похибки, пов’язані з атмосферними впливами чи кутом зйомки. Потім дані проходять геометричну корекцію для точного співвідношення з географічними координатами. Це забезпечує точність вимірювань і дозволяє застосовувати дані для різних дослідницьких та практичних задач.

Ще один важливий принцип – це інтеграція супутникових даних із наземними спостереженнями. Наприклад, дані з радіометрів, розміщених на землі, використовуються для уточнення та верифікації супутникових знімків. Такий підхід підвищує точність прогнозів та дозволяє більш глибоко аналізувати різні природні процеси.

Таким чином, принципи збору супутникових даних базуються на взаємодії між різними типами супутників та сенсорів, їх калібруванні та

інтеграції з іншими джерелами інформації. Це дозволяє отримувати точні та актуальні дані, які є основою для наукових досліджень, екологічного моніторингу, управління ресурсами та прийняття рішень у багатьох галузях людської діяльності.

Щодо супутників, то вони надають унікальну можливість спостерігати за великими площами землі з високою точністю та регулярністю, що дозволяє аграріям приймати обґрунтовані рішення щодо управління полями, зменшення витрат і підвищення врожайності.

Система Landsat. Система Landsat була започаткована NASA у співпраці з Геологічною службою США (USGS) ще у 1972 році й є найтривалішою програмою дистанційного зондування Землі. Супутники цієї серії забезпечують безперервне спостереження за поверхнею Землі, дозволяючи аналізувати зміни протягом багатьох десятиліть. У сільському господарстві це особливо важливо, оскільки на основі тривалих спостережень можна оцінити довготривалі тенденції в розвитку культур та стані ґрунтів [68].

Сучасні супутники серії, такі як Landsat 8 (рис. 1.5) та Landsat 9, обладнані багатоспектральними сенсорами, які здатні фіксувати відбиття світла в різних частинах спектра, включаючи видиме, інфрачервоне та теплове випромінювання. Це відкриває можливість використовувати індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) для визначення стану рослинності, виявлення зон, які потребують уваги, та швидкого реагування на проблеми. За допомогою Landsat можна аналізувати такі фактори, як рівень вологості ґрунту або стан здоров'я рослин. Просторова роздільна здатність цих супутників становить близько 30 метрів на піксель, що дозволяє виявляти проблемні зони на полях з достатньою деталізацією [69; 70].

Частота зйомки Landsat одного й того ж регіону становить близько 16 днів, що забезпечує регулярне оновлення інформації. Це дає змогу аграріям спостерігати за розвитком рослин у різні етапи росту та своєчасно виявляти негативні зміни, що допомагає уникати значних втрат врожаю.

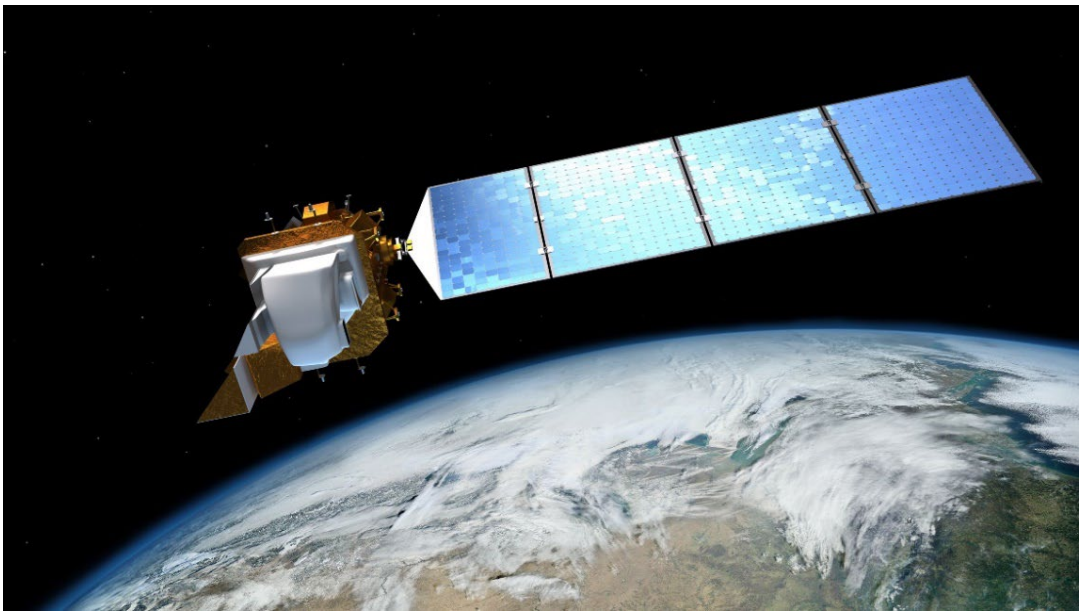

Рис. 1.5. Супутник Landsat 8 [61]

Система Sentinel. Супутникова програма Sentinel, створена Європейським космічним агентством (ESA) у рамках програми Copernicus, включає кілька спеціалізованих супутників, кожен з яких має свої завдання. Найбільш застосовувані в аграрному секторі супутники цієї програми – це Sentinel-2 і Sentinel-1 (рис. 1.6).

Sentinel-2 складається з двох супутників (Sentinel-2A і Sentinel-2B), які оснащені багатоспектральними камерами, що охоплюють 13 спектральних каналів з роздільною здатністю від 10 до 60 метрів. Вони здатні зчитувати дані, чутливі до змін у хлорофілі, що дозволяє точно аналізувати стан рослин. Завдяки короткому інтервалу зйомок (приблизно кожні 5 днів), Sentinel-2 надає майже актуальну інформацію про стан посівів, що дозволяє аграріям швидко реагувати на зміни і коригувати свої дії.

Sentinel-1, своєю чергою, є радарним супутником, який працює в діапазоні C-Band. Радарна зйомка дає змогу здійснювати спостереження незалежно від погодних умов і часу доби, оскільки радарні хвилі проходять крізь хмари. Це особливо корисно у періоди рясних опадів або в регіонах з високою хмарністю, де звичайна оптична зйомка була б неможливою. Дані, отримані від Sentinel-1,

широко застосовуються для оцінки рівня вологості ґрунтів, що є ключовою інформацією для прийняття рішень щодо поливу чи інших агротехнічних заходів.

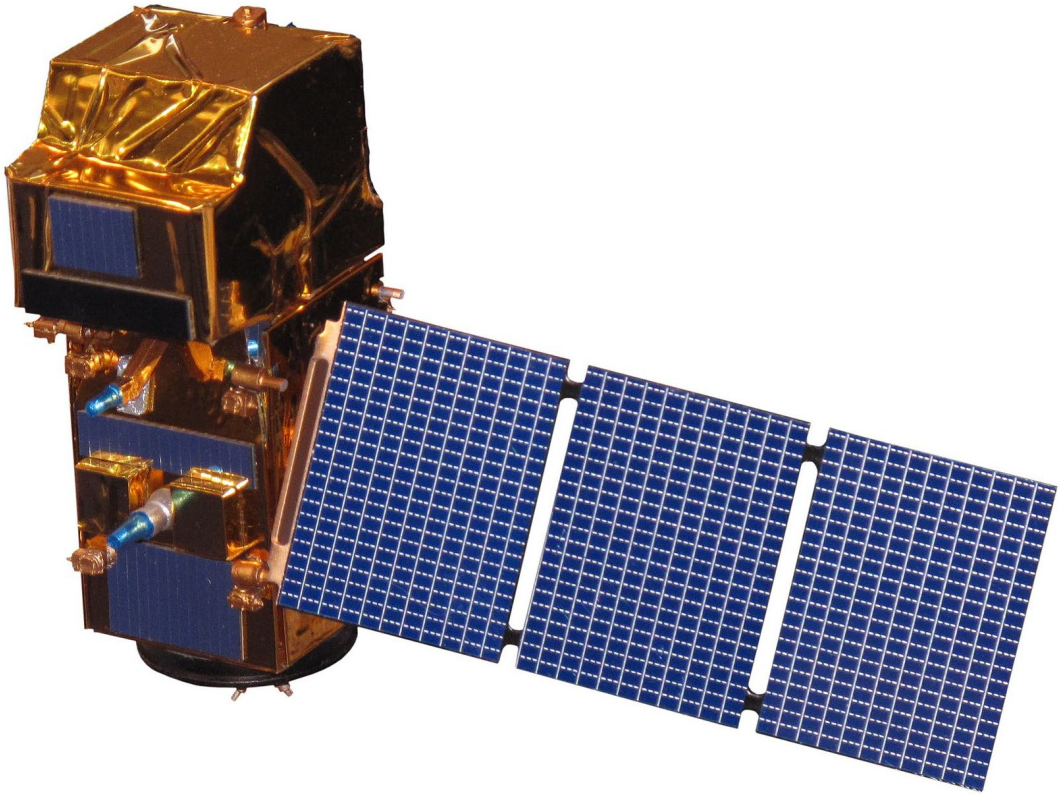

Рис. 1.6. Супутник Sentinel-2B [71]

Порівняння Landsat і Sentinel для аграрного сектору. Обидві супутникові системи – Landsat і Sentinel – мають значні переваги для сільськогосподарського застосування. Sentinel-2 переважає за частотою оновлення даних (5 днів проти 16 днів у Landsat), що дає змогу аграріям отримувати більш оперативну інформацію про стан полів. У той же час Landsat забезпечує довготривалі дані, що дозволяє проводити порівняльний аналіз з багаторічною ретроспективою.

Landsat і Sentinel-2 підтримують індекси рослинності, такі як NDVI, для оцінки здоров’я культур. Однак, Sentinel-2 завдяки розширеному спектру може надавати додаткову інформацію, наприклад, про рівень хлорофілу в рослинах, що дозволяє більш точно аналізувати стан і здоров'я посівів.

Завдяки радарним даним Sentinel-1 система надає гнучкість у моніторингу, що не завжди можливе лише за допомогою оптичних супутників.

Це особливо корисно для регіонів з частими дощами та високою хмарністю, де звичайна зйомка була б недоступна.

Обидві системи використовують багатоспектральні сенсори, що дозволяють проводити детальний аналіз сільськогосподарських культур за допомогою індексів рослинності, таких як NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) та EVI (Enhanced Vegetation Index).

Додаткові супутникові системи для аграрного сектору. Окрім Landsat і Sentinel, на ринку, також існують інші супутникові сервіси, які можуть бути корисними в аграрному секторі. Приватні компанії, такі як Planet Labs і Maxar, надають знімки з дуже високою роздільною здатністю, що дозволяє аграріям відслідковувати зміни на полях з точністю до 3 метрів і менше. Висока деталізація забезпечує можливість точкових спостережень, однак доступ до таких даних зазвичай платний, на відміну від Landsat і Sentinel, які є безкоштовними.

Planet Labs використовує мікросупутники, що щоденно охоплюють всю поверхню Землі, що дозволяє отримувати інформацію практично в реальному часі. Maxar, зі своїми супутниками з роздільною здатністю до 30 см, дозволяє спостерігати деталі на рівні окремих ділянок. Ці дані стають особливо корисними для точного моніторингу полів та планування агротехнічних заходів.

Супутникові технології дедалі частіше використовуються у сільському господарстві, особливо для моніторингу врожайності таких культур, як ріпак. Ріпак є однією з важливих олійних культур, яка потребує ретельного управління та моніторингу для досягнення стабільної врожайності [1]. Вирощування ріпаку залежить від численних факторів, таких як стан ґрунтів, погодні умови, наявність вологи та рівень внесення добрив [59]. Супутникові дані дозволяють фермерам отримати точну інформацію про ці параметри та допомагають приймати оптимальні рішення щодо догляду за посівами ріпаку.

1. Види супутникових даних для моніторингу ріпаку.

Супутникові системи, такі як Sentinel-2 та Landsat-8, надають багатоспектральні знімки, що дозволяють аналізувати розвиток і стан посівів ріпаку в різні фази вегетаційного циклу. Ці супутники оснащені сенсорами, які знімають у видимому та інфрачервоному діапазонах, а це важливо для оцінки здоров'я рослин, кількості зеленої маси, вмісту хлорофілу та рівня фотосинтетичної активності. Унікальність таких даних полягає в тому, що вони дозволяють регулярно моніторити розвиток рослин на великих площах без необхідності фізичної присутності на полі.

В Україні такі підходи знайшли широке застосування в агрономічних дослідженнях. Наприклад, фахівці Інституту агроекології та природокористування НААН використовують супутникові знімки для моделювання врожайності основних культур, у тому числі ріпаку [12]. У дослідженнях, опублікованих українськими науковцями (зокрема, В. О. Тарасова та колегами, 2021), Sentinel-2 було використано для аналізу динаміки вегетації на основі індексу NDVI [14]. Результати показали високу кореляцію між супутниковими даними та реальними агрономічними показниками на полі.

Крім того, у рамках проектів з цифровізації сільського господарства в Україні, таких як "AgriSat-UA", проводиться систематичний збір та аналіз даних Sentinel-2 для моніторингу стану рослинності та управління ресурсами. Наприклад, у Черкаській області цей підхід дозволив ідентифікувати зони ризику, де спостерігалися проблеми зі зволоженням ґрунту або нерівномірним розвитком рослин.

Дослідники із Сумського національного аграрного університету активно використовують дані Landsat-8 у своїх роботах з вивчення впливу сівозміни та удобрення на врожайність ріпаку. У статті за авторством О. І. Коломійця (2020) відзначається, що поєднання супутникового моніторингу з наземними агрономічними вимірюваннями дозволяє суттєво підвищити точність прогнозування врожайності, що є критично важливим для регіонів із ризикованим землеробством.

Основними типами даних для моніторингу врожайності є спектральні індекси, що розраховуються на основі супутникових знімків. Найпоширенішими є NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який відображає загальний стан рослинності, та EVI (Enhanced Vegetation Index), який є чутливішим до щільних насаджень і дозволяє краще аналізувати розвиток культурних рослин, таких як ріпак. Окрім того, на основі інфрачервоних каналів можна оцінювати вміст вологи у ґрунті, що є важливим показником для визначення потреби в зрошуванні.

2. Індекси рослинності для виявлення проблем.

Для аналізу стану ріпаку на супутникових зображеннях часто використовуються індекси рослинності, оскільки вони дозволяють точно оцінити здоров'я культур, рівень фотосинтетичної активності, вміст хлорофілу та інші фактори. Найбільш поширеними є:

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): це один з найбільш використовуваних індексів для оцінки здоров'я рослин. Він розраховується на основі різниці між інфрачервоним та червоним діапазонами спектру. Високі значення NDVI свідчать про гарний стан рослин, а низькі значення можуть вказувати на стресові умови, такі як посуха, хвороби чи шкідники.

EVI (Enhanced Vegetation Index): цей індекс є чутливішим до густоти рослинності, тому він є особливо корисним для сільськогосподарських культур, таких як ріпак, де важливо точно визначити рівень покриття рослинами.

Використання цих індексів дозволяє виявити проблемні ділянки на полі, де рослинність не розвивається нормально, що може свідчити про наявність шкідників, недостатню кількість вологи чи нестачу поживних речовин.

3. Аналіз фаз росту ріпаку за допомогою супутникових даних.

Моніторинг ріпаку за допомогою супутникових зображень дозволяє ефективно оцінювати його розвиток на кожному етапі росту. У різні періоди вегетаційного циклу рослини вимагають різного догляду та підходів до управління. Зокрема, на початкових етапах важливо контролювати рівень

вологості ґрунту, щоб забезпечити оптимальні умови для сходів. Супутникові дані допомагають оцінити вологість та щільність сходів, що може вказати на необхідність додаткового поливу чи змін у застосуванні добрив.

На етапах активного росту, коли відбувається максимальний набір біомаси, індекси, такі як NDVI та EVI, дозволяють визначати, наскільки добре рослини забезпечені поживними речовинами. Цей період є критичним, оскільки нестача елементів живлення може призвести до значних втрат у врожайності. Внесення додаткових добрив або корекція режиму зрошення на основі супутникових даних дозволяє швидко реагувати на зміни в стані посівів.

Під час цвітіння і дозрівання ріпаку супутниковий моніторинг може допомогти визначити ділянки, які зазнали стресу від посухи чи надмірної вологості. За допомогою термальних сенсорів, доступних на деяких супутникових платформах, можна також виявляти підвищення температури рослинного покриву, що вказує на водний стрес [11]. Це є сигналом для аграріїв щодо можливих проблем у деяких частинах поля, які потребують додаткових заходів з управління.

4. Прогнозування врожайності ріпаку.

Супутникові дані дозволяють створювати точні моделі для прогнозування врожайності ріпаку. Використання таких моделей базується на історичних даних щодо розвитку рослинності, кліматичних умов та врожайності. За допомогою алгоритмів машинного навчання та супутникових даних агрономи можуть прогнозувати потенційний урожай ще до збору врожаю. Ці прогнози допомагають фермерам планувати логістику, ресурси та економічні витрати.

Окрім прямих показників стану рослинності, у прогнозуванні врожайності враховують дані про погодні умови, зокрема кількість опадів, температуру повітря, тривалість сонячного освітлення. Такі дані в сукупності з супутниковими індексами дозволяють краще зрозуміти, як зовнішні умови впливають на кінцевий урожай. Моделі, що базуються на супутникових даних,

дозволяють також оцінювати вплив різних агротехнічних заходів на врожайність, даючи змогу аграріям оптимізувати процеси виробництва.

5. Порівняння зображень для виявлення змін у стані посівів.

Одним із найбільш ефективних методів виявлення проблем є порівняння супутникових зображень, отриманих на різних етапах вегетаційного циклу ріпаку. Це дозволяє відслідковувати зміни в стані рослин і реагувати на них у реальному часі. Наприклад:

Зображення раннього весняного періоду дозволяють оцінити стан сходів та рівень розвитку кореневої системи ріпаку. Якщо індекс NDVI залишається низьким на початку весняного періоду, це може вказувати на проблеми з проростанням, спричинені холодними умовами або низьким рівнем вологості ґрунту.

Літнє зображення дозволяють виявити ділянки з високим рівнем стресу, які можуть бути спричинені посухою або надмірним зволоженням. Якщо в цей період індекс NDVI знижується, це може свідчити про нестачу води або високу температуру, що негативно позначається на рості рослин.

Зображення в період цвітіння та дозрівання дозволяють оцінити загальний стан врожаю, визначити, чи є проблеми, такі як захворювання чи шкідники. Порівняння зображень з різних дат дає можливість аграріям точно визначити, на яких ділянках потрібно вжити заходів, щоб запобігти втратам врожаю.

Застосування таких методів дозволяє вчасно виявляти проблеми, наприклад, відсутність зрошення, вплив шкідників чи хвороб, і негайно вживати заходів для корекції ситуації.

6. Виявлення проблемних зон і управління ресурсами.

Супутникові знімки допомагають фермерам виявляти проблемні ділянки на полях, що можуть негативно вплинути на врожайність. Використання індексів рослинності дозволяє точно визначити зони з нерівномірним ростом, які потребують додаткової уваги. Наприклад, ділянки з низьким індексом NDVI

можуть свідчити про брак поживних речовин або наявність шкідників. Завдяки цьому фермери можуть вчасно провести цільове внесення добрив чи обробку пестицидами саме на проблемних ділянках, що зменшує витрати на хімікати та знижує вплив на навколишнє середовище.

Розумне управління ресурсами, як-от водою та добривами, є важливою складовою сталого агровиробництва. Супутниковий моніторинг дозволяє уникати надмірного поливу чи надлишкового внесення добрив, оптимізуючи їх використання залежно від потреб конкретної ділянки. Це не лише знижує виробничі витрати, а й запобігає негативним екологічним наслідкам.

7. Використання безкоштовних супутникових даних для моніторингу ріпаку.

На сьогоднішній день існує декілька супутникових платформ, які надають безкоштовний доступ до даних дистанційного зондування. Серед них найбільш популярними є програми Sentinel (Європейського космічного агентства) та Landsat (NASA). Дані, які надають ці супутники, можна використовувати для різних аналітичних завдань у сільському господарстві, зокрема для моніторингу врожайності ріпаку.

Sentinel-2 є одним з найчастіше використовуваних супутників для сільського господарства завдяки високій частоті оновлення знімків (кожні 5 днів) і можливості зйомки у 13 спектральних каналах. Це дозволяє отримувати точну і свіжу інформацію про стан посівів і забезпечує можливість оперативного моніторингу. Landsat-8 та Landsat-9 надають знімки з роздільною здатністю 30 метрів кожні 16 днів, що також є важливим ресурсом для відстеження довготривалих змін у розвитку культур.

Дані з супутників Sentinel-1 (радарний супутник) особливо корисні для спостереження в умовах хмарності або недостатньої освітленості. Це забезпечує безперервний моніторинг полів навіть у несприятливих погодних умовах. Sentinel-1 використовується для аналізу вологості ґрунтів і дозволяє вчасно визначати потребу в додатковому поливі.

8. Перспективи розвитку супутникових технологій для моніторингу ріпаку.

З кожним роком супутникові технології для моніторингу сільськогосподарських культур стають дедалі доступнішими та точнішими. Прогрес у галузі штучного інтелекту та обробки великих даних відкриває нові можливості для прогнозування врожайності та управління ризиками. Із розвитком приватних супутникових компаній, таких як Planet Labs і Maxar, на ринку з’являються дані з надвисокою роздільною здатністю, що дозволяє більш детально моніторити поля.

У перспективі застосування супутникових даних у поєднанні з безпілотниками та сенсорами, встановленими на полях, дозволить створювати комплексні системи управління полями, які будуть враховувати всі фактори, що впливають на ріст і врожайність ріпаку. Це дозволить аграріям оптимізувати ресурси, покращити якість продукції та зменшити вплив на навколишнє середовище.

9. Виявлення хвороб та шкідників за допомогою супутникових зображень.

Супутникові зображення також можуть бути корисними для виявлення поширення хвороб та шкідників, що негативно впливають на врожайність ріпаку. Наприклад, змінений колір або текстура рослин, виявлені на зображеннях, можуть свідчити про наявність шкідників, таких як ріпакові блішки, чи хвороб, таких як фомоз або кореневі гнилі.

Індекси рослинності, такі як NDVI, можуть виявити проблеми навіть на ранніх етапах розвитку хвороб, до того, як вони стануть помітними неозброєним оком. Наприклад, зниження значення NDVI на окремих ділянках може вказувати на пошкодження рослин шкідниками, що дозволяє аграріям негайно вжити заходів щодо обробки поля або виявлення інших причин стресу.

10. Моніторинг вологості ґрунтів та потреба в зрошенні.

Інші важливі фактори, що визначають успішність вирощування ріпаку, включають рівень вологості ґрунту. Супутникові знімки можуть допомогти

оцінити ці параметри. Наприклад, супутники Sentinel-1, які здійснюють радарну зйомку, можуть бути використані для моніторингу вологості ґрунтів, оскільки радарні сигнали можуть проникати крізь хмари та не залежать від умов освітленості.

Порівняння зображень з різних періодів дозволяє точно визначити ділянки, де є дефіцит вологи, і здійснювати точкове зрошення, що є більш економічно ефективним способом збереження водних ресурсів

1.4. Використання засобів картографії для оцінки екологічних ризиків у сільському господарстві

Це є важливим і потужним інструментом, що дозволяє фермерам, екологам та урядовим організаціям отримувати чітку та структуровану інформацію про стан навколишнього середовища і його взаємодію з аграрними практиками. Завдяки цьому можна оцінювати просторові аспекти екологічних ризиків, таких як деградація ґрунтів, ерозія, забруднення вод, зміни кліматичних умов і вплив аграрної діяльності на біорізноманіття [49]. Сучасні технології, такі як супутникові знімки, геоінформаційні системи і дрони, дозволяють проводити детальний моніторинг і створювати точні карти, що відображають зміни в екосистемах і дають можливість прогнозувати їх розвиток [45].

Картографія дозволяє візуалізувати екологічні ризики та оцінити їх просторову поширеність. Наприклад, однією з основних загроз для сільськогосподарських земель є ерозія ґрунтів. Застосовуючи картографію, можна створювати карти ерозійної загрози, що відображають райони з підвищеним ризиком ерозії та дозволяють планувати заходи з її попередження. Завдяки картографічним методам можна ідентифікувати зони, де інтенсивне землеробство призводить до знищення верхнього родючого шару ґрунту, що може стати причиною зниження врожайності та втрати родючих земель. Подібні карти дозволяють спрямовувати зусилля на відновлення ґрунтів у найбільш

вразливих зонах, що має важливе значення для збереження продуктивності сільськогосподарських угідь.

Використання картографічних методів також є ефективним способом моніторингу рівня забруднення водних ресурсів. У багатьох регіонах сільське господарство є головним джерелом забруднення води через використання хімічних добрив та пестицидів, які можуть потрапляти у річки, озера та підземні води. Завдяки картографії можна створювати карти розподілу забруднювачів і відстежувати зміни їх концентрації в різних частинах території. Наприклад, за допомогою супутникових знімків і геоінформаційних систем можна виявити райони, де існує високий ризик потрапляння нітратів у ґрунтові води. Це дозволяє фермерам і організаціям відповідно коригувати аграрні практики, обмежувати використання хімічних речовин у чутливих зонах і розробляти методи, що запобігають забрудненню водних ресурсів.

Оцінка змін клімату і його впливу на сільськогосподарські угіддя також є важливою складовою картографії для оцінки екологічних ризиків. Завдяки картографічним методам можна створювати моделі прогнозування, що враховують зміни температур, кількість опадів та інші кліматичні параметри в різних регіонах. Такі моделі дозволяють прогнозувати ризики посухи, заморозків або затоплень, які можуть мати значний вплив на врожайність і продуктивність сільськогосподарських культур. Картографічні моделі кліматичних змін допомагають фермерам готуватися до можливих кліматичних стресів і адаптувати свої практики, щоб знизити ризики, пов’язані зі зміною клімату, наприклад, впроваджуючи засухостійкі сорти рослин або оптимізуючи системи зрошення [28].

Картографія також має вирішальне значення для оцінки впливу сільського господарства на біорізноманіття. Багато сільськогосподарських практик, такі як вирубка лісів для створення нових полів або використання інтенсивних агротехнічних методів, можуть призводити до зниження біорізноманіття [46]. Завдяки картографічним технологіям можна візуалізувати зміни у природних

середовищах існування, визначати території, де екосистеми вразливі до антропогенного впливу, і планувати заходи для їх захисту. Карти, що відображають поширення природних середовищ існування або популяції окремих видів, дозволяють визначати зони, де необхідно обмежити інтенсивність аграрної діяльності, чи створити природоохоронні території. Ці заходи сприяють збереженню місцевих екосистем і підтримці здорового екологічного балансу [51].

Сучасні картографічні технології, такі як супутникові знімки, дрони і ГІС, дозволяють отримувати точні дані в реальному часі і створювати карти з високою роздільною здатністю, що відображають стан довкілля на локальному і регіональному рівнях. Супутникові знімки забезпечують доступ до інформації про великі території, дозволяючи оцінювати екологічні ризики на великих площах. Використання дронів дозволяє проводити детальні дослідження невеликих ділянок, збираючи інформацію з високою точністю та роздільною здатністю, що особливо важливо для моніторингу окремих полів або невеликих екосистем. ГІС, у свою чергу, надає можливість аналізувати та обробляти велику кількість просторових даних, створюючи багатошарові карти, які об’єднують інформацію з різних джерел, включаючи дані про ґрунти, рослинний покрив, водні ресурси і клімат.

Картографія дозволяє інтегрувати різноманітні дані про екологічні ризики у єдину систему, що полегшує прийняття рішень і планування екологічно відповідальних аграрних практик. Наприклад, багатошарові карти можуть відображати одночасно рівень ерозії, забруднення води, зміну кліматичних умов і біорізноманіття, що дозволяє фермерам оцінити комплексний вплив своєї діяльності на довкілля і врахувати всі фактори при плануванні сільськогосподарських робіт [20]. Це сприяє оптимізації використання ресурсів, зниженню екологічного навантаження та впровадженню сталих методів землеробства.

Крім того, картографія є корисною для планування інфраструктури у сільськогосподарських регіонах. Наприклад, карти, що відображають

розташування водних ресурсів (рис. 1.7), дозволяють ефективно планувати зрошувальні системи, а також визначати оптимальні місця для зберігання та транспортування сільськогосподарської продукції. Важливу роль у зниженні екологічних ризиків відіграє картографія, що допомагає аналізувати ризики повеней та інших природних катастроф, що можуть негативно впливати на врожайність і життєдіяльність регіону.

Рис 1.7. Карта поверхневих вод України [12]

На практиці картографія екологічних ризиків у сільському господарстві дозволяє створювати прогнози та впроваджувати заходи, спрямовані на зниження негативного впливу сільського господарства на екосистему. Наприклад, завдяки прогнозуванню ризику посухи фермери можуть заздалегідь планувати дії для запобігання втратам, такі як поліпшення систем зрошення або зміна структури посівів [8]. Це сприяє збереженню родючих ґрунтів і зменшенню водного стресу, що особливо важливо в умовах глобальної зміни клімату [4].

Таким чином, картографічні засоби є незамінним інструментом для оцінки екологічних ризиків у сільському господарстві. Використання картографічних методів дозволяє більш ефективно управляти аграрними масивами.

1.5. Геоінформаційні моделі для оцінки деградації ґрунтів через вирощування ріпаку.

Геоінформаційні моделі є важливим інструментом для оцінки деградації ґрунтів, пов’язаної з вирощуванням ріпаку. Сільськогосподарські практики, зокрема інтенсивне вирощування таких культур, як ріпак, часто призводять до деградації ґрунтів, включаючи втрату родючості, ерозію, зниження вмісту органічної речовини, а також забруднення ґрунту нітратами та пестицидами. Геоінформаційні системи (ГІС) дозволяють створювати моделі, які відображають просторові зміни ґрунтів, оцінюють ризики деградації та допомагають розробити стратегії для збереження родючості й сталого управління ґрунтовими ресурсами.

ГІС дозволяють проводити детальний аналіз змін ґрунтового покриву на основі різноманітних даних, включаючи супутникові знімки, цифрові карти рельєфу, а також дані про вміст поживних речовин, вологість, щільність та структуру ґрунту. Зокрема, при вирощуванні ріпаку, який є культурою з високими потребами в азоті, часто використовується велика кількість добрив, що може призвести до виснаження ґрунтових ресурсів та забруднення ґрунтових вод нітратами. Геоінформаційні моделі дозволяють визначити зони підвищеного ризику забруднення та вичерпання азоту, щоб вчасно вжити заходів для зниження навантаження на ґрунт. Наприклад, ГІС може використовувати дані про рівень внесення добрив у різних частинах поля та відстежувати накопичення нітратів у ґрунті, що дозволяє запобігти їхньому потраплянню у водні джерела.

Одним із аспектів деградації ґрунтів є ерозія, спричинена інтенсивним обробітком ґрунту для вирощування ріпаку. Ріпакова культура вимагає частих агротехнічних заходів, таких як обробіток ґрунту та внесення добрив, що призводить до ослаблення ґрунтової структури і робить його вразливішим до водної та вітрової ерозії. За допомогою геоінформаційних моделей можна створювати карти ерозійного ризику, що відображають ступінь вразливості ґрунтів у різних частинах території, де вирощується ріпак. Наприклад, на основі

карт рельєфу і даних про кількість опадів ГІС моделі можуть прогнозувати ризики водної ерозії на схилах та у низовинах, де вода може змивати верхній родючий шар ґрунту. Такі карти є важливими для планування заходів із запобігання ерозії, включаючи створення захисних смуг та оптимізацію напрямку посівів.

ГІС також сприяють моніторингу змін органічної речовини в ґрунтах, що є критичним фактором для підтримання їхньої родючості. Вирощування ріпаку часто потребує великих кількостей поживних речовин, а після збору врожаю в ґрунті залишається менше органічних залишків, ніж при вирощуванні інших культур. Це може призводити до зниження вмісту органічної речовини, що негативно впливає на структуру ґрунту, його вологоутримуючі властивості і стійкість до ерозії. Геоінформаційні моделі дозволяють відстежувати рівень органічної речовини та оцінювати його динаміку в різних частинах поля. Наприклад, за допомогою ГІС можна порівнювати дані про вміст органічної речовини в ґрунті до і після збору ріпаку, що дозволяє оцінити вплив культури на родючість ґрунтів і необхідність застосування відновлювальних заходів.

Ще одним аспектом, який дозволяє оцінити ГІС, є аналіз забруднення ґрунтів пестицидами та гербіцидами, що часто використовуються для захисту ріпаку від шкідників і бур’янів. Надмірне використання хімічних засобів може призводити до накопичення токсичних речовин у ґрунті, що негативно позначається на його біологічній активності, знижуючи популяції корисних мікроорганізмів і створюючи ризики для подальшого вирощування культур. Геоінформаційні моделі дозволяють створювати карти забруднення ґрунтів, що відображають концентрацію пестицидів у різних зонах. Ці дані можуть бути використані для контролю рівня забруднення та зниження використання хімічних засобів у найбільш чутливих зонах, що допомагає зберегти екологічний баланс на полях.

Важливою особливістю геоінформаційних моделей є можливість інтеграції різноманітних даних про ґрунт і навколишнє середовище у єдину

систему, що дозволяє проводити комплексний аналіз впливу вирощування ріпаку на стан ґрунтів. Наприклад, ГІС можуть поєднувати дані про рельєф, опади, вітрові потоки, хімічний склад ґрунту, а також інформацію про структуру рослинного покриву, щоб створювати багатошарові моделі, які відображають різні аспекти деградації ґрунтів. Такі комплексні моделі дозволяють аграріям оцінити сумарний вплив аграрної діяльності на ґрунти та розробити стратегії збереження родючості і стійкості ґрунтового покриву. Це також дозволяє прогнозувати наслідки інтенсивного землеробства та своєчасно вживати заходів для зниження деградаційних процесів.

ГІС також сприяють плануванню сільськогосподарських практик, які можуть мінімізувати ризик деградації ґрунтів. На основі даних з геоінформаційних моделей можна розробляти рекомендації щодо оптимізації обробітку ґрунту, внесення добрив і управління залишками рослин. Наприклад, виявивши зони з високим ризиком ерозії або низьким рівнем органічної речовини, фермери можуть використовувати покривні культури, які захищатимуть ґрунт від ерозії і збагачуватимуть його органікою. Подібні заходи не тільки запобігають деградації ґрунтів, але й підвищують загальну продуктивність і стійкість агросистеми.

Завдяки високій точності та детальності ГІС можуть забезпечити моніторинг змін у ґрунтах у режимі реального часу. Сучасні технології дозволяють отримувати зображення та дані з високою роздільною здатністю, що дозволяє швидко ідентифікувати проблемні ділянки і вчасно вживати коригувальні заходи. Це особливо важливо для великих аграрних підприємств, де контроль за станом ґрунтів на всій території вручну є надзвичайно складним завданням.

Отже, геоінформаційні моделі для оцінки деградації ґрунтів через вирощування ріпаку є незамінним інструментом у сучасному сільському господарстві. Використання таких моделей дозволяє ефективно контролювати стан ґрунтів, аналізувати ризики ерозії, втрати органічної речовини та

забруднення, а також планувати аграрні практики, що знижують екологічне навантаження на землю.

Підсумовуючи сказане вище, можемо зазначити, що порівняльний аналіз супутникових зображень дозволяє аграріям своєчасно виявляти проблеми на полях ріпаку, зокрема ті, що пов'язані з недостатньою кількістю вологи, пошкодженнями від шкідників чи хвороб, а також з порушеннями в догляді за культурою. Застосування індексів рослинності, таких як NDVI та EVI, дає змогу ефективно оцінювати стан культур і оперативно вживати необхідних заходів для забезпечення стабільної врожайності. Супутникові технології дозволяють зменшити витрати на агротехнічні заходи, покращити якість врожаю та знизити негативний вплив на навколишнє середовище

Точне землеробство на основі супутникових даних є інноваційним підходом до ведення сільського господарства, що дозволяє значно підвищити ефективність вирощування культур та знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Завдяки використанню супутникових знімків, аналітики можуть отримувати детальну інформацію про стан ґрунту, рослинність, вологість і різні стресові фактори для рослин. Ці дані дозволяють фермерам точно налаштовувати процеси обробітку, поливу, внесення добрив та боротьби зі шкідниками.

Основна перевага точного землеробства полягає в можливості приймати рішення на основі даних у реальному часі. Супутникові знімки надають інформацію, яка дозволяє оцінити здоров'я рослин і рівень вегетації за допомогою індексів, таких як NDVI (нормалізований диференційований вегетаційний індекс). Це дозволяє виявляти проблемні зони на полях ще до того, як вони стають очевидними для людського ока. NDVI аналізує інтенсивність відбиття світла рослинами: якщо показник високий, рослини знаходяться у доброму стані, якщо низький -можуть мати проблеми з водою, поживними речовинами або страждати від захворювань.

Окрім NDVI, існують інші індекси та методи обробки супутникових зображень, які дозволяють вимірювати вміст вологи, структуру ґрунту і навіть

прогнозувати врожайність. Дані з супутників, такі як ті, що збираються з американських (Landsat) чи європейських супутників (Sentinel), дозволяють отримувати інформацію з регулярною частотою і майже незалежно від погодних умов. Завдяки високій частоті знімків агрономи можуть спостерігати динаміку розвитку рослинності протягом сезону і вчасно реагувати на зміни, пов'язані з погіршенням стану рослин або зміною погодних умов.

Одним із важливих аспектів точного землеробства є оптимізація внесення добрив і пестицидів. Використання супутникових знімків дозволяє більш точно визначати, в яких зонах поля потрібно підвищувати чи знижувати норми внесення речовин. Це не лише допомагає зменшити витрати на хімічні засоби, але й знижує ризик забруднення навколишнього середовища. Наприклад, замість рівномірного розпилення добрив по всій території поля, точне землеробство дозволяє внесення добрив тільки там, де цього потребують рослини.

Супутникові дані також відіграють ключову роль у моніторингу ґрунтової вологості та ефективності зрошення. Існують алгоритми, які дозволяють визначити рівень вологості в різних частинах поля. Ця інформація важлива для планування і оптимізації системи поливу. Застосування автоматизованих систем, які контролюють кількість води на основі інформації від супутників, дозволяє зменшити витрати води та уникнути перезволоження ґрунтів, яке може призводити до зниження врожайності.

Точне землеробство також дозволяє прогнозувати врожайність. Знання про стан рослин та рівень вегетації дозволяє створити моделі, які можуть досить точно передбачати кількість врожаю на конкретному полі. Прогнози можуть враховувати погодні умови, вологість ґрунту, кількість внесених добрив і стан здоров'я рослин. Це дозволяє фермерам планувати свої ресурси, а також економічно вигідніше реалізувати врожай [29].

Іншою цікавою можливістю є автоматизація техніки на основі даних супутникового моніторингу. Завдяки технологіям точного позиціонування (наприклад, GPS) та аналітичним даним, техніка може працювати автономно, без

участі людини. Наприклад, сільськогосподарська техніка може самостійно здійснювати обробіток ґрунту, висів, полив і збір урожаю. Автоматизовані трактори, комбайни та інші машини дозволяють зменшити трудові витрати та підвищити точність агротехнічних операцій. Це особливо важливо на великих фермах, де важко контролювати всі процеси вручну.

Проте точне землеробство має певні виклики. Перш за все, необхідне спеціалізоване обладнання та програмне забезпечення для аналізу даних супутників, а також кваліфікований персонал, який може правильно інтерпретувати дані. Для багатьох малих фермерських господарств це може бути надто дорогим або складним завданням. Також є проблема точності даних, яка може бути знижена в умовах хмарності або недостатньо частого оновлення знімків.

Попри ці виклики, перспективи використання точного землеробства є надзвичайно великими. В умовах глобальних змін клімату і зростаючого населення планети технології, що дозволяють підвищувати ефективність виробництва і знижувати негативний вплив на екологію, стають дедалі більш актуальними. Очікується, що з розвитком нових супутників, вдосконаленням сенсорів і розвитком штучного інтелекту можливості точного землеробства будуть лише зростати. Завдяки цим технологіям можна буде отримувати ще більш детальні зображення, створювати складніші моделі і робити більш точні прогнози, що дозволить сільському господарству відповідати на виклики сучасності та забезпечувати потреби людства в харчуванні [51].

Точне землеробство на основі супутникових даних вже сьогодні є важливим етапом трансформації аграрного сектору і має всі шанси стати ключовою технологією у майбутньому сільського господарства [52].

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ

2.1. Супутниковий моніторинг стану посівів ріпаку

Супутниковий моніторинг стану посівів ріпаку є одним із найсучасніших і найефективніших інструментів для управління сільським господарством, що дозволяє фермерам отримувати точні й актуальні дані про стан своїх полів в режимі реального часу. Завдяки розвитку супутникових технологій, агрономи та фермери можуть здійснювати постійний моніторинг без необхідності перебувати на місці, що значно знижує витрати часу та людських ресурсів [2]. Ці технології дають змогу виявляти зони, де посіви ріпаку зазнають стресу через нестачу вологи, поживних речовин або інших несприятливих факторів, ще до того, як це стане помітним для людського ока. Супутникові знімки допомагають не лише оперативно реагувати на проблеми, але й створювати карти полів, які надають детальну інформацію про стан врожаю на різних стадіях його розвитку.

Однією з основних переваг супутникового моніторингу є можливість отримувати зображення великих територій одночасно, що дає змогу спостерігати за станом полів у динаміці і визначати певні закономірності у розвитку посівів. Завдяки цьому аграрії можуть аналізувати, як змінюється стан ріпаку під впливом кліматичних умов або агротехнічних заходів, таких як внесення добрив або полив [6]. За допомогою супутникових даних можна визначати найбільш продуктивні ділянки поля, а також зони, де рослини потребують додаткової уваги. Цей підхід дозволяє максимально ефективно використовувати ресурси, оскільки агрономи можуть зосередитися на тих частинах поля, які потребують корекції або покращення умов.

Окрім виявлення проблем на полях, супутниковий моніторинг ріпаку допомагає у прийнятті стратегічних рішень, таких як планування часу збору врожаю. Зображення з супутників дозволяють оцінити рівень зрілості рослин на різних ділянках поля, що дає змогу оптимально організувати збір, запобігаючи

втратам через перезрілість або недостатню готовність врожаю. Крім того, дані супутникового моніторингу допомагають визначати, які саме ділянки потребують додаткового зрошення або внесення поживних речовин, що є особливо важливим під час посух або інших екстремальних кліматичних умов.

Супутникові технології також дозволяють здійснювати оцінку вмісту вологи в ґрунті, що є критично важливим для таких культур, як ріпак, які вимагають певного балансу між вологою і сухістю. Завдяки регулярному моніторингу вологості ґрунту можна прогнозувати розвиток рослин, вчасно вживати заходів для запобігання надлишковому випаровуванню вологи або застою води, що може спричинити гниття кореневої системи. Це також сприяє точнішому управлінню системами зрошення, оскільки фермери можуть зменшити витрати води, використовуючи її лише там, де це необхідно.

Окрім того, супутникові знімки надають можливість вимірювати вегетаційний індекс (NDVI), який відображає інтенсивність росту рослин і є основним показником здоров'я посівів. Завдяки NDVI аграрії можуть відстежувати, як ріпак реагує на погодні умови, внесення добрив і інші фактори. Зменшення цього індексу може свідчити про стрес рослин або про потребу в корекції агротехнічних заходів [5]. Використання цих даних дозволяє агрономам оперативно вносити зміни в обробіток поля, наприклад, під час виникнення шкідників або хвороб, які можуть вплинути на стан рослин [61].

Історія супутникового моніторингу в сільському господарстві розпочалася з запуском перших супутників для спостереження за Землею в 1970-х роках. Проте тільки у 1990-х технології досягли такого рівня точності та деталізації, що їх можна було активно використовувати у сільському господарстві. Один із перших прикладів успішного використання супутникових даних для моніторингу посівів відбувся в Сполучених Штатах, де ці технології застосовувалися для контролю за станом полів кукурудзи. У Європі супутниковий моніторинг активно впроваджувався в 2000-х роках, зокрема у таких країнах, як Франція та Німеччина, де вирощування ріпаку є однією з

основних агрокультур. Фермери почали використовувати супутникові знімки для оптимізації внесення добрив, що дозволило значно підвищити ефективність використання ресурсів і зменшити витрати на агрохімію.

У сучасному світі супутниковий моніторинг набув широкого розповсюдження завдяки доступності знімків з комерційних та державних супутників. Фермери можуть отримувати зображення своїх полів майже щодня, що дозволяє їм мати актуальну інформацію про стан посівів і швидко реагувати на будь-які зміни (рис. 2.1). Зокрема, під час посухи або інтенсивних дощів, супутникові дані допомагають оцінити, які частини поля постраждали найбільше, і відповідно коригувати агротехнічні заходи. Також ці дані допомагають зменшити втрати врожаю під час екстремальних погодних умов, оскільки фермери можуть вчасно втручатися і змінювати стратегію догляду за рослинами.

Рис. 2.1. Приклад супутникового моніторинга поля [3]

Іншим важливим аспектом використання супутникового моніторингу є можливість його інтеграції з іншими системами управління полями, такими як дрони або наземні сенсори. Дані з супутників можуть доповнюватися інформацією, зібраною з дронів або спеціальних сенсорів, встановлених безпосередньо на полях. Це дозволяє створювати більш точні карти і моделі

розвитку посівів, що допомагає фермеру не лише спостерігати за станом врожаю, але й прогнозувати його подальший розвиток. Такий підхід дозволяє знижувати витрати на обслуговування полів і підвищувати врожайність за рахунок більш точного і ефективного управління ресурсами.

Сучасні геоінформаційні системи (ГІС), які інтегрують супутникові знімки, також надають можливість створювати інтерактивні карти полів, які можна використовувати для довгострокового планування. Наприклад, дані за кілька років можуть показати, як змінюється родючість ґрунтів на окремих ділянках поля, або як ріпак реагує на різні методи обробітку землі. Це дає змогу аграріям краще планувати свої дії на наступні сезони і постійно покращувати технології вирощування. Відтак, супутниковий моніторинг стає не лише інструментом оперативного управління, але й засобом стратегічного планування і вдосконалення сільськогосподарського виробництва.

У підсумку, супутниковий моніторинг стану посівів ріпаку є потужним інструментом, що дозволяє фермерам оптимізувати використання ресурсів, підвищувати врожайність та ефективно реагувати на виклики, що виникають через зміни клімату та інші зовнішні фактори. Завдяки використанню супутникових знімків аграрії можуть оперативно коригувати агротехнічні заходи, вчасно виявляти проблеми і підвищувати продуктивність своїх полів, забезпечуючи стійкий розвиток сільського господарства.

2.2. Використання NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) для оцінки стану рослинності

Використання індексу нормалізованої різниці рослинності (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) для оцінки стану рослинності є важливою частиною сучасного управління сільськогосподарськими полями та моніторингу екосистем. NDVI – це числовий показник, що розраховується на основі спектральних даних, які отримуються за допомогою супутників або дронів. Він

дозволяє оцінювати здоров'я рослинності, її щільність, активність фотосинтезу та загальний стан на різних етапах розвитку. Цей індекс відіграє ключову роль в управлінні сільським господарством, оскільки дає змогу фермерам отримувати точну інформацію про стан посівів, своєчасно виявляти проблеми та приймати обґрунтовані рішення щодо подальших агротехнічних заходів [64].

NDVI базується на тому, як рослинність відбиває світло у різних частинах спектра. Зелені рослини активно поглинають видиме червоне світло для фотосинтезу та відбивають більшу частину близького інфрачервоного випромінювання (NIR). Коли рослини здорові, вони мають високу здатність до фотосинтезу, що призводить до значної різниці між поглинанням червоного і відбиттям інфрачервоного світла. NDVI розраховується за формулою, що включає відбиття червоного (Red) та інфрачервоного (NIR) випромінювання

$$NDVI=((NIR-Red))/((NIR+Red))$$

Цей показник змінюється від -1 до 1. Значення, близькі до 1, вказують на густу і здорову рослинність, тоді як значення, близькі до 0 або від'ємні, можуть свідчити про відсутність рослинності або про стрес рослин, що спричинений, наприклад, посухою, хворобами або нестачею поживних речовин [63].

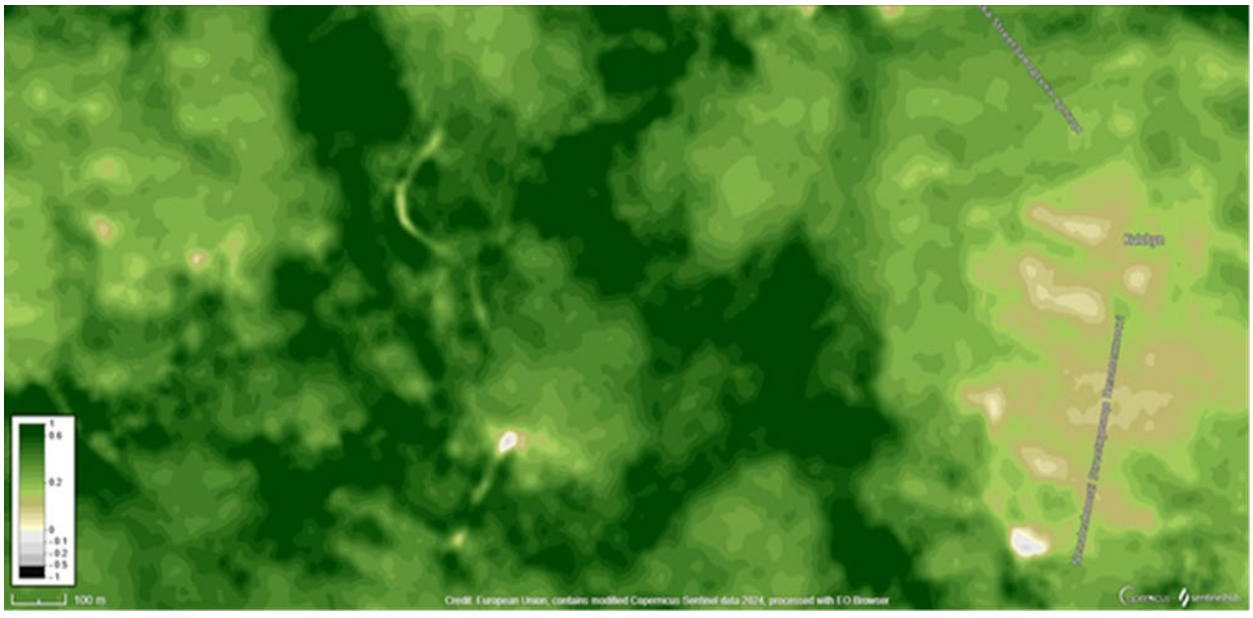

Рис. 2.2. Приклад NDVI зображення

Історія використання NDVI сягає 1970-х років, коли цей індекс вперше був запропонований як спосіб оцінки стану рослинності з використанням супутникових знімків. Перші знімки були отримані з супутників програми NASA Landsat, і вони показали величезний потенціал для застосування у різних галузях, від сільського господарства до лісового господарства та екологічного моніторингу. Впродовж наступних десятиліть індекс NDVI став стандартним інструментом для аналізу стану рослинності на глобальному рівні, дозволяючи відстежувати зміни в екосистемах, такі як вирубка лісів, деградація земель, сезонні зміни рослинності та інші процеси.

Однією з основних переваг використання NDVI у сільському господарстві є можливість точно та оперативно виявляти проблеми на полях, що дозволяє аграріям реагувати на них задовго до того, як вони стануть видимими для людського ока. Наприклад, якщо рослини починають зазнавати стресу через нестачу вологи, NDVI зменшується, вказуючи на зниження активності фотосинтезу. Така ситуація може виникнути під час посухи або при недостатньому зрошенні. Завдяки моніторингу NDVI фермери можуть оперативно коригувати систему зрошення, щоб запобігти втратам врожаю. Аналогічно, NDVI може вказувати на проблеми, пов'язані з дефіцитом поживних речовин, що дозволяє вчасно внести добрива та підтримати здоровий розвиток рослин.

Іншою важливою сферою застосування NDVI є виявлення хвороб або шкідників. Коли рослини уражені хворобами або атаковані шкідниками, їх здатність до фотосинтезу значно знижується, що також відображається на значеннях NDVI. Використовуючи цей індекс, агрономи можуть точно визначати, які частини поля потребують додаткового втручання — чи то обробки фунгіцидами або інсектицидами, чи то іншого виду обробітку. Це дозволяє уникати надмірного використання хімічних речовин на ділянках, де це не потрібно, тим самим знижуючи витрати на агрохімію і мінімізуючи негативний вплив на навколишнє середовище.

Крім того, NDVI використовується для прогнозування врожайності. Оскільки цей індекс точно відображає біомасу і активність росту рослин, його значення можуть бути використані для прогнозування майбутнього врожаю на основі поточного стану рослинності. У таких країнах, як Канада, США та Франція, NDVI давно використовується як інструмент для оцінки врожайності на полях, особливо для таких важливих культур, як ріпак, пшениця та кукурудза. Це дає змогу фермерам заздалегідь планувати свої дії, наприклад, оптимізувати логістику збору врожаю або підготувати складські приміщення.

Окрім сільського господарства, NDVI широко використовується в екологічному моніторингу, де він допомагає відстежувати зміни у природних екосистемах. Наприклад, цей індекс використовується для спостереження за станом лісів та вологих зон, оцінки наслідків природних катастроф, таких як лісові пожежі, або змін клімату. Зокрема, у посушливих регіонах Африки NDVI допомагає моніторити стан пустельних земель і сприяє розробці програм для боротьби з опустелюванням. У лісових зонах Південної Америки індекс використовують для вивчення процесів вирубки лісів та їхнього впливу на біорізноманіття.

Одним з ключових елементів ефективного використання NDVI є можливість інтеграції його даних із сучасними геоінформаційними системами (ГІС). Це дає змогу створювати інтерактивні карти стану полів і прогнозувати динаміку розвитку рослинності в реальному часі. Наприклад, дані NDVI можуть бути поєднані з іншими показниками, такими як вологість ґрунту або температура повітря, для розробки детальних моделей розвитку посівів. Це допомагає агрономам приймати обґрунтовані рішення щодо планування сівозміни, внесення добрив, поливу та збору врожаю.

Розвиток сучасних технологій, таких як супутникові знімки високої роздільної здатності та безпілотні літальні апарати (дрони), значно розширив можливості використання NDVI. Наприклад, дрони, оснащені мультиспектральними камерами, можуть надавати високоточні зображення

полів, що дозволяє здійснювати моніторинг на дуже детальному рівні. Це відкриває нові горизонти для точного землеробства, де кожен квадратний метр поля може бути аналізований і оброблений окремо відповідно до його стану. Висока точність даних дозволяє оптимізувати витрати на добрива, воду та інші ресурси, що сприяє зниженню витрат і підвищенню ефективності сільського господарства.

Іншим важливим аспектом використання NDVI є його здатність до довгострокового моніторингу. З часом фермери можуть аналізувати, як змінювався стан рослинності на полях протягом декількох років, що допомагає краще зрозуміти вплив різних методів обробки ґрунту, кліматичних умов або змін в агротехніці. Такий аналіз дозволяє розробляти довгострокові стратегії управління полями та підвищувати їхню продуктивність у майбутньому.

У підсумку, NDVI є надзвичайно важливим інструментом для оцінки стану рослинності, як у сільському господарстві, так і в екологічному моніторингу. Його використання дозволяє значно підвищити ефективність управління полями, оптимізувати витрати на ресурси та знизити ризики, пов'язані з несприятливими кліматичними умовами або іншими стресовими факторами. Завдяки своєму багатофункціональному характеру та можливостям інтеграції з сучасними технологіями, NDVI стає невід'ємною частиною точного землеробства і стійкого розвитку аграрного сектору.

2.3. Геоінформаційні системи (ГІС) у моніторингу посівів ріпаку

Геоінформаційні системи (ГІС) відіграють важливу роль у сучасному сільському господарстві, дозволяючи більш ефективно управляти земельними ресурсами, прогнозувати врожайність, контролювати стан ґрунтів і рослин, а також знижувати витрати. ГІС-технології поєднують дані з супутникових знімків, аерофотозйомки, дані з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та інших джерел,

що дає змогу аграріям отримати точну інформацію про стан своїх полів та приймати обґрунтовані рішення.

Основні напрями застосування ГІС у сільському господарстві:

1. Моніторинг і управління земельними ресурсами

ГІС дозволяють створювати детальні карти земельних угідь, що показують, наприклад, типи ґрунтів, структуру полів, рівень вологості та зміни в землекористуванні. Це допомагає планувати посівні та зрошувальні роботи.

Моніторинг та управління земельними ресурсами є надзвичайно важливими для сталого розвитку аграрного сектору, збереження екологічного балансу та оптимального використання природних ресурсів. Використання сучасних технологій, таких як геоінформаційні системи (ГІС), значно покращує процеси аналізу та планування землекористування [21], допомагає підтримувати родючість ґрунтів, підвищувати продуктивність сільського господарства та мінімізувати негативний вплив на довкілля.

ГІС-технології надають широкі можливості для моніторингу та ефективного управління земельними ресурсами, оскільки дозволяють інтегрувати дані з різних джерел, зокрема супутникових знімків, зображень з дронів, кліматичних даних, а також інформації про ґрунти і рослинний покрив. Завдяки цьому можна створювати комплексні, багатошарові карти, які відображають найрізноманітніші аспекти земельних угідь: типи ґрунтів, рельєф, структуру полів, рівень вологості ґрунтів, а також зміни у використанні територій. Такі карти дають змогу аграріям і землевпорядникам краще розуміти особливості кожної ділянки, що дозволяє максимально ефективно використовувати доступні ресурси та уникати зайвих витрат.

Систематичний моніторинг земельних ресурсів дозволяє відслідковувати зміни в структурі ґрунту, стані рослинності, водних ресурсах та загальному екологічному балансі територій. ГІС-технології автоматизують цей процес, дозволяючи вносити зміни на карті в реальному часі. Супутникові знімки та зображення з дронів допомагають визначати не лише великі зміни, такі як

вирубка лісів або зміна русла річки, але й невеликі, наприклад, зміну структури полів чи рівень вологості ґрунту після зрошення. Ця інформація про зміну землекористування є цінною для ухвалення зважених рішень щодо використання ресурсів, що сприяє збереженню родючості ґрунтів і підтримці екосистемного балансу.

Завдяки використанню ГІС у сільському господарстві стає можливим планування агротехнічних робіт з урахуванням природних характеристик ґрунтів. Інформація про рівень вологості та тип ґрунту дозволяє оптимізувати зрошувальні роботи, знижуючи витрати води та підтримуючи оптимальні умови для вирощування культур. Це особливо важливо у регіонах, де доступ до водних ресурсів обмежений. Крім того, аналіз даних про клімат і тип ґрунтів допомагає визначати, які культури найкраще підходять для конкретних ділянок, що збільшує ефективність використання землі.

Управління земельними ресурсами з використанням ГІС також допомагає знизити негативний вплив людської діяльності на довкілля. Завдяки глибшому розумінню природних процесів і стану земельних угідь можна розробляти стратегії, які сприятимуть довгостроковій стабільності та раціональному використанню ресурсів. Це стосується не лише сільського господарства, а й інших сфер, зокрема захисту водозбірних басейнів, управління лісами та міського планування. Наприклад, аналіз ґрунтів за допомогою ГІС дозволяє передбачити ерозійні процеси та вжити заходів для збереження родючого шару. Крім того, ГІС дають змогу визначити потенційні місця для лісонасаджень або захисних лісосмуг, що сприяє покращенню місцевого клімату та екологічної стійкості.

Ще однією важливою перевагою використання ГІС є можливість моніторингу змін клімату та їхнього впливу на земельні ресурси. Завдяки ГІС можна прогнозувати ризики, пов’язані з посухами, повенями чи ерозійними процесами, а також планувати заходи для захисту територій від цих негативних впливів. Сучасні геоінформаційні системи дозволяють інтегрувати кліматичні

моделі, що допомагає передбачити, як змінюватиметься агрокліматичний потенціал регіонів у майбутньому, і розробляти відповідні адаптаційні стратегії.

Отже, використання ГІС у моніторингу та управлінні земельними ресурсами надає суттєві переваги для сільського господарства та захисту довкілля. Ця технологія дозволяє оптимізувати землекористування, знижувати екологічне навантаження, підвищувати продуктивність та сприяти стійкості земельних ресурсів перед кліматичними змінами. ГІС-технології допомагають зберегти природні ресурси та створити умови для ефективного землекористування з довгостроковою перспективою.

2. Аналіз ґрунтів і врожайності

Аналіз ґрунтів і врожайності є одним із найважливіших елементів у сучасному сільському господарстві, оскільки він допомагає оптимізувати використання земель, підвищувати врожайність і знижувати витрати на добрива та зрошення. Завдяки геоінформаційним системам (ГІС) аграрії можуть отримати детальну інформацію про властивості ґрунтів і створювати точні карти врожайності, що сприяє розробці ефективних агротехнічних стратегій.

Одним із головних показників, які аналізуються при дослідженні ґрунту, є кислотність, вологість і рівень поживних речовин. Кислотність ґрунту (рівень pH) безпосередньо впливає на здатність рослин засвоювати поживні елементи. Кожна культура має свої оптимальні показники кислотності: деякі види рослин краще ростуть у кислому середовищі, інші віддають перевагу нейтральним чи навіть лужним умовам. Розуміння кислотності ґрунту дозволяє коригувати її, додаючи необхідні добавки чи добрива, що підвищує ефективність вирощування обраних культур.

Ще один важливий параметр - це рівень вологості ґрунту, який також можна відслідковувати завдяки ГІС. Інформація про вологонасичення ґрунту допомагає визначити необхідні обсяги зрошення і час його проведення, що особливо важливо у регіонах з дефіцитом води. Карти вологості, створені на основі даних ГІС, дозволяють аграріям регулювати системи поливу таким чином,

щоб підтримувати оптимальний рівень зволоженості для різних культур і запобігати пересушуванню або надмірному зволоженню окремих ділянок.

Також одним із найважливіших аспектів аналізу ґрунтів є визначення вмісту в ньому поживних речовин -таких як азот, фосфор і калій. Ці елементи є основними для росту рослин, а їхня нестача чи надлишок може значно впливати на врожайність. ГІС-технології дозволяють створювати карти розподілу поживних речовин на полях, що допомагає точно визначити, де потрібно додатково вносити добрива. Такий підхід дає змогу знизити витрати на добрива і уникнути перенасичення ґрунту хімічними елементами, зберігаючи при цьому його родючість.

Крім аналізу властивостей ґрунту, ГІС також використовуються для створення карт врожайності, які показують зони з різними рівнями продуктивності. Ці карти дозволяють аграріям оцінити, які ділянки поля є більш продуктивними, а де врожайність нижча за середню. Аналізуючи продуктивність ділянок, можна приймати обґрунтовані рішення щодо внесення додаткових добрив, поліпшення зрошення або інших агротехнічних заходів, щоб підвищити врожайність. Карти врожайності дозволяють оптимізувати використання ресурсів, знижуючи витрати і водночас збільшуючи продуктивність кожного метра землі.

Карти врожайності також корисні для довгострокового планування. Вони допомагають відслідковувати зміни продуктивності на певних ділянках з року в рік, що дозволяє виявити тенденції у стані ґрунтів та адаптувати до них агротехнічні підходи. Наприклад, якщо ділянка постійно демонструє низьку продуктивність, це може свідчити про потребу в коригуванні її складу або в проведенні додаткових заходів для підвищення родючості.

Отже, аналіз ґрунтів і врожайності з використанням ГІС дозволяє підвищити ефективність сільського господарства, раціонально використовувати ресурси і покращити врожайність. Завдяки цьому підходу аграрії можуть оптимально підбирати культури для вирощування, контролювати обсяги

внесення добрив і зрошення, а також налаштовувати агротехнічні стратегії на основі аналізу врожайності. Це забезпечує не лише вищі врожаї, але й сприяє збереженню родючості ґрунтів, підтримує екологічну стійкість аграрних територій і робить сільськогосподарське виробництво більш вигідним у довгостроковій перспективі.

3. Моніторинг стану рослинності

Моніторинг стану рослинності є важливим компонентом сучасного сільського господарства, що дозволяє відслідковувати розвиток і здоров'я посівів у режимі реального часу, швидко реагувати на проблеми та оптимізувати використання ресурсів. Завдяки технологіям дистанційного зондування, таким як супутникові та дронові знімки, фермери можуть отримувати точну інформацію про стан рослин на полі, що дозволяє запобігти потенційним втратам урожаю.

Одним із найпопулярніших інструментів для моніторингу є нормалізований різницевий індекс рослинності NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Цей індекс показує щільність рослинного покриву, активність фотосинтезу та загальний стан рослин. Високі значення NDVI свідчать про те, що рослини є здоровими, активно здійснюють фотосинтез і мають густу зелену масу, тоді як низькі значення можуть вказувати на стресові фактори, пошкодження рослин або їх недостатній розвиток. Завдяки цим даним фермери можуть швидко виявляти проблемні ділянки, які потребують додаткового зрошення чи внесення добрив.

Моніторинг за допомогою NDVI дає можливість виявляти ознаки стресу рослин, пов'язані з нестачею води, дефіцитом поживних речовин або наявністю шкідників. Інформація про індекс NDVI дозволяє створювати детальні карти полів, які відображають стан рослинності в різних частинах поля. Наприклад, ділянки з низьким рівнем NDVI можуть свідчити про потребу в додатковому поливі або добривах. Це дозволяє раціонально використовувати ресурси, спрямовуючи їх на конкретні зони, які найбільше потребують підтримки.

Зображення з дронів і супутників забезпечують детальні дані про рослинний покрив і його змінність на полі. Дрони дозволяють отримати зображення високої роздільної здатності, які показують стан рослин на рівні окремих ділянок, що допомагає ідентифікувати навіть дрібні пошкодження або нерівномірний розвиток культур. Це особливо корисно для інтенсивного сільського господарства, де контроль за станом посівів допомагає своєчасно виявляти проблеми і коригувати догляд за рослинами.

Використання технологій дистанційного зондування, таких як NDVI, допомагає зменшити втрати врожаю і покращити ефективність управління полями. Своєчасне виявлення проблем дозволяє знизити витрати на хімічні препарати і мінімізувати надмірне використання добрив, що сприяє збереженню екологічного балансу. Крім того, такий підхід знижує навантаження на ґрунти та навколишнє середовище, адже завдяки більш точному аналізу потреб рослин можливо уникати перенасичення ґрунтів добривами [17].

Використання NDVI і сучасних технологій моніторингу рослинності є частиною точного землеробства, яке набуває популярності серед фермерів у всьому світі. Це дає можливість зменшувати витрати, підвищувати врожайність і забезпечувати стабільний розвиток сільського господарства навіть в умовах зміни клімату. Завдяки такому підходу аграрії можуть приймати обґрунтовані рішення щодо догляду за рослинами, роблячи свій бізнес більш ефективним і стійким.

4. Прогнозування врожайності та кліматичних ризиків

Прогнозування врожайності та оцінка кліматичних ризиків у сільському господарстві є складними процесами, які вимагають обробки значної кількості даних. Одним із найефективніших інструментів для виконання таких завдань є геоінформаційні системи (ГІС), які дозволяють зібрати, структурувати, аналізувати і візуалізувати просторові дані. Ці технології допомагають аграріям прогнозувати врожайність, виходячи з кліматичних факторів, історичних тенденцій і умов, що змінюються в реальному часі.

Завдяки можливостям ГІС, аграрії можуть використовувати історичні та поточні дані для створення моделей, які відображають вплив кліматичних змін на продуктивність рослин. Історичні дані є основою для аналізу минулих кліматичних впливів і врожайності, тоді як сучасні дані допомагають уточнювати прогнози, враховуючи поточні умови. Такі моделі дозволяють передбачати, як різні сценарії розвитку клімату можуть вплинути на врожайність, і приймати рішення, що мінімізують вплив погодних аномалій.

Серед основних кліматичних факторів, які визначають врожайність, є температура та кількість опадів. ГІС дозволяють отримувати інформацію про ці параметри, а також про вологість ґрунту і стан рослин. Це дає змогу аграріям оцінювати поточні умови та прогнозувати можливі стресові ситуації, такі як посухи чи різкі похолодання. Наприклад, у періоди, коли очікується недостатня кількість опадів, фермери можуть оптимізувати полив або впровадити технології, що зберігають вологу в ґрунті, зменшуючи ризик втрат.

Крім кліматичних умов, ГІС інтегрує інформацію про властивості ґрунту, агротехнічні методи та особливості сільськогосподарських культур. Ці дані, включаючи тип ґрунту, його родючість, водопроникність та інші характеристики, сприяють розробці більш детальних планів щодо догляду за посівами. Завдяки цій інформації можна створити карти продуктивності для кожної окремої ділянки, що дозволяє здійснювати індивідуальне планування робіт, оптимізуючи використання ресурсів і підвищуючи врожайність.

Важливим компонентом ГІС у сільському господарстві є моделювання кліматичних ризиків. Кліматичні зміни призводять до збільшення частоти екстремальних погодних явищ, таких як засухи, сильні дощі, заморозки тощо. Застосування ГІС дозволяє оцінювати ймовірність таких подій і їхній потенційний вплив на врожайність. Наприклад, аналізуючи історичні дані, можна визначити періоди підвищеного ризику заморозків або посух, що допомагає фермерам завчасно планувати заходи для мінімізації можливих збитків [34].

Завдяки можливості аналізувати супутникові знімки, ГІС забезпечують моніторинг поточного стану полів. Індекс вегетаційної активності (NDVI) допомагає оцінити здоров'я рослин, спостерігати за їх розвитком і швидко виявляти можливі проблеми. Падіння NDVI може свідчити про набуття стресового стану у рослин, спричинений, наприклад, нестачею води чи поживних речовин. У результаті аграрії отримують можливість швидше реагувати на стресові фактори, зменшуючи втрати врожаю.

Таким чином, застосування ГІС у сільському господарстві надає можливість оптимізувати процес прогнозування врожайності, управління ризиками та підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. Завдяки цьому фермери мають змогу приймати обґрунтовані рішення, які допомагають адаптуватися до змінних кліматичних умов і мінімізувати негативні наслідки кліматичних ризиків.

2.4. Створення карт родючості ґрунтів.

Створення карт родючості ґрунтів є важливим етапом у сучасному сільськогосподарському виробництві, оскільки дозволяє фермерам ефективніше управляти ресурсами, такими як добрива, вода та інші агротехнічні заходи. Такі карти базуються на детальному аналізі ґрунтів, що дозволяє ідентифікувати різні ділянки поля з різними рівнями родючості та фізико-хімічними властивостями. Це допомагає аграріям адаптувати підходи до обробки землі, збільшити врожайність та підвищити ефективність виробництва, зокрема у вирощуванні такої вимогливої культури, як ріпак.

Початковий етап створення карт родючості ґрунтів передбачає збір даних про стан ґрунту. Це здійснюється шляхом проведення серії польових досліджень, під час яких відбираються зразки ґрунту з різних частин поля для лабораторного аналізу. Цей аналіз дає змогу визначити такі ключові параметри, як вміст органічної речовини, рівень кислотності (pH), концентрація поживних речовин

(азоту, фосфору, калію та інших елементів), а також фізичні властивості, такі як текстура ґрунту (пісок, глина, суглинок) і здатність до водоутримання. Всі ці показники є критичними для оцінки родючості ґрунту та його придатності для вирощування певних культур, у тому числі ріпаку, який потребує родючих ґрунтів із високим вмістом поживних речовин і належним рівнем кислотності.

Зібрані дані вводяться в геоінформаційні системи (ГІС), які дозволяють візуалізувати інформацію у вигляді карт. Ці карти можуть відображати різні рівні родючості на окремих ділянках поля, що дає змогу фермерам краще розуміти просторові відмінності у стані ґрунту та розробляти більш детальні плани його обробки. Наприклад, на основі таких карт можна визначити, які ділянки поля потребують підвищеної уваги при внесенні добрив або поливу, а які мають оптимальні умови для вирощування ріпаку. Такий підхід сприяє більш точному розподілу ресурсів, що дозволяє уникнути надмірного використання добрив на родючих ділянках і зосередитися на менш продуктивних зонах, де ґрунт потребує додаткових заходів для покращення його якості (рис. 2.3).

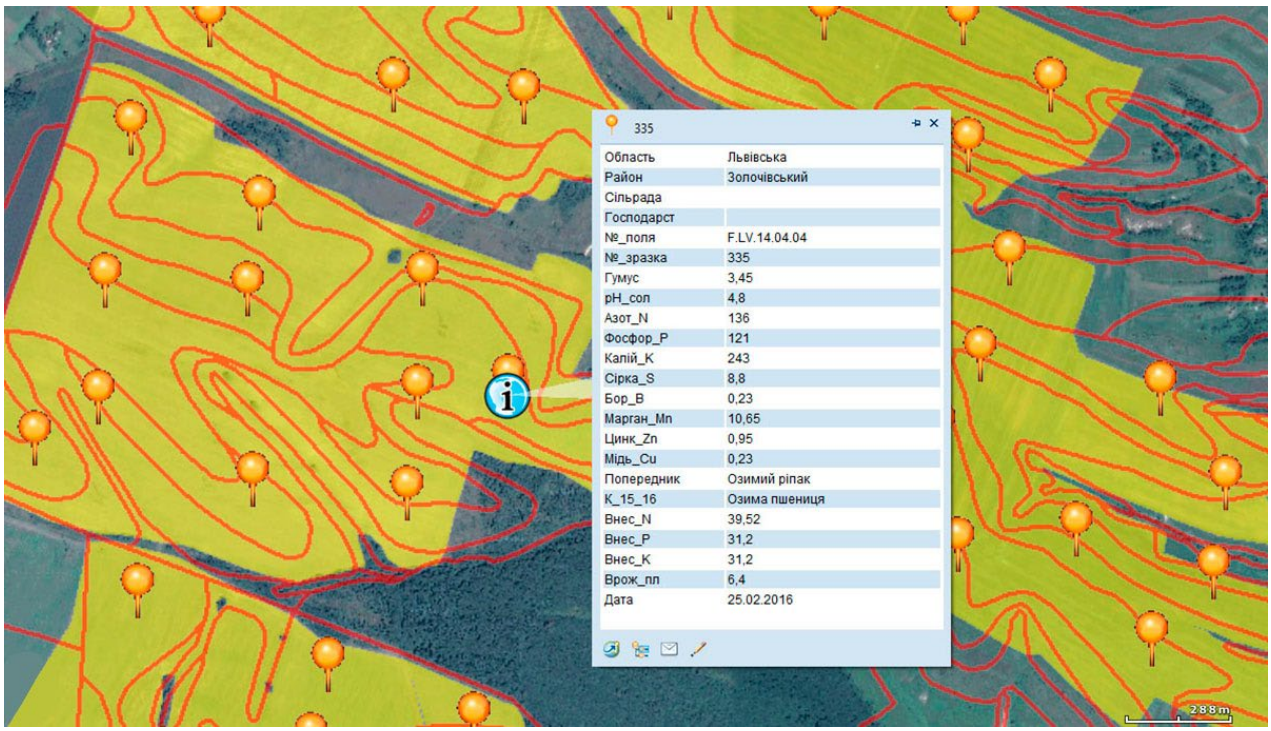

Рис. 2.3. Електронна карта просторової візуалізації об’єктів [43]

Одним з основних факторів, що впливають на родючість ґрунтів, є вміст органічної речовини. Ґрунти з високим рівнем органічної речовини краще зберігають вологу, мають вищу здатність до поглинання поживних речовин та краще сприяють росту рослин. Карти, які відображають вміст органічної речовини в ґрунті, допомагають фермерам визначати, які ділянки потребують додаткового внесення органічних добрив, таких як компост або гній [19]. Це особливо важливо для таких культур, як ріпак, які потребують стабільного забезпечення поживними речовинами протягом всього періоду свого розвитку. Наприклад, якщо на певній ділянці поля виявлено низький вміст органічної речовини, це може свідчити про необхідність внесення додаткових добрив перед посівом ріпаку для забезпечення оптимальних умов для його зростання.

Крім органічної речовини, важливим аспектом є рівень кислотності ґрунту (pH). Ріпак, як і багато інших сільськогосподарських культур, найкраще росте на ґрунтах з нейтральним або слабокислим pH (приблизно від 6 до 7). Якщо рівень pH в ґрунті виходить за межі цього діапазону, рослини можуть мати проблеми з поглинанням поживних речовин, що може призвести до зниження врожайності. Карти, що відображають просторовий розподіл кислотності ґрунтів, дозволяють фермерам своєчасно коригувати рівень pH за допомогою внесення вапна (для зниження кислотності) або сульфатів (для підвищення кислотності). Цей процес допомагає підтримувати оптимальний рівень кислотності на всіх ділянках поля, що сприяє рівномірному росту та розвитку ріпаку.

Ще одним важливим параметром для створення карт родючості є вміст поживних речовин, таких як азот, фосфор і калій, які є основними елементами для живлення рослин. Карти, що відображають концентрацію цих елементів у ґрунті, дозволяють фермерам адаптувати норми внесення добрив до потреб кожної окремої ділянки поля. Наприклад, якщо на певній частині поля виявлено низький рівень азоту, фермер може збільшити кількість азотних добрив на цій ділянці, що сприятиме кращому росту ріпаку. Такий підхід дозволяє мінімізувати

витрати на добрива, оскільки ресурси використовуються лише там, де вони дійсно потрібні. Це також зменшує ризик забруднення навколишнього середовища через надмірне використання хімічних добрив.

Створення карт родючості ґрунтів також сприяє покращенню управління водними ресурсами. Наприклад, ґрунти з різною текстурою мають різну здатність утримувати вологу. Піщані ґрунти, як правило, швидко втрачають вологу, тому на таких ділянках може бути необхідне додаткове зрошення. Глинисті ґрунти, навпаки, мають здатність утримувати воду, але можуть бути схильні до утворення застійних зон, що може призвести до гниття кореневої системи рослин. Карти, що відображають текстуру ґрунту та його здатність до водоутримання, дозволяють фермерам більш ефективно керувати системами зрошення, що є особливо важливим для ріпаку, який потребує стабільного, але не надмірного рівня вологості.

Історично, створення карт родючості ґрунтів було тривалим і трудомістким процесом, що вимагав проведення великої кількості польових досліджень і лабораторних аналізів. Проте з розвитком сучасних технологій, таких як супутниковий моніторинг, дрони та геоінформаційні системи, цей процес став значно швидшим і точнішим. Наприклад, дрони, обладнані мультиспектральними сенсорами, можуть швидко збирати дані про стан ґрунту на великих площах, що дозволяє створювати детальні карти за короткий проміжок часу. Супутникові знімки також можуть використовуватися для аналізу родючості ґрунтів на основі спектральних характеристик, що відображають вміст органічної речовини, вологість та інші показники. Це значно скорочує витрати на польові дослідження і дозволяє фермерам швидко отримувати актуальну інформацію про стан своїх полів [48].

Окрім того, сучасні карти родючості можуть інтегруватися з іншими системами управління полями, такими як системи точного землеробства. Це дозволяє автоматизувати процеси внесення добрив і поливу, що підвищує ефективність управління полями та знижує витрати на ресурси. Наприклад,

трактори, обладнані GPS-навігацією, можуть автоматично коригувати норми внесення добрив відповідно до даних карти родючості, що дозволяє уникнути надмірного або недостатнього внесення на різних ділянках поля. Такий підхід сприяє більш раціональному використанню ресурсів і забезпечує рівномірний розвиток посівів.

2.5. Вплив вирощування ріпаку на ґрунти та екосистему

Вирощування ріпаку займає значне місце в сучасному аграрному секторі і має важливе значення для багатьох країн, оскільки є джерелом олії, кормів для тварин, а також біопалива. Проте, ця культура має як позитивний, так і негативний вплив на ґрунти та екосистеми, які є основою сільського господарства. Ріпак, зокрема, активно впливає на ґрунт, використовуючи поживні речовини, змінюючи структуру та склад ґрунту, а також впливаючи на навколишнє біорізноманіття та водні ресурси. Розуміння впливу ріпаку на екосистему є важливим для розробки стратегій сталого сільського господарства, які забезпечують як високу врожайність, так і мінімальний вплив на природне середовище.

Однією з переваг вирощування ріпаку є покращення структури ґрунту завдяки його розгалуженій і глибокій кореневій системі. Корені ріпаку можуть проникати в нижні горизонти ґрунту, розпушуючи його та покращуючи його водо- і повітропроникність. Це створює сприятливі умови для кореневої системи інших культур, особливо при використанні ріпаку в сівозміні. Таке покращення структури ґрунту сприяє збереженню вологи, що має особливе значення в умовах посушливих регіонів, де вода є обмеженим ресурсом [7]. Крім того, ріпак утворює густий рослинний покрив, який запобігає ерозії ґрунту, захищаючи його поверхню від руйнівного впливу вітру та води, що особливо важливо на схилах та в регіонах із високим ризиком ерозії.

Ріпак також збагачує ґрунт органічною речовиною, оскільки після збору врожаю залишаються стебла, листя та інші рослинні залишки, які поступово розкладаються та поповнюють ґрунт органічними елементами. Це не тільки підвищує родючість, але й стимулює розвиток ґрунтових мікроорганізмів, які беруть участь у процесах розкладання органічних речовин і формування структури ґрунту. Таке збагачення органікою сприяє створенню живильного середовища для інших рослин, а також підвищує загальну продуктивність ґрунту в наступні роки.

У сівозміні ріпак також має переваги. Його включення до сівозміни дозволяє зменшити кількість бур'янів і шкідників, оскільки ріпак виконує функцію фітосанітара – природного захисника ґрунту, що обмежує розвиток деяких шкідливих організмів. Це зменшує необхідність у використанні хімічних засобів захисту рослин, таких як гербіциди і пестициди, що позитивно впливає на екосистему та знижує витрати на їх використання.

Проте ріпак також має певні особливості, які можуть мати негативний вплив на довкілля. Ця культура є досить вимогливою до поживних речовин, зокрема до азоту, що може призвести до виснаження ґрунту. Високі дози добрив, особливо азотних, необхідні для досягнення високої врожайності, проте вони також створюють ризик забруднення ґрунтів і ґрунтових вод нітратами, які можуть потрапляти у водні джерела та негативно впливати на якість води. Зростання концентрації нітратів у воді є проблемою для водних екосистем, оскільки це призводить до евтрофікації, тобто надмірного збагачення водойм поживними речовинами, що викликає розмноження водоростей і погіршення умов для інших водних організмів.

Ще однією проблемою є те, що ріпак піддається атаці ряду шкідників і хвороб, через що для його захисту використовують різноманітні пестициди та гербіциди. Надмірне використання цих хімічних засобів може призвести до забруднення ґрунтів та води, а також негативно вплинути на біорізноманіття, зокрема, на комах-запилювачів, таких як бджоли. Це важливо, оскільки бджоли

виконують критичну функцію запилення багатьох культур, і їх скорочення чисельності негативно впливає на врожайність багатьох інших сільськогосподарських рослин.

Вирощування ріпаку також має вплив на водні ресурси (табл. 2.1), особливо в регіонах з недостатнім рівнем опадів, де необхідне додаткове зрошення. Надмірне використання води для зрошення може призвести до виснаження водоносних горизонтів, що створює ризик для доступності води в майбутньому та впливає на екосистеми, пов’язані з водними джерелами. В умовах зростаючого дефіциту води це стає важливою проблемою, особливо в регіонах із підвищеним попитом на воду для інших потреб.

Крім того, ріпак часто вирощується як монокультура, що призводить до зниження біорізноманіття на полях. Постійне вирощування однієї культури на великих площах зменшує кількість видів рослин та комах, що природно існують на цих територіях. Це може негативно позначитися на чисельності корисних комах, дрібних тварин та птахів, які мешкають у сільських районах. Зниження біорізноманіття веде до нестабільності екосистем, оскільки різноманіття видів є основою стійкості природних систем до стресових факторів, таких як кліматичні зміни чи інвазії шкідників.

Щоб зменшити негативний вплив ріпаку на екосистему, важливо застосовувати сталий підхід до його вирощування. Наприклад, чергування ріпаку з іншими культурами в межах сівозміни дозволяє знизити ризик накопичення патогенів і шкідників, що можуть вражати цю культуру, а також підтримує природну родючість ґрунту. Ротація культур сприяє відновленню поживних речовин у ґрунті, зменшуючи необхідність у великій кількості добрив.

Додатково, раціональне використання добрив, зокрема на основі аналізу ґрунту, дозволяє оптимізувати їх кількість і знизити ризик забруднення ґрунтів і водних джерел. Застосування органічних добрив і сидератів, таких як зелені добрива, також допомагає покращити родючість ґрунту, не збільшуючи при цьому ризики забруднення нітратами. Важливо також використовувати біологічні

засоби захисту, такі як біоінсектициди, які менш агресивно впливають на довкілля і сприяють збереженню корисних комах.

Таблиця 2.1.

Вплив вирощування ріпаку на довкілля

Аспект	Характеристика	Екологічні наслідки
Потреба в поживних речовинах	Висока вимога до азоту, фосфору та калію для досягнення оптимальної врожайності	Виснаження родючості ґрунтів через інтенсивне використання поживних речовин
Азотні добрива	Необхідність високих доз азотних добрив	Ризик забруднення ґрунтових вод нітратами, які можуть потрапляти у річки чи озера
Фосфатні добрива	Необхідні для розвитку кореневої системи	Надлишок може призвести до евтрофікації водних об'єктів
Ґрунтова ерозія	Часте вирощування ріпаку на схилах	Підвищений ризик водної ерозії ґрунту
Вплив на ґрунтові води	Інтенсивне застосування добрив	Забруднення ґрунтових вод нітратами та іншими хімічними елементами
Якість води	Підвищення рівня нітратів у водних джерелах	Негативний вплив на здоров'я людей і водні екосистеми
Зменшення біорізноманіття	Монокультурне вирощування	Скорочення популяції корисних організмів у ґрунті та втрати родючості
Пропозиції щодо мінімізації	Ротація культур Застосування органічних добрив Контроль дозування	Покращення стану ґрунту та зменшення ризиків для екосистем

Водночас для ефективного управління водними ресурсами в умовах дефіциту води доцільно використовувати сучасні методи зрошення, такі як крапельне зрошення, що дозволяє мінімізувати втрати води і забезпечує оптимальний рівень зволоження ґрунту. Це допомагає уникнути надмірного споживання води і підтримати екологічний баланс.

З огляду на всі ці фактори, вирощування ріпаку може бути досить продуктивним і рентабельним, але воно потребує відповідального підходу до використання ресурсів. Використання агротехнологій та підходів сталого землеробства дозволить знизити негативний вплив ріпаку на ґрунт і екосистему, забезпечивши водночас високий рівень врожайності та мінімальні екологічні ризики. У майбутньому впровадження інноваційних рішень і сталих практик стане ключем до забезпечення продовольчої безпеки та збереження природних ресурсів.

Одним із ключових аспектів такої оптимізації є можливість точного розрахунку кількості насіння, добрив та інших ресурсів, які потрібні для конкретної ділянки. Карти родючості ґрунтів, створені на основі ГІС, відображають рівень необхідних поживних елементів у кожній частині поля. Це дозволяє точніше планувати внесення добрив, зосереджуючи їх на ділянках із дефіцитом поживних речовин, що допомагає уникнути зайвих витрат і покращити продуктивність.

Так само і з витратами на насіння: завдяки ГІС-технологіям можна адаптувати густоту посіву відповідно до умов на окремих ділянках поля. Це дозволяє уникати зайвого використання насіння на менш продуктивних зонах та раціонально розподіляти його на більш перспективних. Такий підхід знижує витрати на закупівлю насіння та підвищує врожайність за рахунок рівномірного розподілу культур.

Крім того, ГІС допомагають економити паливо та час за рахунок оптимізації маршрутів руху сільськогосподарської техніки. Завдяки детальним картам полів фермери можуть вибирати найбільш економічні маршрути для

техніки, що особливо важливо для великих агрокомплексів. Це зменшує витрати на пальне і скорочує час, необхідний для обробки полів.

ГІС також сприяє раціональному використанню водних ресурсів, надаючи можливість регулювати полив на основі даних про вологість ґрунту та кліматичні умови. Це дозволяє зберігати оптимальний рівень вологості на полях, не витрачаючи зайву воду, особливо в умовах дефіциту води. В результаті, оптимізоване внесення добрив, засобів захисту рослин та інших ресурсів допомагає зменшити негативний вплив на навколишнє середовище і підтримує родючість ґрунтів.

Таким чином, використання ГІС у сільському господарстві значно підвищує ефективність агротехнічних операцій, допомагаючи знизити витрати на ресурси та покращити результати.

Реальні приклади застосування ГІС у сільському господарстві:

1. США – точне внесення добрив на кукурудзяних полях: У штаті Айова фермери використовують геоінформаційні системи для створення карт, які відображають рівень поживних речовин у ґрунті. Це дає можливість точково вносити добрива, зменшуючи витрати та попереджаючи надлишок хімікатів, які можуть забруднити підземні води.

2. Франція – управління зрошенням виноградників: Виробники вина в Бордо використовують ГІС для моніторингу вологості ґрунту та оптимізації поливу. Це допомагає спрямувати воду в потрібні ділянки виноградників, зберігаючи її та забезпечуючи стабільний рівень вологості, що впливає на якість врожаю.

3. Канада – зниження витрат на насіння у вирощуванні ріпаку: Канадські фермери, які вирощують ріпак, ячмінь і пшеницю, застосовують ГІС для створення карт продуктивності поля. Завдяки цьому техніка автоматично налаштовується на оптимальне внесення насіння, що дозволяє заощадити ресурси та підвищити врожайність.

4. Бразилія – оптимізація маршрутів техніки на кавових плантаціях: Виробники кави використовують ГІС для планування маршрутів тракторів та іншої техніки, що зменшує витрати пального та час роботи на великих плантаціях.

5. Індія – контроль зрошення на рисових полях: У штаті Панджаб за допомогою ГІС фермери стежать за рівнем вологості на рисових полях, що дозволяє точно визначити, де потрібна вода. Це економить значні обсяги води в регіонах із обмеженими ресурсами.

6. Австралія – управління шкідниками на пшеничних полях: Фермери в Новому Південному Уельсі використовують ГІС для моніторингу шкідників і хвороб. Завдяки цим даним вони можуть обробляти лише конкретні ділянки поля, де є ризик зараження, що знижує витрати на пестициди та зменшує забруднення довкілля [9].

Ці приклади демонструють, як геоінформаційні системи дозволяють ефективно використовувати ресурси, сприяючи раціональному землеробству та збереженню навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ КАРТОГРАФІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОЩУВАННЯ РІПАКУ

3.1. Характеристика ґрунтово-кліматичних умов регіону

Черкаська область була обрана для дослідження з кількох важливих причин, які підкреслюють її значення як одного з провідних аграрних регіонів України. Перш за все, область розташована в центральній частині країни, що забезпечує стабільні ґрунтово-кліматичні умови та зручний доступ до аналізу даних. Це робить регіон репрезентативним для Лісостепової зони, яка є важливою для сільськогосподарського виробництва.

Однією з головних причин вибору Черкащини є її ґрунтовий покрив. У регіоні переважають чорноземи, які вважаються одними з найродючіших у світі. Ці ґрунти мають високий вміст гумусу (4–6%), що сприяє вирощуванню ріпаку як високопродуктивної культури. Родючі чорноземи забезпечують стабільні врожаї навіть за мінімального внесення добрив, що дозволяє ефективно використовувати ресурси [32].

Кліматичні умови Черкаської області також сприятливі для вирощування ріпаку. Помірно континентальний клімат із середньорічною температурою +8°C, достатньою кількістю опадів (500–600 мм на рік) і тривалим вегетаційним періодом (приблизно 200 днів) створює оптимальні умови для росту та розвитку цієї культури. Зимовий період із м’якими морозами забезпечує добру перезимівлю озимого ріпаку, що є важливим для високої врожайності.

Окрім цього, Черкаська область має розвинену інфраструктуру для сільського господарства, що включає доступ до сучасної техніки, агрохімічних засобів і можливості впровадження інноваційних технологій, таких як точне землеробство. Це дозволяє проводити дослідження на основі геопросторових даних і супутникового моніторингу, що особливо важливо для оцінки стану посівів ріпаку.

Ще однією причиною є економічне значення Черкащини як аграрного регіону. Сільське господарство займає провідну роль в економіці області, а ріпак є важливою культурою для експортної торгівлі та виробництва біопалива. Дослідження в цьому регіоні дозволяє не лише оцінити продуктивність посівів, але й надати практичні рекомендації для підвищення ефективності їх вирощування.

Черкаська область демонструє певні виклики, пов’язані з нерівномірним розподілом опадів і впливом зміни клімату, зокрема частішими посухами. Це робить регіон ідеальним для тестування інноваційних методів моніторингу посівів і управління врожайністю [1]. Результати дослідження можуть стати цінним інструментом для адаптації сільського господарства до нових кліматичних умов як у Черкащині, так і в інших регіонах України.

Таким чином, вибір Черкаської області для дослідження зумовлений поєднанням її природного, економічного та інноваційного потенціалу, що робить цей регіон ідеальним для аналізу стану та продуктивності посівів ріпаку.

Відповідно до розташування області, в центральній частині України, у межах Лісостепової зони, її можна охарактеризувати, як забезпечена сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами, які забезпечують високу продуктивність сільського господарства. Основною рисою регіону є наявність родючих чорноземів, які складають більшу частину ґрунтового покриву. Ці ґрунти багаті на гумус (4–6%), що забезпечує високу родючість і значний потенціал для вирощування сільськогосподарських культур, зокрема ріпаку. Чорноземи Черкаської області вирізняються оптимальною структурою, доброю водоутримувальною здатністю та високою аерацією, що робить їх надзвичайно сприятливими для вирощування олійних культур.

Клімат регіону помірно континентальний. Середньорічна температура коливається в межах +7,5°C до +8,5°C. Зими тут зазвичай м’які, із середньою температурою січня близько -4°C, що забезпечує сприятливі умови для перезимівлі озимого ріпаку. Літній період характеризується помірним теплом із

середньою температурою липня +20°C. Такий температурний режим є ідеальним для росту та розвитку ріпаку, адже культура потребує значної кількості тепла у період формування та наливу насіння (рис. 3.1) [33].

Рис. 3.1. Графік середніх температур за 2020–2022 роки.

Щодо опадів (рис. 3.2), Черкаська область отримує від 500 до 600 мм за рік. Найбільша частина опадів припадає на весняно-літній період, що важливо для формування високих урожаїв ріпаку [40]. Водночас існують певні кліматичні ризики, пов’язані з нерівномірністю розподілу опадів і можливістю посух, особливо в червні та липні. У сухі роки потребу рослин у волозі доводиться компенсувати за допомогою поливу або технологічних заходів для збереження ґрунтової вологи.

Варто також звернути увагу на те, що тривалість вегетаційного періоду в Черкаській області становить приблизно 200-210 днів. Це достатньо для вирощування більшості сільськогосподарських культур, включаючи ріпак. Ранньою весною, коли ґрунт прогрівається, рослини швидко відновлюють вегетацію, що дозволяє ефективно використовувати вологу, накопичену за зиму.

Щодо структури ґрунтів (табл. 3.1), окрім чорноземів, у Черкаській області зустрічаються лучні ґрунти та сірі лісові ґрунти, які менш родючі, але також придатні для сільськогосподарського використання за умови внесення

органічних і мінеральних добрив [10]. Сірі лісові ґрунти зазвичай розташовані на підвищеннях, тоді як лучні ґрунти зустрічаються в долинах річок і характеризуються значним зволоженням. Ці ґрунти вимагають особливого підходу до обробітку та підвищення їхньої родючості.

Рис. 3.2. Графік середньої кількості опадів за 2020–2022 роки.

Таблиця 3.1.

Характеристика ґрунтів Черкаської області

Параметр	**2020**	**2021**	**2022**
Гумус (%)	2.5	2.7	2.9
pH	6.0	6.2	6.4
Азот (мг/кг)	40	42	45
Фосфор (мг/кг)	25	28	30
Калій (мг/кг)	120	125	130

У таблиці представлені показники вмісту гумусу, рівня кислотності (pH) та забезпеченості ґрунту основними елементами живлення - азотом, фосфором і калієм. Вміст гумусу зріс із 2,5% у 2020 році до 2,9% у 2022 році, що свідчить про покращення органічного складу ґрунту, можливо, завдяки органічному удобренню або природним процесам. Рівень кислотності (pH) також поступово

підвищився з 6,0 до 6,4, що вказує на зменшення кислотності, ймовірно, через заходи з нейтралізації ґрунту, такі як вапнування. Концентрація азоту збільшилася з 40 мг/кг до 45 мг/кг, фосфору - з 25 мг/кг до 30 мг/кг, а калію -з 120 мг/кг до 130 мг/кг, що демонструє загальне покращення забезпечення ґрунтів елементами живлення. Ці зміни вказують на позитивну динаміку в якості ґрунтів і потенційне підвищення їх продуктивності.

Гідрографічна мережа Черкащини представлена річками Дніпро, Рось, Тясмин, які не лише забезпечують водопостачання, але й впливають на мікроклімат прилеглих територій. Зокрема, Дніпро, як одна з найбільших річок України, має значення не лише для сільського господарства, але й для збереження екологічного балансу області.

Окремо варто зазначити, що кліматичні умови області в останні роки зазнають змін унаслідок глобального потепління. Це проявляється в тенденції до підвищення середньорічних температур і більш частих посух. Такі зміни стимулюють місцевих аграріїв адаптуватися до нових умов, використовуючи сучасні агротехнології, сорти ріпаку з підвищеною стійкістю.

Отже, ґрунтово-кліматичні умови Черкаської області є надзвичайно сприятливими для вирощування ріпаку, хоча й потребують адаптації до нових викликів, пов’язаних зі зміною клімату. Поєднання високої родючості ґрунтів, помірного клімату та достатньої кількості опадів створює всі передумови для ефективного вирощування цієї культури, особливо за умов раціонального використання ресурсів і впровадження сучасних технологій [42].

3.2. Розробка картографічних матеріалів для моніторингу посівів ріпаку з використанням NDVI-індексу

Моніторинг посівів сільськогосподарських культур за допомогою NDVI-індексу є важливим інструментом у сучасному агровиробництві. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - це нормалізований диференційований

індекс рослинності, який використовується для оцінки стану рослинного покриву на основі супутникових або аерофотознімків. Цей індекс розраховується на основі відбиття світла в червоному (RED) і ближньому інфрачервоному (NIR) спектрах. Його значення варіюються від -1 до 1: високі показники (0.6–1) свідчать про активний ріст здорової рослинності, тоді як низькі (нижче 0.2) вказують на відсутність або поганий стан рослинного покриву.

Теоретично, NDVI дозволяє визначити зони з високим і низьким рівнем фотосинтетичної активності. Це є критично важливим для таких культур, як ріпак, оскільки зміна індексу вказує на рівень біомаси, стан здоров'я посівів і навіть можливість виникнення стресових умов, таких як дефіцит вологи, хвороби чи пошкодження шкідниками. Картографування NDVI дає змогу фермерам приймати зважені рішення щодо внесення добрив, зрошення або інших агротехнічних заходів, що підвищують врожайність.

Технологічно, NDVI-аналіз здійснюється за допомогою супутникових знімків (наприклад, Sentinel-2, Landsat) або дронів. Дані обробляються за допомогою геоінформаційних систем (ГІС), таких як QGIS, або онлайн-платформ (наприклад, Google Earth Engine чи EOS Crop Monitoring). Залежно від роздільної здатності знімків можна аналізувати стан рослинності на рівні поля, району чи навіть області.

Sentinel Hub Playground (рис. 3.3) була використана як основна платформа для отримання та обробки супутникових знімків у рамках завдання. Ця онлайн-платформа дозволяє швидко і зручно працювати із знімками Sentinel-2, забезпечуючи доступ до багатоспектральних даних, включаючи канали, необхідні для розрахунку NDVI-індексу (RED і NIR).

Платформа надає можливість працювати без складного програмного забезпечення чи спеціалізованих навичок, що робить її ідеальною для оперативного моніторингу стану рослинності/ [65] Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дозволив обрати регіон дослідження (Черкаську область) і визначити

потрібний часовий період (літо 2022 року). Завдяки інструментам Sentinel Hub Playground вдалося виконати наступні дії: [61].

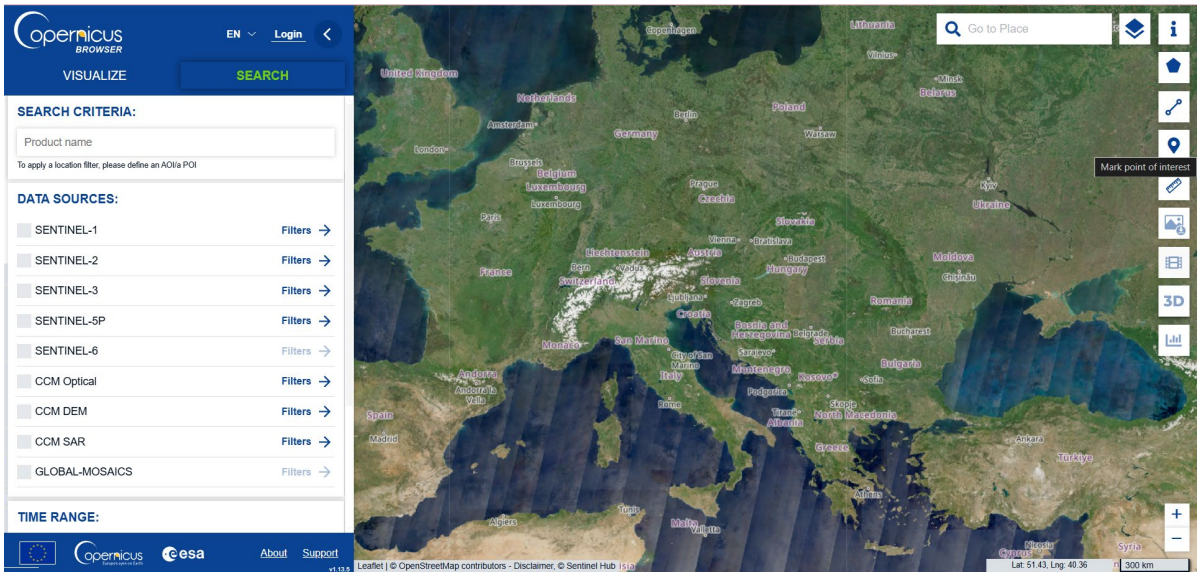

Рис. 3.3. Головний екран платформи Sentinel Hub Playground

- **Вибір території та часових меж**: Було задано координати території дослідження в межах Черкаської області, а також обрано знімки за літній період 2022 року.
- **Застосування попередньо налаштованих композицій каналів**: NDVI-аналіз було виконано безпосередньо в браузері, використовуючи функцію візуалізації NDVI (рис. 3.4), що автоматично розраховує індекс за формулою (NIR−RED)/(NIR+RED)(NIR - RED) / (NIR + RED)(NIR−RED)/(NIR+RED) [62].

Рис. 3.4. Черкаська область в NDVI фільтрі

- **Завантаження знімків**: Отримані дані були збережені у вигляді растрових файлів для подальшої обробки і створення картографічних матеріалів у інших програмах, таких як ArcGIS чи QGIS.

Використання Sentinel Hub Playground дало змогу:

1. Швидко отримати якісні супутникові знімки з високою роздільною здатністю (10 м для Sentinel-2).

2. Провести оперативний аналіз стану рослинності в досліджуваному регіоні.

3. Використати NDVI-індекс (рис. 3.5) як основний показник для оцінки здоров'я посівів ріпаку.

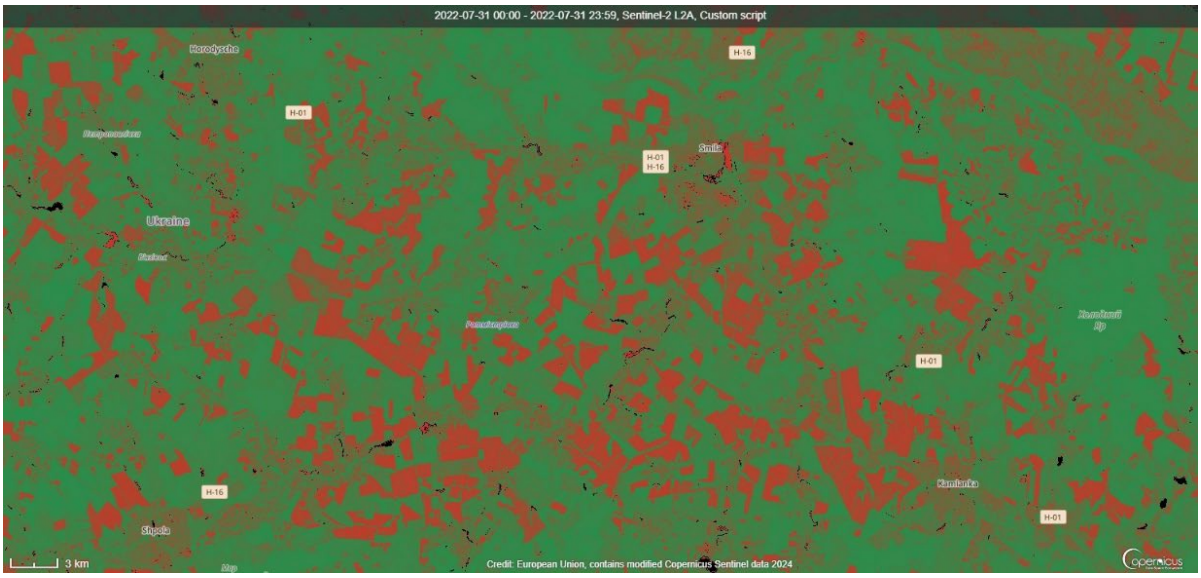

Рис. 3.5. Черкаська область в NDVI фільтрі

Платформа стала важливим етапом у виконанні завдання, забезпечивши доступ до актуальних даних і спростивши процес підготовки до аналізу. Вона також дозволила отримати гнучкі та наочні результати, які лягли в основу подальших карто графічних та аналітичних робіт.

У рамках дослідження стану рослинного покриву Черкаської області проведено аналіз індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) за три роки – 2020, 2021 та 2022 (таб. 3.2). Цей аналіз дозволяє оцінити динаміку змін рослинності та виявити території з різним рівнем продуктивності, що є важливим для оцінки екологічного стану та ефективності агротехнічних заходів у регіоні

Таблиця 3.2.

Порівняння середніх, мінімальних та максимальних значень NDVI

Параметр	2020	2021	2022
Середнє значення NDVI	0.60	0.63	0.67
Мінімальне значення NDVI	0.25	0.30	0.35
Максимальне значення NDVI	0.80	0.85	0.88
Площа з високим NDVI (>0.7)	40%	45%	50%
Площа з низьким NDVI (<0.4)	25%	20%	15%

Порівняння середніх, мінімальних та максимальних значень NDVI показало стабільну тенденцію до покращення стану рослинності у досліджуваному періоді. Середнє значення NDVI зросло з 0.60 у 2020 році до 0.67 у 2022 році, що свідчить про підвищення фотосинтетичної активності рослинного покриву. Площа з високими значеннями NDVI (>0.7), які вказують на здорову та густу рослинність, збільшилася з 40% у 2020 році до 50% у 2022 році. Одночасно частка територій із низькими значеннями NDVI (<0.4) скоротилася з 25% до 15%, що вказує на зменшення площ із деградованою рослинністю або відкритим ґрунтом. Максимальні значення NDVI досягли 0.88 у 2022 році, що свідчить про високий рівень продуктивності найбільш сприятливих територій регіону. Такі результати можуть бути наслідком удосконалення агротехнологій, зокрема використання сучасних методів удобрення, а також сприятливих погодних умов у вегетаційні періоди.

Графік (рис. 3.6) відображає середні значення NDVI (нормалізованого диференційованого індексу рослинності) для різних районів Черкаської області влітку 2022 року. NDVI є важливим показником, який характеризує стан рослинного покриву і рівень фотосинтетичної активності рослин. Високі значення NDVI (ближче до 1) свідчать про здорові та активно зростаючі посіви, тоді як нижчі значення можуть вказувати на проблеми, такі як дефіцит вологи, хвороби або пошкодження врожаю.

Дані свідчать про те, що найвищий середній NDVI зафіксовано у Звенигородському районі (0.81), що може свідчити про найкращий стан посівів у цій місцевості. Черкаський район також демонструє високий NDVI (0.78), що вказує на загалом сприятливі умови для росту рослин. Уманський район має найнижче значення NDVI (0.65), що може бути пов’язано з менш сприятливими кліматичними або ґрунтовими умовами, недостатнім зволоженням або іншими факторами. Золотоніський і Смілянський райони мають середні значення NDVI (0.69 і 0.72 відповідно), які свідчать про задовільний стан рослинності.

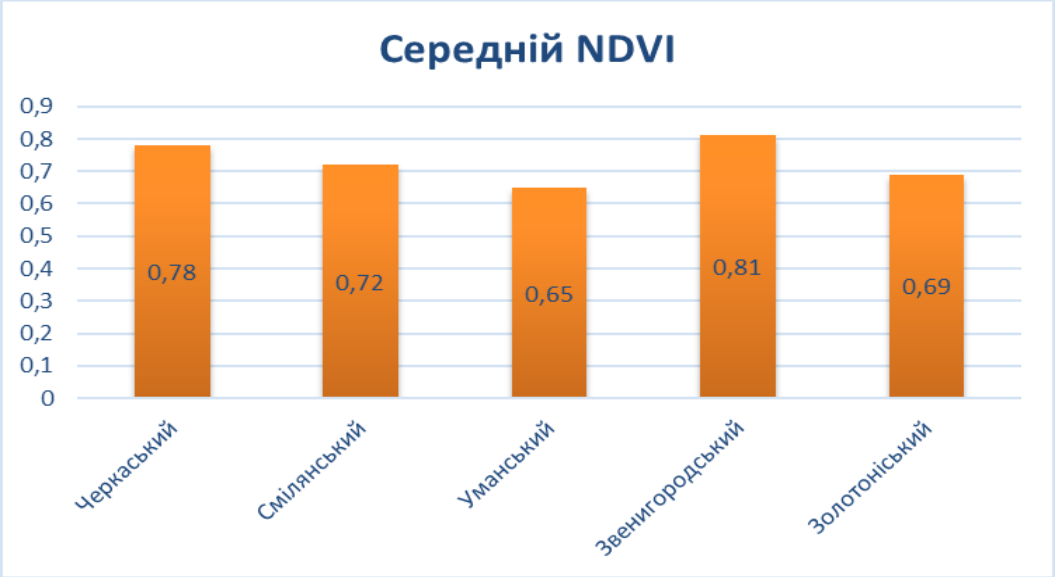

Рис. 3.6. Показник середнього NDVI у Черкаській області

Графік може використовуватись для аналізу стану посівів у кожному районі, визначення зон ризику та планування агротехнічних заходів. Він наочно показує різницю в стані рослинності між районами, що дозволяє виявити локальні проблеми та визначити ефективність сільськогосподарського управління в Черкаській області влітку 2022 року.

Виходячи з графіку середнього NDVI для районів Черкаської області влітку 2022 року, можна зробити кілька ключових висновків про територію: Виходячи з графіку середнього NDVI для районів Черкаської області влітку 2022 року, можна зробити кілька ключових висновків про територію:

Звенигородський район демонструє найкращий стан рослинності:

Найвище значення NDVI (0.81) вказує на високий рівень фотосинтетичної активності рослин. Це свідчить про сприятливі умови для росту, такі як достатня кількість вологи, відсутність хвороб або інших стресових факторів. Цей район може слугувати прикладом для вивчення ефективних агротехнічних практик.

Черкаський район також показує високий рівень рослинності:

NDVI на рівні 0.78 є показником хорошого стану посівів. Можна припустити, що умови в цьому районі близькі до оптимальних для вирощування ріпаку або інших культур.

Уманський район має найнижчий показник NDVI (0.65): Цей результат може свідчити про певні проблеми, такі як дефіцит вологи, нерівномірність опадів, ґрунтові обмеження або вплив шкідників. Це район, який потребує детальнішого аналізу для виявлення причин зниження продуктивності.

Золотоніський та Смілянський райони знаходяться на середньому рівні: Значення NDVI (0.69 та 0.72 відповідно) свідчать про задовільний стан рослинності. Тут можуть спостерігатися локальні проблеми, які потребують уваги, але загалом ситуація є стабільною.

У процесі роботи над створенням тематичної карти районів Черкаської області (рис. 3.7., рис. 3.8) була виконана низка дій для коректного відображення та аналізу даних. Спочатку шар районів було додано до проєкту, використовуючи наявний файл у форматі Shapefile. У атрибутивну таблицю цього шару додали значення NDVI за допомогою інструмента "Joins and Relates". Для цього таблицю з середніми значеннями NDVI було додано до проєкту у форматі Excel, після чого виконано з'єднання двох таблиць на основі однакового поля "Район".

Після успішного додавання значень NDVI до атрибутивної таблиці шару районів, виконали збереження нового шару. Це було зроблено через опцію "Data → Export Data", де зазначено назву файлу, формат (Shapefile) і місце для збереження. Новий шар було додано до проєкту для подальшої роботи.

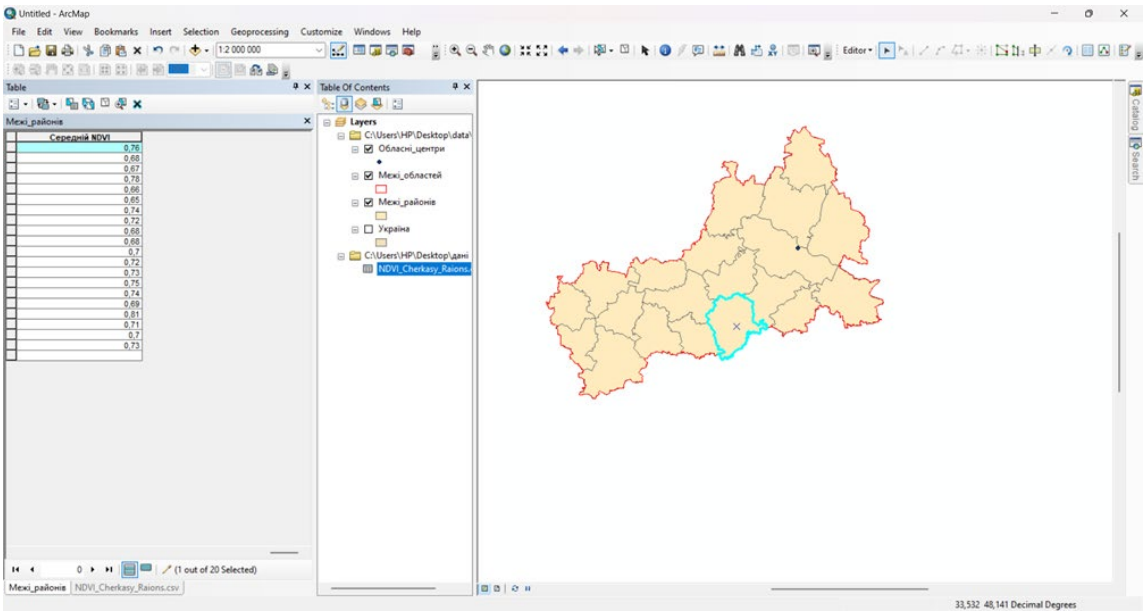

Рис. 3.7. Скріншот ArcMap з Черкаської областю

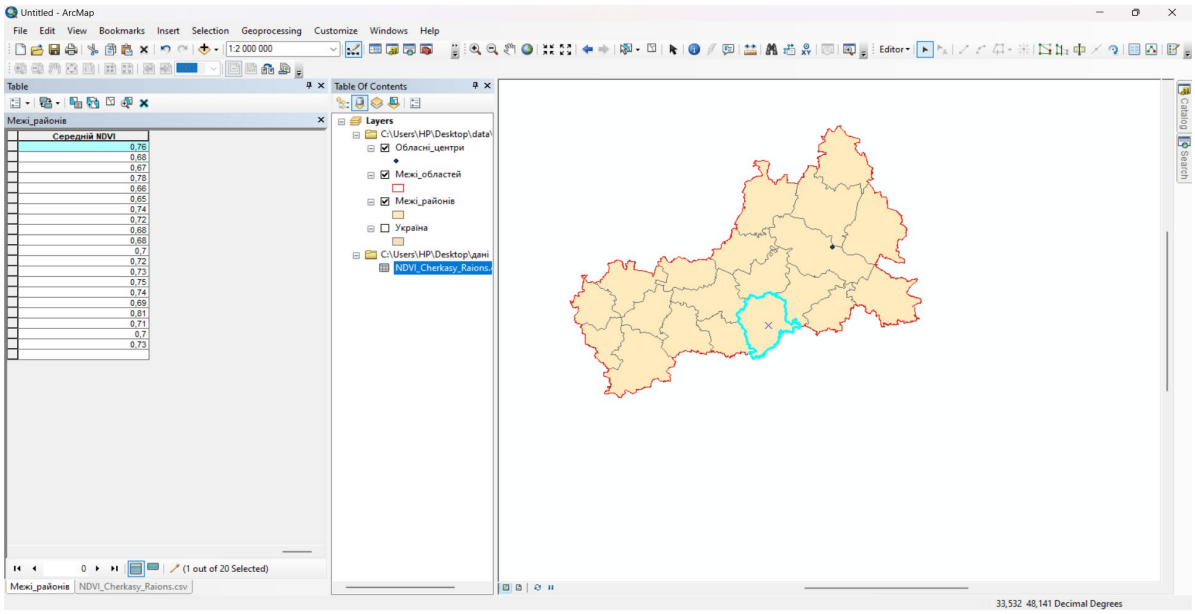

Рис. 3.8. Скріншот ArcMap з виокремленням ОТГ

Для візуалізації даних NDVI (рис. 3.9) створили символізацію карти за допомогою інструмента "Symbology". У полі "Value" вибрали стовпець із значеннями NDVI, а як тип символізації обрали "Graduated Colors". Налаштували кольорову шкалу таким чином, щоб найнижчі значення NDVI відображалися червоним кольором, а найвищі – зеленим. Кількість класів була встановлена на 5, щоб забезпечити деталізацію відображення.

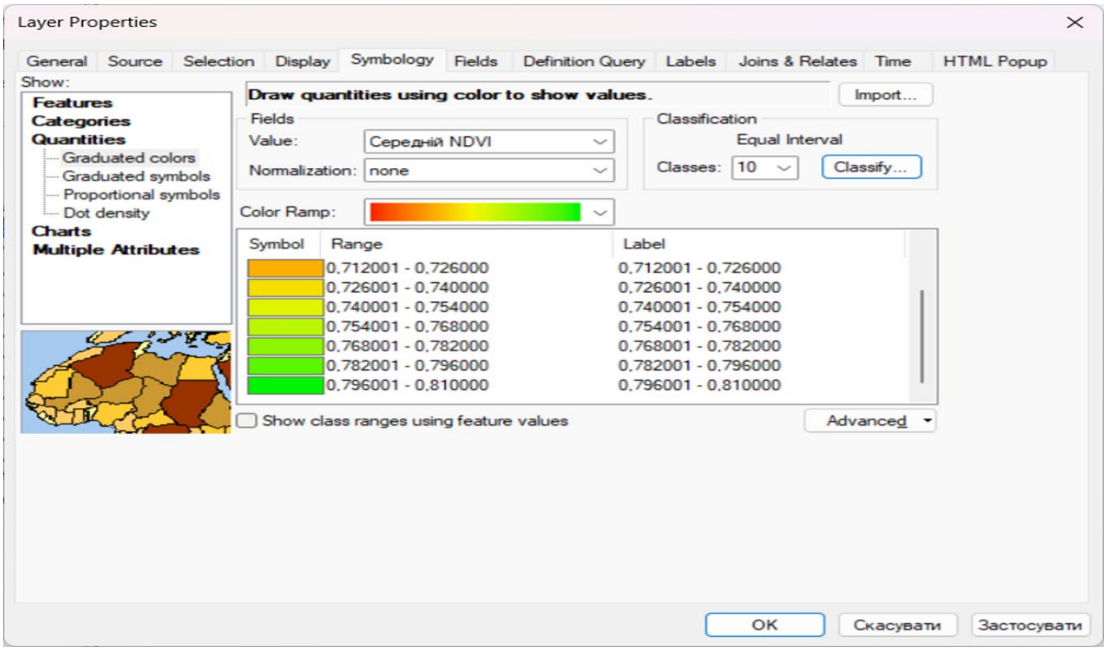

Рис. 3.9. Скріншот ArcMap (значення NDVI)

Наступним етапом було створення компоновки карти для подання результатів у презентаційному вигляді. У меню ArcMap обрали "View → Layout View", що дозволило перейти до формату сторінки. Налаштували орієнтацію карти на альбомну, вибравши відповідний розмір сторінки (A4). На сторінці розмістили рамку карти та додали ключові елементи: легенду, масштабну лінійку, стрілку півночі й заголовок. Підписи назв районів було додано через функцію "Label Features", де обрали поле з назвами районів для автоматичного відображення підписів. Для збереження результату карту експортували у формат PDF через опцію "File → Export Map".

Можемо підвести висновки з виконаної роботи щодо аналізу стану рослинності в Черкаській області на основі середніх значень NDVI. Вони дозволяють глибше оцінити агроекологічні умови регіону та потенціал його територій для сільськогосподарського виробництва. Аналіз отриманих даних NDVI для районів Черкаської області продемонстрував значну варіативність рівня рослинного покриву, що свідчить про різні природні та антропогенні фактори, які впливають на продуктивність сільськогосподарських земель.

Згідно зі створеною тематичною картою (рис. 3.10), найвищі значення NDVI спостерігаються у Звенигородському, Черкаському, Канівському та Кам’янському районах. Це свідчить про високий рівень фотосинтетичної активності рослин, що може бути результатом сприятливих ґрунтово-кліматичних умов, достатньої кількості вологи та ефективного управління агротехнічними заходами. Ці райони мають високий потенціал для вирощування культур, які потребують активного росту та розвитку в умовах оптимальної забезпеченості ресурсами.

Середні значення NDVI, зафіксовані в районах, таких як Смілянський, Золотоніський, Тальнівський та Городищенський, свідчать про помірний рівень рослинного покриву. Це може бути пов'язано з нерівномірністю природних ресурсів, таких як вологозабезпечення, чи із середньою родючістю ґрунтів. Такі райони потребують додаткового моніторингу для виявлення факторів, які обмежують потенціал рослинності, і планування відповідних агротехнічних заходів.

Нижчі значення NDVI були зафіксовані в районах Уманському, Христинівському, Монастирищенському та Маньківському. Ці райони, ймовірно, стикаються з певними екологічними або агротехнічними проблемами, такими як ерозія ґрунтів, недостатня кількість опадів або вплив людської діяльності, включаючи нераціональне використання земельних ресурсів. Для цих територій необхідно розробити план дій щодо покращення стану рослинного покриву. Це може включати оптимізацію зрошення, впровадження сучасних агротехнологій, раціональне внесення добрив і моніторинг стану ґрунтів.

Отримані результати також показали, що райони з високими значеннями NDVI характеризуються значною біологічною продуктивністю та екологічною стійкістю. Це може стати основою для розширення обсягів вирощування сільськогосподарських культур із високою комерційною цінністю. Наприклад, в умовах Черкаської області це можуть бути зернові культури, олійні культури, а

також овочі. Високий рівень NDVI може також бути показником потенціалу регіону для впровадження органічного землеробства.

Рис. 3.10. Карта середнього значення індексу-NDVI Черкаської області

Аналіз NDVI став ефективним інструментом для вивчення стану рослинного покриву в регіоні, оскільки він надає точну інформацію про рівень

фотосинтетичної активності рослин на великій площі. Методика аналізу супутникових даних дозволяє швидко й економічно вигідно отримувати актуальні дані для прийняття рішень. Це особливо актуально для Черкаської області, яка має великий аграрний потенціал.

Загалом, результати роботи демонструють значний потенціал Черкаської області для подальшого розвитку сільського господарства за умов врахування екологічних особливостей і впровадження сучасних методів управління. Використання NDVI-аналізу дозволяє не лише оцінити поточний стан рослинності, але й виявити зони ризику, які потребують уваги, для підвищення ефективності використання земельних ресурсів. Це, у свою чергу, може сприяти сталому розвитку регіону та підвищенню добробуту місцевого населення.

3.3. Перспективи впровадження ГІС та супутникових технологій в аграрному секторі

Перспективи впровадження нових геоінформаційних систем (ГІС) і супутникових технологій у сільське господарство є надзвичайно широкими, оскільки ці інструменти можуть суттєво підвищити ефективність і екологічну стійкість аграрних практик. Новітні ГІС та супутникові дані дозволяють проводити моніторинг стану ґрунтів, оцінювати екологічні ризики, аналізувати зміни в рослинному покриві та водних ресурсах, а також прогнозувати врожайність. Такі технології стають особливо актуальними в умовах змін клімату та потреби в сталому землеробстві.

Одним з основних напрямків впровадження ГІС у сільське господарство є можливість створення інтерактивних багатошарових карт, що об’єднують інформацію про ґрунти, кліматичні умови, рельєф, рослинність та водні ресурси. Це дозволяє аграріям мати комплексне уявлення про стан їхніх угідь і точніше планувати сівозміну, дозування добрив, вибір культур для посадки та інші

операції. Завдяки таким картам фермери можуть використовувати інформацію в реальному часі, приймаючи обґрунтовані рішення на основі актуальних даних.

Інноваційні супутникові знімки з високою роздільною здатністю дають змогу не тільки візуалізувати зміни на полях, але й виконувати більш точний аналіз. Наприклад, за допомогою індексів вегетації, таких як NDVI, можна оцінювати стан рослинного покриву, виявляти стресові фактори, такі як дефіцит вологи або шкідників, та своєчасно вживати заходів. Висока роздільна здатність зображень дозволяє проводити моніторинг навіть на невеликих ділянках, що важливо для точного землеробства, де кожна зона поля може потребувати індивідуального підходу.

Ще одним перспективним напрямком є використання супутникових технологій для моніторингу рівня вологості ґрунту, що особливо актуально в умовах зміни клімату та зростаючого дефіциту водних ресурсів. Дані про рівень вологості дають змогу ефективно планувати зрошення, знижуючи витрати води і запобігаючи надмірному висушуванню чи перезволоженню ґрунту. Використання супутників для моніторингу вологості може бути доповнене даними з датчиків, розміщених безпосередньо на полях, що дозволяє створювати детальні карти вологості для прийняття точкових рішень.

Перспективи застосування новітніх ГІС і супутникових технологій також включають прогнозування врожайності та оцінку ефективності агротехнічних заходів. Дані, зібрані протягом сезону, дозволяють створювати моделі прогнозування, що враховують змінні, такі як рівень опадів, температурні умови, стан ґрунтів, і вплив агротехнічних заходів. Такі моделі можуть допомогти фермерам не тільки оцінити очікуваний врожай, але й вчасно коригувати управління аграрним процесом, якщо певні умови стають несприятливими.

Інтеграція ГІС з іншими технологіями, такими як дрони та датчики, також відкриває нові можливості для більш детального аналізу та контролю. Наприклад, дрони можуть проводити обстеження полів на низькій висоті, збираючи інформацію з високою роздільною здатністю про стан рослинності та

можливі проблеми, такі як поява шкідників чи захворювань. Ці дані можна об’єднувати з супутниковими знімками для створення комплексних моделей управління сільськогосподарськими процесами.

Також перспективними є технології автоматизації на основі ГІС, які дозволяють сільськогосподарській техніці працювати з мінімальною участю людини. Наприклад, трактори та комбайни, оснащені GPS і підключені до геоінформаційних систем, можуть самостійно рухатися по полю, дотримуючись заданого маршруту і вносячи добрива або збираючи врожай лише в потрібних місцях. Такий підхід зменшує витрати на пальне, знижує ризик пошкодження ґрунту через надмірне ущільнення і забезпечує ефективніше використання ресурсів.

Щодо екологічного аспекту, впровадження ГІС та супутникових технологій дозволяє знижувати негативний вплив сільського господарства на навколишнє середовище. Точний моніторинг і управління використанням добрив та пестицидів допомагає запобігти їх надмірному використанню, що сприяє зменшенню забруднення ґрунтів і водних ресурсів. Багатошарові карти, які об’єднують дані про хімічний склад ґрунту, рослинність і кліматичні умови, дозволяють оцінювати потенційні ризики забруднення і впливу на екосистеми, що є важливим для підтримання екологічної рівноваги.

З розвитком нових технологій супутники стають доступнішими, а дані – більш точними і різноманітними. Це дає змогу застосовувати ГІС у широкому спектрі аграрних практик, від малих фермерських господарств до великих аграрних компаній. Очікується, що з часом впровадження новітніх ГІС і супутникових технологій стане стандартом для сучасного сільського господарства, допомагаючи оптимізувати процеси, знижувати витрати і забезпечувати стабільний розвиток агросектору.

Цифрове землеробство – це сучасний підхід до ведення сільського господарства, що ґрунтується на використанні цифрових технологій для підвищення ефективності та точності управління аграрними процесами. Серед

основних тенденцій розвитку цифрового землеробства можна виділити такі ключові напрями, як застосування великих даних, автоматизація техніки, використання датчиків і сенсорів для моніторингу стану посівів, а також впровадження штучного інтелекту і машинного навчання для аналізу і прогнозування.

Однією з найбільш помітних тенденцій є збільшення використання великих даних у сільському господарстві. Дані, що надходять від різних джерел – супутників, дронів, сенсорів, агрометеорологічних станцій – об'єднуються в єдині платформи, де їх можна аналізувати для отримання об'єктивної інформації про стан ґрунтів, посівів та погодні умови. Це дає змогу аграріям більш обґрунтовано приймати рішення, планувати сівозміну, полив та внесення добрив, враховуючи всі чинники, що впливають на врожайність. Крім того, аналіз великих даних допомагає виявляти приховані закономірності, які можуть сприяти оптимізації ресурсів і підвищенню ефективності виробництва.

Ще однією важливою тенденцією є автоматизація техніки. Сучасні трактори, комбайни та інша сільськогосподарська техніка оснащені системами GPS і можуть працювати в автономному режимі, виконуючи завдання з точністю до сантиметра. Це не лише дозволяє знижувати витрати на паливо і трудові ресурси, але й мінімізує ризик пошкодження ґрунту, зокрема його надмірного ущільнення. Крім того, автоматизована техніка може працювати в умовах, які були б небезпечними або непридатними для людини, що особливо важливо в екстремальних кліматичних умовах.

Використання датчиків і сенсорів – ще одна з ключових тенденцій цифрового землеробства, яка набирає популярності у всьому світі. Сучасні датчики здатні вимірювати різноманітні параметри – від вологості і температури ґрунту до концентрації поживних речовин і стану рослин. Інформація від цих датчиків надходить у реальному часі на центральну платформу, що дозволяє аграріям постійно контролювати стан посівів і вчасно виявляти проблеми, такі як

дефіцит вологи, поживних речовин або поява шкідників. Завдяки цьому аграрії можуть оперативно реагувати на зміни і запобігати втратам врожаю.

Крім того, популярність набувають хмарні платформи, які об’єднують різні аспекти цифрового землеробства на одній платформі. Хмарні рішення дозволяють фермерам зберігати та обробляти великі обсяги даних без необхідності встановлення дорогого обладнання. Вони також сприяють підвищенню доступності інформації, оскільки фермери можуть отримувати дані і результати аналізу на будь-якому пристрої, що підтримує доступ до інтернету. Це особливо зручно для невеликих фермерських господарств, які можуть не мати власної інфраструктури для зберігання та обробки даних.

Серед важливих напрямків розвитку цифрового землеробства також варто відзначити застосування блокчейн-технологій, які підвищують прозорість і відстежуваність процесів. Блокчейн дозволяє фіксувати всі етапи виробництва – від посадки та догляду за рослинами до збирання врожаю і транспортування продукції до кінцевого споживача. Це забезпечує високу ступінь прозорості і дозволяє відстежувати якість продукції, що є важливим для забезпечення екологічних стандартів і вимог до безпеки харчових продуктів.

Розвиток Інтернету речей також сприяє цифровому землеробству, дозволяючи об’єднувати різні пристрої та датчики у єдину мережу для автоматичного збору даних. Інтернет речей забезпечує безперервний потік інформації, що дозволяє аграріям краще розуміти процеси, які відбуваються на їхніх полях, і швидше реагувати на зміни, також дозволяє автоматизувати деякі завдання, наприклад, регулювання зрошення або внесення добрив, що сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів і зниженню витрат.

Одним із викликів цифрового землеробства є забезпечення кібербезпеки, оскільки велика кількість даних зберігається в електронному вигляді і підключається до мережі. Захист від кібератак та забезпечення конфіденційності даних стає важливим аспектом у розробці цифрових рішень для сільського господарства. Виробники цифрових систем працюють над впровадженням

захисних технологій для забезпечення безпеки інформації та запобігання несанкціонованому доступу до систем.

Цифрове землеробство продовжує розвиватися, відкриваючи нові можливості для підвищення врожайності, зменшення екологічного навантаження та оптимізації ресурсів. Очікується, що з подальшим розвитком технологій цифрові інструменти стануть доступнішими та більш інтегрованими, що сприятиме впровадженню їх, у широких масштабах. Водночас цифрове землеробство залишається ключовим елементом сталого розвитку сільського господарства, забезпечуючи його ефективність і екологічну стійкість.

Інноваційні рішення відіграють важливу роль у підвищенні ефективності вирощування сільськогосподарських культур, дозволяючи аграріям більш точно керувати ресурсами, знижувати витрати і водночас підвищувати врожайність. Сучасне сільське господарство все частіше застосовує новітні технології, такі як точне землеробство, автоматизація, біотехнології та штучний інтелект, які сприяють оптимізації виробничих процесів і мінімізації негативного впливу на довкілля.

Одним із ключових інноваційних рішень є точне землеробство, яке базується на використанні даних, отриманих від супутників, дронів, датчиків та інших джерел, для оцінки стану ґрунтів, рослин та умов навколишнього середовища. Точне землеробство дозволяє аграріям диференційовано підходити до обробки різних ділянок поля, застосовуючи добрива, засоби захисту рослин і зрошення тільки там, де це необхідно. Цей підхід знижує витрати на ресурси, зменшує забруднення навколишнього середовища та забезпечує оптимальні умови для розвитку культур.

Використання дронів для моніторингу стану полів стає все більш популярним серед фермерів у всьому світі. Дрони здатні здійснювати високоточну зйомку полів, що дозволяє оцінювати стан рослинного покриву, виявляти ознаки дефіциту поживних речовин або вологи, а також ранні симптоми захворювань і шкідників. Завдяки оперативному збору даних аграрії можуть

швидко реагувати на зміни, вносячи необхідні корективи в догляд за посівами, що сприяє зниженню втрат і підвищенню врожайності.

Автоматизація сільськогосподарської техніки також є важливим напрямом у підвищенні ефективності вирощування культур. Сучасні трактори, комбайни і навіть дрони-обприскувачі оснащені GPS та можуть працювати автономно, виконуючи завдання з високою точністю. Такі системи дозволяють оптимізувати використання пального, зменшувати час на обробку полів і знижувати ризик механічного пошкодження ґрунту. Автономна техніка особливо ефективна на великих площах, де використання ручної праці або традиційної техніки є менш рентабельним.

Інтеграція біотехнологій у сільське господарство сприяє розробці нових сортів рослин, які мають високу стійкість до стресових факторів, таких як посуха, шкідники та хвороби. Генетична модифікація та селекція дозволяють створювати культури, які забезпечують високу врожайність у складних умовах, знижуючи залежність від хімічних засобів захисту та оптимізуючи використання добрив. Завдяки цим інноваціям фермери можуть досягати стабільного виробництва, навіть у регіонах із несприятливими кліматичними умовами.

Штучний інтелект і машинне навчання відкривають нові можливості для аналізу даних і прогнозування. Застосування алгоритмів машинного навчання для обробки великих масивів даних, зібраних із полів, дозволяє виявляти закономірності і прогнозувати врожайність, потребу в добривах або ризик захворювань. Штучний інтелект також використовується для аналізу зображень, отриманих із супутників або дронів, що дозволяє автоматично ідентифікувати проблеми на полях, такі як наявність бур’янів або ознаки нестачі вологи.

Розвиток Інтернету речей (IoT) у сільському господарстві дозволяє створювати системи, в яких різноманітні датчики об’єднуються у єдину мережу, передаючи дані про стан ґрунтів, кліматичні умови та рослинність у реальному часі. Це забезпечує аграріїв безперервним потоком інформації і дозволяє швидко реагувати на зміни. Наприклад, датчики вологості можуть автоматично керувати

системами зрошення, вмикаючи їх лише тоді, коли це необхідно, що дозволяє економити воду і забезпечувати оптимальні умови для росту культур.

Хмарні платформи є ще одним важливим інноваційним рішенням, що об’єднує всі аспекти цифрового землеробства. Вони дозволяють аграріям зберігати дані, обробляти їх і отримувати доступ до аналітики з будь-якого пристрою з підключенням до інтернету. Такі платформи роблять можливим об’єднання різноманітних цифрових інструментів і забезпечують зручний доступ до інформації для прийняття обґрунтованих рішень. Вони також сприяють підвищенню доступності цифрових інструментів для невеликих господарств, які можуть не мати власної інфраструктури для обробки великих даних.

Таким чином, інноваційні рішення в сільському господарстві відкривають нові можливості для підвищення ефективності виробництва, забезпечення стабільної врожайності та зниження екологічного навантаження. Впровадження новітніх технологій, таких як точне землеробство, автоматизація, біотехнології та цифрові платформи, робить сільське господарство більш адаптованим до змінних умов і дозволяє фермерам досягати високих показників продуктивності. У майбутньому ці інновації ставатимуть усе більш доступними, забезпечуючи сталий розвиток аграрного сектору.

3.4. Рекомендації щодо зменшення негативного впливу на навколишнє середовище

Зменшення негативного впливу сільськогосподарської діяльності на навколишнє середовище є важливим завданням, яке потребує комплексного підходу. Вирощування ріпаку, як і багатьох інших культур, має як позитивні, так і негативні наслідки для екосистеми та ґрунтів. У зв’язку з цим важливо застосовувати сталий підхід до управління аграрними процесами, зосереджуючись на збереженні природної родючості ґрунту, зменшенні використання хімічних засобів захисту рослин та добрив, а також оптимізації

використання водних ресурсів. Одним із найефективніших методів підтримання стійкості аграрних екосистем є впровадження сівозміни, яка дозволяє уникати виснаження ґрунту й накопичення шкідників, що є характерним для монокультур. Чергування ріпаку з іншими культурами, такими як зернові або бобові, не лише допомагає знизити популяції шкідників і зменшити ризик хвороб рослин, але й сприяє підтриманню природної структури ґрунту, що є основою його родючості.

Застосування органічних добрив та сидератів, які збагачують ґрунт органічною речовиною і сприяють його відновленню, має важливе значення для екологічного землеробства. Використання рослин-зелених добрив, таких як бобові культури, дозволяє зменшити залежність від мінеральних добрив, зокрема азотних, які часто спричиняють забруднення ґрунтових вод. Органічні речовини, що утворюються в процесі розкладання сидератів, покращують структуру ґрунту і створюють сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, які забезпечують природне збагачення ґрунту поживними речовинами. Використання біологічних засобів захисту рослин є також ефективним інструментом для збереження екологічного балансу. Хімічні пестициди мають негативний вплив не лише на шкідників, а й на корисних комах, таких як бджоли та інші запилювачі, що грають важливу роль у підтриманні біорізноманіття та запиленні культур. Біоінсектициди та корисні комахи можуть слугувати альтернативою хімічним засобам, забезпечуючи ефективний контроль над шкідниками без шкоди для екосистеми.

Ще одним важливим аспектом сталого землеробства є мінімізація використання хімічних добрив та пестицидів, що допомагає уникнути забруднення ґрунтів і водних ресурсів. Застосування добрив і пестицидів на основі даних аналізу ґрунту дозволяє оптимізувати їх кількість і використовувати лише ті речовини, які дійсно потрібні для підтримання врожайності. Такий підхід дозволяє зменшити витрати на агрохімікати, мінімізувати екологічний вплив і забезпечити стабільний розвиток екосистем. Додатково, сучасні методи точного

землеробства, такі як супутниковий моніторинг, сенсори вологості та системи ГІС, надають аграріям можливість більш точно керувати ресурсами. Супутниковий моніторинг і ГІС дозволяють отримувати актуальні дані про стан посівів, рівень вологості, вміст поживних речовин, що дає змогу виявляти проблемні зони на полях і застосовувати добрива та засоби захисту рослин тільки там, де це дійсно потрібно. Це зменшує загальне навантаження на довкілля і дозволяє знизити витрати на агрохімікати та воду, підвищуючи ефективність управління ресурсами.

Ефективне управління водними ресурсами є ще однією важливою складовою сталого підходу до вирощування ріпаку. У районах із дефіцитом води зрошення має здійснюватися з використанням технологій, які мінімізують витрати води, таких як крапельне зрошення. Цей метод дозволяє доставляти воду безпосередньо до кореневої системи рослин, зменшуючи втрати на випаровування і забезпечуючи оптимальне зволоження ґрунту. Використання регульованого зрошення також дозволяє запобігти надмірному зволоженню ґрунту, яке може спричинити його ерозію і зменшити врожайність. Особливу увагу слід приділяти збереженню водних ресурсів у регіонах із недостатнім рівнем опадів, де надмірне використання води для зрошення може призвести до виснаження водоносних горизонтів і негативного впливу на місцеві екосистеми. Захист водних об’єктів можна також забезпечити за рахунок створення буферних зон із природної рослинності, які захищають річки, озера і ставки від потрапляння добрив та пестицидів з полів. Буферні смуги можуть слугувати природними фільтрами, затримуючи забруднюючі речовини і запобігаючи їх поширенню в навколишнє середовище.

Геоінформаційні технології, що використовуються для оцінки екологічних ризиків, дозволяють інтегрувати різноманітні дані про ґрунти, воду, рослинність і кліматичні умови в єдину систему, що дає змогу створювати багатошарові моделі стану агроландшафтів. Це сприяє ефективному моніторингу і вчасному виявленню деградаційних процесів, таких як ерозія, зниження

органічної речовини або забруднення, дозволяючи аграріям своєчасно реагувати і коригувати агротехнічні заходи. Застосування дронів для моніторингу посівів і стану ґрунтів надає змогу отримувати дані з високою точністю, що дозволяє швидко виявляти проблемні ділянки та вживати необхідних заходів для їх відновлення. Окрім цього, підвищення рівня обізнаності фермерів щодо сталих практик екологічного землеробства має важливе значення для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Навчальні програми та інформаційні кампанії, спрямовані на поширення знань про раціональне використання добрив, переваги біологічних методів захисту рослин, методи точного землеробства та ефективне управління водними ресурсами, допомагають фермерам краще зрозуміти можливі наслідки своїх дій та сприяють впровадженню сталих практик у сільському господарстві. Стале використання сільськогосподарських угідь, зокрема полів під ріпаком, потребує комплексного підходу до управління екосистемами, що включає збереження біорізноманіття, раціональне використання ресурсів, моніторинг і контроль за станом ґрунтів та екосистем, а також впровадження екологічно відповідальних агротехнологій.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз теоретичних засад використання сучасних картографічних методів у сільському господарстві підтвердив, що геоінформаційні технології, дистанційне зондування Землі та індекси рослинності, зокрема NDVI, є ефективними інструментами для картографічного забезпечення прийняття управлінських рішень щодо сільськогосподарських процесів. Ці методи забезпечують швидкий і точний моніторинг стану рослинності та дозволяють оптимізувати використання природних ресурсів.

2. Просторові особливості вирощування ріпаку визначаються географічними, зокрема агрокліматичними (забезпеченість вологою, температурний режим), ґрунтовими (рівень родючості ґрунтів) чинниками, а врожайність значною мірою залежить від правильної організації сівозмін. Аналіз даних Черкаської області показав, що ріпак має високий потенціал за умови адаптації агротехнічних заходів до локальних природних умов.

3. Використання супутникових знімків Sentinel-2 і Landsat-8 для моніторингу стану посівів ріпаку дозволяє здійснити оцінку стану рослинності на різних стадіях вегетації, ідентифікувати проблемні ділянки та спрогнозувати врожайність. Агрономічні карти дають змогу враховувати неоднорідність ґрунтів і кліматичних умов, що сприяє підвищенню врожайності ріпаку завдяки оптимізації обробітку ґрунту, управління сівозмінами та ефективному використанню ресурсів. На основі зазначених джерел картографічної інформації укладені картографічні твори Черкаської області, які можуть бути використані агровиробниками для покращення управління посівними площами.

4. Проведена оцінка значення індексу NDVI підтвердила його ефективність для контролю стану ріпаку на різних стадіях росту. Аналіз отриманих даних NDVI для районів Черкаської області продемонстрував значну варіативність рівня рослинного покриву, що свідчить про різні природні та антропогенні фактори, які впливають на продуктивність сільськогосподарських

земель. Встановлено, що найвищі значення NDVI спостерігаються у Звенигородському, Черкаському, Канівському та Кам'янському районах Черкаської області, що свідчить про високий рівень фотосинтетичної активності рослин, сприятливість ґрунтово-кліматичних умов, ефективного управління агротехнічними заходами. Нижчі значення NDVI обраховані для Уманського, Христинівського, Монастирищенського та Маньківського районів Черкаської області. Ці райони, ймовірно, стикаються з певними екологічними або агротехнічними проблемами, такими як ерозія ґрунтів, недостатня кількість опадів або вплив людської діяльності, включаючи нераціональне використання земельних ресурсів. Райони з високими значеннями NDVI характеризуються значною біологічною продуктивністю. Це може стати основою для розширення обсягів вирощування сільськогосподарських культур із високою комерційною цінністю. Це можуть бути зернові, олійні культури, чи овочі. Високий рівень NDVI слугує показником потенціалу регіону для впровадження землеробства.

5. Виконана робота щодо аналізу стану рослинності в Черкаській області на основі середніх значень NDVI дозволяє глибше оцінити агроекологічні умови регіону та потенціал його територій для сільськогосподарського виробництва. Результати роботи демонструють значний потенціал Черкаської області для подальшого розвитку сільського господарства за умов врахування екологічних особливостей і впровадження сучасних методів управління. Рекомендуємо у Звенигородському, Черкаському, Канівському та Кам'янському районах Черкаської області, які характеризуються екологічною стійкістю, розглянути можливості розширення обсягів вирощування сільськогосподарських культур із високою комерційною цінністю, зокрема зернові культури, олійні культури, овочі, уведення органічного землеробства. Для Уманського, Христинівського, Монастирищенського та Маньківського районів Черкаської області рекомендуємо розробити план дій щодо покращення стану рослинного покриву, зокрема охопити оптимізацію зрошення, впровадження сучасних агротехнологій, раціональне внесення добрив і моніторинг стану ґрунтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 5 областей найбільше відчують наслідки зміни клімату – дослідження Світового банку. Асоціація «Енергоефективні міста України». URL: https://enefcities.org.ua/novyny/5-oblastey-naybilshe-vidchuyut-naslidky-zminy-klimatu---doslidjennya-svitovogo-banku/ (дата звернення: 10.11.2024)

2. Абрамик М. І. Рекомендації по вирощуванню ріпаку на насіння і корм. Івано-Франківськ, 2000. 18 с.

3. Аграрна палата Львівщини. – URL: https://agrochamber.lviv.ua/news/627-do-kintsia-kvitnia-fermeram-ukrainy-vidkryly-bezkoshtovnyi-dostup-do-suputnykovoho-monitorynhu-poliv – Дата звернення: 05.12.2024.

4. Адаменко Т.І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. К.: [Б.В.], 2014. 20 с.

5. Андрієнко Н. І., Ковальчук Ю. О. Переваги та виклики ріпакових культур у сівозміні: досвід України. *Землеробство і сучасні технології*. 2023. №5. С. 18-24.

6. Бойко М. В., Коваленко І. П. Супутниковий моніторинг у сільському господарстві: оцінка стану ґрунтів і біорізноманіття. *Аграрна наука і практика*. 2023. №3. С. 18-25.

7. Борона В. П. Інтегровані моделі особливості захисту посівів ріпаку від шкідливих організмів з урахуванням біологічних властивостей культури. *Карантин і захист рослин*. 2006. № 4. С. 11-13.

8. Бузіна І. М., Литвиненко Ю. О. Земельно-кадастрове картографування: Використання карт земельних ресурсів: конспект лекцій / Харк. нац. аграр. ун-т. Х., 2016. 132 с.

9. Вільямс Б. С., Тейлор С. П. Моніторинг шкідників за допомогою ГІС на пшеничних полях Австралії. *Журнал сільського господарства Австралії*. 2022. Т. 6, №5. С. 24-29.

10. Волощук О. П., Косовська Р. Ю. Насіннєва продуктивність і посівні якості ріпаку озимого залежно від норм висіву насіння та рівнів мінерального живлення рослин. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2015. Вип. 57. С. 43–50.

11. Гаврилюк О. Ю., Кондратюк В. І., Кондратюк С. С. Методи дистанційного зондування для агромоніторингу сільськогосподарських культур. *Наукові праці Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2018. № 1. С. 45-52.

12. Гайдаш В. Д., Климчук М. М, Макар М. М. Ріпак. Ів.-Франківськ: Сіверсія, 1998. 214 с.

13. Географія 8 клас. Підручник [Електронний ресурс] // Subjectum. URL :https://subjectum.eu/textbook/geography/8klas_1/30.html#google_vignette – Дата звернення: 05.12.2024.

14. Глух О.І. Зміна NDVI-індексу Карпатського регіону України протягом 2000–2022 років. Електронний репозитарій ДВНЗ "УжНУ". URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/56833 (дата звернення: 05.12.2024).

15. Гузь-Москаленко А. Р. Геоінформаційний аналіз територій для вирощування ріпаку в умовах змін клімату. *Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи*. збірник наукових праць (за матеріалами щорічної наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої пам’яті професора Г. П. Дубинського. Харків, 11 квіт. 2024 р.). Вип. 16. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 68-69.

16. Гузь-Москаленко А.Р. Зміна посівів ріпаку на території Харківської області. *Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи:* збірник наукових праць (за матеріалами щорічної наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої пам’яті професора Г. П. Дубинського. Харків, 13 квіт. 2023 р.). Вип. 15. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. С. 11-13

17. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Інформаційні технології збирання, оброблення та використання даних аерокосмічного спостереження Землі: зб. наук. статей ДП «Дніпрокосмос». Д.: Проспект, 2007. Вип. 1. 207 с.

18. Диференційоване внесення ресурсів (VRA) на полях. URL: https://eos.com/uk/products/crop-monitoring/key-functions/variable-rate-technology/ (дата звернення: 20.10.2024)

19. Дмитренко В. П. Погода, клімат і урожай польових культур. К.: Ніка-Центр, 2010. 620 с.

20. Дорогань-Писаренко Л. О., Панченко І. Г., Єгорова О. В. Дослідження ґрунтових умов в контексті адаптації до зміни клімату. К.: Інститут агроекології, 2019. 118 с.

21. Дребот О.І., Тарнавський В.А. Сучасний стан та тенденції розвитку сільськогосподарського землекористування в Україні. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 2. С. 46-51. URL: http://journalagroeco.org.ua/article/view/263316 (дата звернення: 10.10.2024)

22. Жданович О.В. Карти та геоінформаційні системи в Інтернет. *Вісник НАН України*. 2012. №7. С. 50-55.

23. Жемеров О. О., Шуліка Б. О. Мікрокліматичні спостереження як основа прогнозування урожайності винограду в Харківському регіоні: Метод. посіб. для студ.- географів ВНЗ. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2013. 44 с.

24. Жолобак Г. М. Використання методів дистанційного зондування Землі для моніторингу агроресурсів України.

25. *Космічна наука і технологія*. Т. 16., № 6. 2010, 16-23 с.

26. Запотоцький С. Географічні карти та атласи. Географія. 6 клас. Київ: [Б.в.], 2023. URL: https://uahistory.co/pidruchniki/zapotozkii-geography-6-class-2023/11.php (дата звернення: 20.10.2024)

27. Інтеграція геопросторових даних на основі застосування операції з'єднання (JOIN). *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2022. Вип. 95. С. 123-130.

28. Іщук О. О., Кошляков О. Е., Коржнєв М. М. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навчальний посібник / за ред. акад. Д. М. Гродзинського. К.: Вид. поліграфічний центр "Київський університет", 2003. 200 с.

29. Карпенко А.М. Сучасний стан та проблеми використання сільськогосподарських угідь в Україні. В*існик Білоцерківського національного аграрного університету*. 2013. № 10. С. 82–87.

30. Карти і геоінформаційні системи. Класифікація карт. Навчальні карти і атласи. Електронні карти. Картографічні інтернет-джерела. Геоінформаційні та сучасні навігаційні системи. *Всеосвіта*. 2024. URL: https://vseosvita.ua/library/karty-i-heoinformatsiini-systemy-klasyfikatsiia-kart-navchalni-karty-i-atlasy-elektronni-karty-kartohrafichni-internet-dzherela-heoinformatsiini-ta-su-848482.html (дата звернення: 20.10.2024)

31. Картографічні джерела // Історичне джерелознавство: підручник для студентів вищих навчальних закладів. 2015. URL: https://pidru4niki.com/16011013/istoriya/kartografichni_dzherela (дата звернення: 20.10.2024)

32. Клімат і рельєф Черкаської області. Історія заселення. *Історія міст і сіл Української РСР. Черкаська область*. Київ: Головна редакція УРЕ, 1972.

33. Кліматичні умови та агрокліматичні ресурси Черкаської області – реалії XXI ст. *Матеріали наукового семінару «Клімат Черкаської області в умовах його глобальних змін».* Умань: УДПУ ім. П. Тичини, 2015. С. 15–22.

34. Козаченко Т. І., Молочко А. М., Пархоменко Г. О. Картографічне моделювання : навч. посібник / під ред. А. П. Золовського. Вінниця: Антекс-У ЛТД, 1999. 328 с.

35. Кравців Р., Войтків Ю., Кобелька М. Картографія. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 320 с.

36. Лазоренко Н.І. Створення (оновлення) цифрових топографічних карт основної державної топографічної карти. *Збірник наукових праць Національного університету оборони України*. 2020. №1. С. 123–130.

37. Ляшенко Д. О. Картографія з основами топографії : навч. посіб. для вищ. навч. закл. К. : Наукова думка, 2008. 181 с.

38. Магваір Б., Пашинська Н., Даценко Л., Говоров М., Путренко В. Вступ до геоінформаційних систем для інфраструктури просторових даних: навч. посіб. Харків: Планета-Принт, 2016. 396 с.

39. Макаренко, П. В. Основи кліматології для аграрних наук. Харків: Видавництво ХНУ, 2020. 256 с.

40. Мельник А. В., Троценко В. І., Тютюник В. А. Шляхи підвищення урожайності ріпаку озимого впівнічно-східному Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Суми, 2014. Вип. 3 (27). С. 180–183.

41. Методи визначення NDVI: названо переваги та недоліки // SuperAgronom. –URL: https://superagronom.com/news/17826-metodi-viznachennya-ndvi--nazvano-perevagi-ta-nedoliki – Дата звернення: 05.12.2024.

42. Музика П., Урба С., Гончаренко Л. Аналіз стану та ефективності використання земельних ресурсів в Україні. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського*. Серія: Економіка і управління. – 2019. – Т. 30, № 4. – С. 46–51.

43. Назаренко О.В. Стан та оцінка ефективності використання сільськогосподарських земель в Україні. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Економіка і менеджмент*. 2018. № 4. С. 123-128.

44. Офіційний сайт Черкаської обласної ради. – URL: https://www.oblradack.gov.ua/oprilyudneno-osnovnu-derzhavnu-topografichnu-kartu-masshtabom-150-000 – Дата звернення: 05.12.2024.

45. Розвиток картографії: формування нових концепцій та теоретичних узагальнень / за ред. О.В. Сидоренка. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 250 с.

46. Розроблення електронних карт полів. URL: https://uceg.com.ua/services/elektronna-karta-poliv (дата звернення: 20.10.2024)

47. Руденко Л.Г., Бочковська А.І.. Розвиток картографічного напряму в Україні. *Український географічний журнал*. 2018. №1. С. 3–10.

48. Руденко Л.Г., Бочковська А.І. Становлення та розвиток картографічних досліджень в Інституті географії НАН України. *Український географічний журнал*. 2024. №3. С. 60–70.

49. Савченко О. М., Литвиненко Т. Г. Геоінформаційні моделі у сільському господарстві: оцінка деградації ґрунтів під впливом ріпакових культур./ *Землеробство і екологія*. 2023. №4. С. 21–27.

50. Сахненко В. В. Агроекологічне обґрунтування інтегрованої системи захисту ріпаку. Вінниця: СПД Данилюк В. Г., 2007. 184 с.

51. Сосса Р.І. Картографування території України: історія, перспективи, наукові основи. К., 2020. Вип. 1. С. 123-130.

52. Стельмах О. С., Черній Г.Д., Іванюк В.М. Вплив технологій вирощування на врожайність та якість насіння ріпаку озимого. Агроекологічний журнал. 2008. Спец. вип. (червень). С. 225–228.

53. Суховірський Б. І. Геоінформаційні системи і технології в регіональному розвитку. К.: Знання України, 2002. 210 с.

54. Сучасні картографічні твори. Математична основа карт. Способи картографічного зображення об'єктів і явищ на загально географічних та тематичних картах. Сутність генералізації. *Всеосвіта*. 2024. URL: https://vseosvita.ua/library/suchasni-kartohrafichni-tvory-matematychna-osnova-kart-sposoby-kartohrafichnoho-zobrazhennia-obiektiv-i-iavyshch-na-zahalno-heohrafichnykh-ta-tematych-857632.html (Листопад 2024).

55. Тітова О.М., Дудун Ю.В. Географічні карти та картографічний метод дослідження. Том 2: Картографічний метод дослідження. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2017. 239 с.

56. Ткачук В.І. Аналіз структури земельного фонду та сільськогосподарських угідь в Україні та країнах ЄС. *Вісник Харківського*

національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2020. № 212. С. 112–118.

57. Хведченя С.І. Історія картографування України: рецензія на книгу Сосси Р.І. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія.* 2013. №1. С. 95–100.

58. Шевченко Р.Ю. Сучасні наукові уявлення про форму та розміри Землі. Київ: НТУ, 2020. 180 с.

59. Шуліка Б. О., Гузь-Москаленко А.Р. Вплив кліматичних змін на географічні умови вирощування ріпаку (на прикладі Харківської області) // *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*: Збірник наукових праць. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2022. Вип. 35. С. 39-45

60. Airbus-built full electric EUTELSAT 172B satellite reaches geostationary orbit [Електронний ресурс] // Airbus. – Режим доступу: https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2017-10-airbus-built-full-electric-eutelsat-172b-satellite-reaches – Дата звернення: 05.12.2024.

61. AgroONE. Індекси розвитку рослин. URL: https://www.agroone.info/publication/indeksi-rozvitku-roslin/ (дата звернення: 05.12.2024).

62. Dec. 21, 2019 - Landsat 8 Safe Mode Update [Електронний ресурс] // U.S. Geological Survey (USGS). – Режим доступу: https://www.usgs.gov/landsat-missions/dec-21-2019-landsat-8-safe-mode-update – Дата звернення: 29.11.2024.

63. EOS Data Analytics. Вегетаційний індекс NDVI: Формула та Використання. URL: https://eos.com/uk/make-an-analysis/ndvi/ (дата звернення: 05.12.2024).

64. Schowengerdt, R. A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. 3rd ed. Burlington: Academic Press, 2007. 560 p.

65. SmartFarming. Сервіси супутникового моніторингу для аграріїв: аналіз стану посівів та екологічних ризиків. *SmartFarming*, 2024. URL: https://www.smartfarming.ua/servisy-suputnykovoho-monitorynhu-dlya-ahrariyiv/

66. Smith, J., and Brown, L. Geospatial Analysis in Agriculture: A Practical Approach. London: Taylor & Francis, 2021. 412 p.

67. Turner, M., White, D., and Black, S. Climate Risk Management in Agricultural Systems. New York: Springer, 2022. 287 p.

68. USGS. Landsat Missions. U.S. Geological Survey. URL: https://landsat.usgs.gov/ (дата звернення: 10.11.2024).

69. Wikipedia. Land Cover Maps. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Land_cover_maps (дата звернення: 05.12.2024).

70. Wikipedia. Normalized Difference Vegetation Index. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_difference_vegetation_index (дата звернення: 05.12.2024).

71. Wikipedia. Santil 2B. URL https://uk.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2B (дата звернення: 04.12.2024).