

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут екології
Кафедра екології та менеджменту довкілля

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
бакалавра
на тему
ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ
ПРОЯВІВ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ҐРУНТІВ

Виконав: студент __ курсу, групи ДЕ-.. (ЗДЕ..) спеціальності : 101 «Екологія»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пі автора _____ / Данило Русанов
(підпис) (ім'я та прізвище)
Керівник _____ / Андрій АЧАСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)
Рецензент _____ / _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри _____ / Андрій АЧАСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)
Нормоконтроль _____ / Інна МИРОНОВА
(підпис) (ім'я та прізвище)
Секретар ЕК _____ / Світлана БУРЧЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 року

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

Навчально-науковий інститут екології

Кафедра Кафедра екології та менеджменту довкілля

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр

Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ проф. Андрій АЧАСОВ
підпис ім'я та прізвище

«__» травня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Данилі РУСАНОВУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Дистанційний моніторинг проявів водної ерозії ґрунтів
Керівник роботи Андрій АЧАСОВ, д. с.-г. наук, професор.....
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від “__” _____ 2025 року №__
2. Строк подання студентом роботи _____ 30 квітня 2025 р. _____
3. Перелік питань, які потрібно розробити
 1. Зібрати та проаналізувати існуючі дані про природні та ресурсні

ресурси Краснокутської громади.

2. Визначити проявів водної ерозії ґрунтів Краснокутської громади.

3. Дослідити екологічний стан компонентів навколишнього середовища, що знаходяться під впливом ерозій ґрунтів на території Краснокутської громади.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вибір здобувачем теми; затвердження тем і призначення наукових керівників; складання і затвердження індивідуальних завдань на виконання КРБ. Огляд літератури
2	Підготовка вступу, розділів КРБ, висновків і переліку використаних джерел.
3	Подання здобувачем завершеної КРБ відповідальній особі – експерту для перевірки на плагіат. Оформлення науковим керівником відгуку.
4	Попередній захист КРБ на науковому семінарі кафедри
5	Доопрацювання роботи, прийняття кафедрою рішення про допуск роботи до захисту в ЕК, оформлення та рецензування.

5. Дата видачі завдання 05.2024 р.

Студент

підпис

Данило Русанов

ім'я і прізвище

Керівник роботи

підпис

проф. Андрій АЧАСОВ

посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ
**ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ
ПРОЯВІВ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ҐРУНТІВ**

Данило РУСАНОВ

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена дослідженню можливостей дистанційного моніторингу проявів водної ерозії ґрунтів з використанням сучасних інформаційних технологій.

Метою роботи є дослідження та обґрунтування ефективності застосування дистанційних методів моніторингу для виявлення, оцінювання та аналізу проявів водної ерозії ґрунтів із використанням геоінформаційних технологій, супутникових знімків Краснокутської територіальної громади.

У роботі проаналізовано джерела супутникових знімків, розглянуто застосування геоінформаційних систем для візуалізації, аналізу та оцінки ерозійних процесів. Визначено основні ознаки еродованих територій, описано методи обробки зображень.

У практичній частині проведено апробацію методик на конкретній території, що дозволило виявити зони з підвищеним ризиком ерозії. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності управління земельними ресурсами та планування природоохоронних заходів.

ВОДНА ЕРОЗІЯ, ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ, ГІС, СУПУТНИКОВІ ЗНІМКИ, ҐРУНТИ.

ABSTRACT

**REMOTE MONITORING
OF SOIL WATER EROSION MANIFESTATIONS**

Danylo Rusanov

The bachelor's qualification work is devoted to the study of the possibilities of remote monitoring of water erosion manifestations using modern information technologies.

The purpose of the work is to study and substantiate the effectiveness of remote monitoring methods for detecting, assessing and analyzing water erosion of soils using geographic information technologies, satellite images and digital elevation models of the Krasnokutsk district.

The paper analyzes the sources of satellite and aerial imagery, considers the use of geographic information systems for visualization, analysis and assessment of erosion processes. The main features of eroded areas are identified, and image processing methods, including vegetation indices and digital elevation models, are described. In the practical part, the methods were tested on a specific territory, which allowed us to identify areas with an increased risk of erosion. The results obtained can be used to improve the efficiency of land management and environmental protection planning. Particular attention is paid to the analysis of satellite images for spatial assessment of erosion processes. The main criteria for identifying eroded areas are presented, and data processing methods, including vegetation indices, digital elevation models, and machine learning algorithms, are described.

WATER EROSION, REMOTE MONITORING, GIS, SATELLITE IMAGES,
DIGITAL ELEVATION MODEL, SOILS.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1. Причини та наслідки водної ерозії у сільськогосподарських ландшафтах.....	9
1.2 Методи моніторингу ерозійних процесів: традиційні та сучасні підходи.....	12
1.3 Огляд сучасних досліджень у сфері дистанційного моніторингу ерозії.....	16
РОЗДІЛ 2. МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
2.1 Об'єкт і предмет дослідження.....	22
2.2 Методологія збору та обробки даних	24
2.3 Переваги методу дистанційного зондування Землі	26
РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	28
3.1 Виявлення еродованих ділянок за супутниковими даними.....	28
3.2 Аналіз та статистичні дані експерименту	31
3.3 Рекомендації щодо практичного використання результатів дослідження.....	35
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40

ВСТУП

Водна ерозія ґрунтів є однією з найпоширеніших форм деградації земель, яка призводить до зниження родючості ґрунтів, втрати біорізноманіття та погіршення екологічного стану територій. Особливо гостро ця проблема постає у сільськогосподарських регіонах, де інтенсивне використання земель без врахування ерозійної небезпеки може мати довготривалі негативні наслідки.

За деякими даними в Україні водна ерозія поширена на площі понад 13 млн га, з них 10,6 млн га – орні землі. Змив ґрунту в еродованих регіонах сягає 15–30 тонн з гектара щорічно. Через ерозію недобір урожаю основних культур становить 36–47%. Екологічні та економічні збитки від водної ерозії оцінюються у 20 млрд грн на рік.

У зв'язку з цим актуальним стає впровадження сучасних технологій моніторингу стану ґрунтового покриву. Серед них дистанційне зондування Землі та геоінформаційні системи, які дозволяють отримувати оперативну, достовірну та просторово детальну інформацію про розвиток ерозійних процесів. Це відкриває нові можливості для ефективного управління земельними ресурсами та запобігання деградації ґрунтів.

Метою роботи є дослідження можливостей дистанційного моніторингу проявів водної ерозії ґрунтів із застосуванням методів дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій для виявлення еродованих ділянок ґрунтів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно виконати **наступні завдання:**

1. Аналіз літературних джерел та інформації з відкритих джерел на інтернет-ресурсах щодо причин, наслідків та методів дослідження водної ерозії ґрунтів.
2. Ознайомлення із сучасними засобами дистанційного моніторингу - дистанційним зондуванням Землі та ГІС-технологіями, що можуть застосовуватися у моніторингу водної ґрунтової ерозії.
3. Визначення об'єктів дослідження та збір відповідних даних.
4. Аналіз отриманих даних дослідження та формування висновків.

5. Розробка рекомендацій.

Для реалізації поставлених завдань в роботі використані різні методи дослідження, основними з яких стали:

1. Аналіз літературних джерел та інформації з відкритих джерел на інтернет-ресурсах
2. Безпосередньо дистанційний моніторинг об'єктів дослідження за допомогою супутникових знімків та їх обробки за допомогою комп'ютерних технологій
3. Оцінка та аналізу отриманих даних і напрацювання рекомендацій

Об'єктом дослідження є території Краснокутської громади Харківської області.

Предметом дослідження є прояви водної ерозії ґрунтів на території Краснокутської громади Харківської області.

У роботі застосовано комплекс **методів**, серед яких: аналіз наукової літератури для теоретичного обґрунтування проблеми водної ерозії та підходів до її моніторингу; методи дистанційного зондування Землі для збору просторових даних про стан земної поверхні та рослинного покриву; використання геоінформаційних технологій для візуалізації, обробки та аналізу просторової інформації.

Наукова новизна даної роботи полягає в удосконаленні підходів до дистанційного моніторингу водної ерозії ґрунтів шляхом інтеграції супутникових знімків у межах геоінформаційної системи. Запропоновано схему виявлення еродованих ділянок із використанням відкритих супутникових даних, що дозволяє оперативно оцінювати просторову динаміку ерозійних процесів на конкретній території.

Практична цінність полягає у можливості адаптації даного підходу до моніторингу стану земель сільськогосподарського призначення без необхідності значних фінансових витрат на наземні дослідження.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Причини та наслідки водної ерозії у сільськогосподарських ландшафтах

Ґрунт – це незамінна частина довкілля та надзвичайно важливий ресурс, що підтримує існування життя на планеті. Він виконує численні функції, зокрема підтримує різноманітність живих організмів, надає родючість для рослинництва, фільтрує та очищує воду. Без здорових та родючих ґрунтів неможливо забезпечити сталий розвиток людства та його економіки. Тому збереження та захист ґрунтів надзвичайно важливі для нашого благополуччя та майбутнього Землі. Визначення «ерозія» походить від латинського слова «erosio», що перекладається як «роз'їдання» [2].

Західноєвропейські та американські географи нерідко використовують термін «ерозія» для позначення наслідків впливу різних факторів, таких як стік води, вітер, льодовики, які зумовлені силою тяжіння. Отже, «ерозію» можна розглядати як синонім до терміну «денудація» [2]. На переконання багатьох науковців, включно з відомими фахівцями з ерозії, як-от М.М. Заславський і Г.І. Швебс, поняття «ерозія» варто застосовувати винятково для опису процесів руйнування ґрунтів та гірських порід впливом води [2]. Щодо руйнування ґрунтів та гірських порід вітром, яке має свої специфічні закони протікання, доцільно вживати термін «дефляція» (від латинського deflatio – видування), адже цей термін найточніше передає зміст цього явища [2].

У вітчизняній науці про ерозію, зважаючи на усталені звички застосування термінології, варто було б послуговуватися терміном «ерозія» для позначення складової денудації. Ця складова охоплює руйнування, перенесення та відкладення часточок ґрунту і гірських порід під впливом дощу та поверхневого стоку, і підпорядковується законам падіння крапель і течії водних потоків. Відтак, похідні цього терміна, а саме, «ерозійна небезпека», протиерозійна стійкість», «протиерозійні заходи» та подібні, стосуються тільки водної ерозії. Стосовно

руйнування ґрунтів та гірських порід внаслідок впливу вітру, для його окреслення використовують термін «дефляція». Саме це поняття використовується для утворення відповідних похідних термінів, на зразок «дефляційна небезпека», «протидефляційна стійкість», «протидефляційні заходи», тощо [2].

У вітчизняній науковій літературі термін «ерозія» традиційно вживається більш загально, охоплюючи процеси руйнування ґрунтів та гірських порід під впливом не лише води, але й вітру. У першому випадку використовується термін «водна ерозія», а у другому – «вітрова ерозія». Однак, з початку 70-х років XX століття, зважаючи на виражену специфіку цих двох процесів, виникла потреба у розвитку окремих наукових напрямів для вивчення руйнівної дії води та вітру на ґрунти. Таке явище як водна ерозія це процес руйнування та переміщення ґрунту під дією води, який відбувається за рахунок потоку дощової води, снігових розтавань або повеней. У сільськогосподарських ландшафтах водна ерозія може бути спричинена різними факторами, зокрема в нашому досліджуваному регіоні. До цього призводить невідповідність агротехнічних заходів, таких як відсутність збереження рослинного покриву, погане планування сівоzmіни, недостатня кількість рослинності або вирощування монокультур без захисту ґрунтів призводять до їх вразливості до ерозії, інтенсивне оброблення ґрунтів без застосування практик мінімальної обробки або беззахисних термінів між сівбою та збором врожаю.

Наприклад топографічними факторами є похилі ділянки, так як у районах із крутішими схилами вода з великим потоком може руйнувати ґрунт, змиваючи верхній родючий шар. Важливий фактор це низька водопроникність ґрунтів, тому що глинисті або ущільнені ґрунти, які не здатні пропускати воду, створюють поверхневий стік води, що збільшує ерозійні процеси. Тут зрозуміло, що інтенсивні дощі з великими обсягами опадів, особливо з коротким часом випадку, не мають можливості вбиратися в ґрунт, що створює умови для значного стоку води. Сезонні зміни (приплив води під час розтавання снігу або після тривалих дощів) можуть збільшувати ерозійні процеси в певні періоди року.

В наш час людський вплив на природу катастрофічний, із-за чого проходить деградація природних екосистем у зв'язку з вирубкою лісів та знищення природних фільтрів для води (наприклад, водоохоронні зони, ставки та інші водоемільсиви) можуть збільшувати стік води на сільськогосподарських угіддях. Не правильне використання методів збереження ґрунтів, ігнорування заходами щодо збереження вологи та захисту від ерозії, таких як побудова контурних каналів, вирощування рослин із глибокою кореневою системою, тощо.

Все це призводить до водної ерозії з втратою родючих ґрунтів. Водна ерозія призводить до змивання верхнього родючого шару ґрунту, що знижує його здатність до підтримки рослинності, знижуючи продуктивність земель, це особливо важливо для сільськогосподарських угідь, де родючість ґрунтів є основою для отримання врожаю. Втрата родючого шару та погіршення структури ґрунту призводять до зниження ефективності сільськогосподарського виробництва. Ґрунти, які зазнали ерозії, можуть мати обмежену здатність до збереження вологи та живильних речовин, що негативно впливає на ріст та розвиток рослин. Водна ерозія призводить до погіршення водного балансу в екосистемі, оскільки вода, яка повинна поглинатися ґрунтом, замість цього швидко стікає, забираючи з собою поживні речовини та частини ґрунту, це сприяє утворенню ярів і каналів, зменшуючи площу оброблюваних земель. В свою чергу потік води, що змиває еродовані ґрунти, може спричинити забруднення річок, озер та інших водних джерел. Водночас, у змиваємих ґрунтах можуть міститися пестициди, добрива та інші токсичні речовини, що негативно впливає на екосистеми водних ресурсів. Взагалі знищення природного середовища через ерозію ґрунтів може привести до втрати біорізноманіття, оскільки багато видів рослин та тварин залежать від здорових ґрунтів для існування. Також втрата родючих земель і зниження врожайності можуть призвести до фінансових втрат для фермерів і місцевих економік, зокрема через необхідність відновлення ґрунтів та впровадження дорогих заходів з боротьби з ерозією.

Водна ерозія ґрунтів є однією з найгостріших проблем України. При цьому це не лише екологічна, а й економічна проблема, в світовому масштабі ерозія

грунтів спричиняє щорічне зниження виробництва продовольства на 33,7 млн. тон. У грошовому вираженні збитки від ерозії оцінюються в досить широких межах та незважаючи на розбіжність оцінок – сягають за щонайменше декілька мільярдів доларів США на рік. Ерозія ґрунту визнається однією з найсерйозніших глобальних екологічних проблем. В Україні площа земель, вражених процесами водної ерозії становить 13,3 млн. га, площа ярів становить 141,1 тис. га, а їх кількість перевищує 500 тисяч. Економічні збитки внаслідок ерозії перевищують 6 млрд. дол. США в рік [1].

Загалом, водна ерозія є серйозною проблемою для сільськогосподарських ландшафтів, оскільки вона не лише погіршує стан ґрунтів, а й має довготривалі негативні екологічні та економічні наслідки. Для зменшення впливу водної ерозії необхідно застосовувати комплексні заходи щодо збереження ґрунтів та зниження ризику ерозійних процесів.

1.2. Методи моніторингу ерозійних процесів: традиційні та сучасні підходи

Моніторинг ерозійних процесів є важливим для оцінки стану ґрунтів та своєчасного виявлення ерозії, що допомагає запобігти деградації земель і зберегти продуктивність сільськогосподарських угідь. Існують різні методи моніторингу ерозії, які можна умовно поділити на традиційні та сучасні.

Розглянемо традиційні методи моніторингу ерозії з наземними спостереження та візуальними оцінками. Цей метод є найбільш базовим і передбачає проведення візуальних оглядів ділянок, що піддаються ерозії, на місцевості. Спостереження проводяться безпосередньо фахівцями або сільськими працівниками, які оцінюють масштаби пошкоджень на основі зовнішніх ознак (як-от утворення ярів, втрата верхнього родючого шару, наявність слідів водного стоку). Перевагою є простота і доступність, швидке виявлення основних ерозійних процесів. До недоліків відносять суб'єктивність оцінки, обмежена точність і надійність результатів, необхідність регулярних відвідувань для оновлення даних.

Технічні методи (відкриття ерозії за допомогою фізичних параметрів) включають використання інструментів, таких як естиматори втрат ґрунту (наприклад, відстань до рівня води в ярах або глибина канав). Для цього використовуються спеціальні пристрої, які можуть вимірювати зміни у висоті або складі ґрунту на певних ділянках. Це дозволяє отримати більш точні дані, які можна використовувати на великих територіях. З недоліків є потреба в наявності спеціалізованого обладнання що вимагає великих затрат часу та ресурсів.

Фотографування та створення карт з використанням аерофотозйомки. За допомогою аерофотозйомки (з літака або безпілотних літальних апаратів) можна здійснювати моніторинг великої території та оцінювати стан ґрунтів через регулярні знімки. Переваги цього методу в тому, що можна охопити великі площі та оцінити ерозії через знімки. Але для цього потрібно спеціальне обладнання та технічні знання та потрібно виконувати зйомки у різні пори року для більш точної оцінки.

Розглянемо ближче сучасні методи моніторингу ерозії. Це є дистанційне зондування Землі, це є один з найпоширеніших і найбільш ефективних методів для виявлення та моніторингу ерозійних процесів. Включає використання супутникових знімків або аерофотозйомки для отримання зображень території з високою роздільною здатністю. Дистанційне зондування дозволяє отримувати дані про стан ґрунтів, виявляти зміни в рослинному покриві, а також оцінювати ступінь ерозії за допомогою різних індексів, таких як NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) та інших. З цим методом виникає можливість моніторингу великих територій за допомогою супутників (наприклад, Sentinel-2), можливість регулярного оновлення даних що в свою чергу дає об'єктивність та точність результатів. В цьому методі є залежність від погодних умов (хмарність, туман) та необхідність у спеціалізованому програмному забезпеченні для обробки даних (наприклад, QGIS або Google Earth Engine).

Дані космічного зондування є надійною основою для моніторингу ґрунтових ресурсів, що обумовлюється високою детальністю та оглядовістю знімків, можливістю їх оперативного оновлення, відносній дешевизні отримуваних даних.

В той же час відомо, що космічний знімок сам по собі є «напівфабрикатом», який набуває справжньої тематичної інформативності лише після інструментальної обробки фахівцем [1].

Геоінформаційні системи дозволяють збирати, зберігати, аналізувати та візуалізувати просторові дані про ерозійні процеси. Завдяки використанню ГІС можна створювати карти ерозійної небезпеки, оцінювати зміни на території та прогнозувати майбутні зміни в залежності від різних факторів (кліматичних, агротехнічних, топографічних), вони проводять через системи аналіз великих масивів даних. Це є простота у використанні для візуалізації та оцінки ерозійних процесів. Але для цього потрібні висококваліфіковані спеціалісти для налаштування та обробки даних.

За допомогою спеціалізованих програм, таких як WEPP (Water Erosion Prediction Project) або RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), можна створювати прогнози ерозійних процесів на основі аналізу факторів, які впливають на ерозію (дощі, тип ґрунтів, рельєф, покриття рослинами тощо), що дає можливість точного прогнозування ерозії в залежності від різних факторів з використанням великих масивів даних для створення моделі.

Використання безпілотних літальних апаратів, де безпілотники (дрони) можуть бути використані для детальної аерофотозйомки ділянок з високою роздільною здатністю. Вони дають можливість отримувати дані в режимі реального часу і проводити аналіз навіть на віддалених чи важкодоступних територіях. Вони надають точну інформацію, високо – точні зображення та можливість збору даних у важкодоступних місцях. Але є обмежена тривалість польотів, що є недоліком і ще потребує спеціалізованих знань і обладнання.

Для забезпечення точності і достовірності результатів моніторингу ерозійних процесів важливо порівнювати дані, отримані за допомогою дистанційного зондування, з реальними польовими спостереженнями. Це дозволяє оцінити ефективність застосування технологій дистанційного моніторингу для виявлення ерозійних форм рельєфу та інших земельних змін.

Збір даних за допомогою дистанційного моніторингу використовуючи

супутникові знімки, дані з онлайн карт за допомогою даних супутникових знімків Landsat, Sentinel-2, MODIS ефективно виявляє ерозійні процеси, аніж оглядовий метод.

Отже можна дійти висновку, що дистанційний моніторинг може виявляти ерозійні процеси через аналіз змін у рельєфі (наприклад, зміну висоти ґрунту, утворення ярів, зміщення водотоків). Супутникові знімки можуть виявити зміни в рослинному покритті або виявити інтенсивні процеси ерозії на великих площах. А польові спостереження підтверджують наявність або відсутність ерозії через безпосередній огляд, де можна побачити фізичні прояви ерозії, які не завжди можна точно визначити лише на знімках.

Порівняння результатів дистанційного моніторингу з польовими даними дозволяє визначити точність даних. Супутникові знімки можуть виявляти ерозію на великих територіях, проте точність визначення місць ерозії на дрібніших ділянках може бути меншою. Такі знімки також можуть бути схильні до атмосферних впливів, які знижують точність. Дистанційний моніторинг дозволяє виявити великі ерозійні форми. Однак він може не завжди виявляти дрібні ерозійні процеси, як-от розмив ґрунтів у межах полів або незначні зміщення. Польові спостереження можуть бути більш ефективними для виявлення малих ерозійних форм, які не так очевидні на супутникових знімках. Однак, польові дослідження є менш масштабними. Для визначення масштабу ерозії звісно дистанційне зондування дозволяє оперативно оцінювати великі території для виявлення ерозійних процесів, що дозволяє виявити масштаби поширення ерозії. Водночас, польові спостереження здебільшого дають більш точну оцінку ступеня ерозії в конкретних точках чи ділянках.

Підсумовуючи можемо визначити переваги дистанційного моніторингу. За допомогою нього можна отримати широкий охоплення територій, де дистанційний моніторинг дозволяє отримати дані на великих площах, що є важливим для оцінки загальних тенденцій ерозії. З боку оперативності супутникові дані можуть бути доступні в короткий термін, що дозволяє проводити моніторинг у реальному часі. З боку безпеки і економічності цей метод не потребує безпосереднього виходу в

поле, що може бути важливо для важкодоступних територій.

Переваги польових спостережень це точність і деталізація. Польові спостереження дозволяють отримати точні дані про типи ерозійних процесів і їх інтенсивність. Виявлення ерозії на місці дозволяє точно оцінити ступінь змін та пропонувати заходи для зменшення або запобігання ерозії, тобто інтерпретувати фізичні зміни ґрунту.

Порівняння результатів дистанційного моніторингу з польовими спостереженнями показує, що обидва методи мають свої переваги та недоліки. Дистанційне зондування є ефективним для великих територій і оперативного отримання даних, однак для детального вивчення та точного визначення ерозійних форм необхідні додаткові польові спостереження. Інтеграція обох методів забезпечує більш комплексний підхід до моніторингу ерозії і дозволяє отримати надійніші результати для управління земельними ресурсами.

Традиційні методи моніторингу ерозії мають свою ефективність на локальних ділянках, проте вони потребують значних трудовитрат і не завжди дають точні результати. Сучасні методи, такі як дистанційне зондування, використання ГІС та БПЛА, дозволяють здійснювати більш точний, об'єктивний і масштабний моніторинг, забезпечуючи високий рівень ефективності в боротьбі з ерозією та деградацією ґрунтів. Вибір методу залежить від конкретних умов, доступних ресурсів та масштабів дослідження.

1.3. Огляд сучасних досліджень у сфері дистанційного моніторингу ерозії

Дистанційний моніторинг ерозійних процесів за допомогою супутникових та аерофотознімків є важливим інструментом для вивчення стану ґрунтів на великих територіях. Оскільки проблема ерозії стає дедалі актуальнішою, дослідники з усього світу активно займаються вивченням та вдосконаленням методів дистанційного моніторингу для оцінки і прогнозування ерозійних процесів. Одним із основних напрямів сучасних досліджень є використання даних Sentinel-2, що забезпечують високоякісні знімки з роздільною здатністю до 10 м. Ці дані

використовуються для моніторингу змін в рослинному покриві, виявлення ерозійних процесів, а також для оцінки стану ґрунтів. Індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) використовується для аналізу здоров'я рослинності, що допомагає виявляти еродовані території, де рослинний покрив є ослабленим або відсутнім. Індекс NDSI (Normalized Difference Snow Index) використовують для аналізу снігових покривів, які також можуть бути пов'язані з процесами ерозії, наприклад, через розташування в гірських районах, де сніг та льодовики можуть бути основним чинником ерозії.

Супутники Landsat також використовуються для моніторингу ерозії, особливо через доступ до архівних даних, які дозволяють аналізувати довгострокові зміни. Технології змішаної пікселізації та індекси рослинності (NDVI, EVI) дозволяють оцінювати зміни в рослинності та ступінь деградації ґрунтів протягом тривалих періодів часу. Використання супутникових даних для моделювання ерозії стало важливим напрямом досліджень, наприклад, розроблені моделі, які використовують супутникові знімки для оцінки швидкості змивання ґрунтів та прогнозування змін на основі даних про рослинність, кліматичні умови та географічне положення.

Цифрові моделі рельєфу (DEM) дозволяють моделювати рух води по поверхні, що є важливим для аналізу водної ерозії. Дані DEM часто використовуються разом із супутниковими знімками для більш точного прогнозування ерозійних процесів, таких як утворення ярів або змив ґрунтів. Сучасні дослідження активно інтегрують дані дистанційного зондування з ГІС для більш глибокого аналізу та візуалізації результатів моніторингу ерозії. За допомогою ГІС можна створювати карти ерозійної небезпеки, а також виконувати просторовий аналіз, оцінюючи вплив різних факторів (клімат, рельєф, використання земель) на процеси ерозії. ГІС-карти допомагають виявляти найбільш вразливі території до ерозії та оцінювати зміни на цих територіях за допомогою часових рядів даних.

Один із нових напрямків досліджень використання БПЛА для створення високоякісних аерофотознімків для моніторингу ерозії на місцевому рівні. Це

дозволяє здійснювати точні вимірювання та отримувати дані в реальному часі. БПЛА дають можливість проводити моніторинг навіть на важкодоступних територіях, таких як гірські чи болотисті місцевості, де використання супутникових знімків може бути обмеженим. Новітні дослідження використовують штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання для автоматизації процесу обробки супутникових знімків і виявлення ерозійних процесів. Завдяки алгоритмам глибокого навчання, можна автоматично класифікувати зображення за різними ознаками ерозії, що дозволяє значно знизити час та витрати на ручну обробку даних. Глибоке навчання застосовується для автоматичного виявлення змін у рослинному покриві, деградації ґрунтів та ерозійних процесів.

Використання технологій обробки великих даних (Big Data) дозволяє інтегрувати величезні обсяги інформації з різних джерел (супутникові знімки, ГІС, БПЛА) для створення комплексних моделей прогнозування ерозії. Європейський проект Copernicus забезпечує безкоштовний доступ до супутникових даних, які активно використовуються для моніторингу ерозії та інших екологічних проблем. Дані з супутників Sentinel-1 і Sentinel-2 дають можливість створювати карти ерозії на глобальному рівні. Проект GLCF надає доступ до глобальних даних про покриття земної поверхні, що включають детальні карти рослинності, стану ґрунтів та ерозії, ці дані широко використовуються для моніторингу змін в екосистемах.

Сучасні дослідження у сфері дистанційного моніторингу ерозії значно покращили точність та ефективність аналізу ерозійних процесів. Використання супутникових даних, моделювання, інтерпретація великих даних, а також інтеграція технологій ШІ та ГІС дозволяє надавати точні прогнози, здійснювати моніторинг на великих територіях і забезпечувати сталий розвиток сільськогосподарських ландшафтів. Однак важливо враховувати, що успіх моніторингу залежить від ефективності використаних технологій, а також від інтеграції результатів з іншими методами досліджень і управління територіями.

Дистанційний моніторинг ерозії ґрунтів є багатогранною і міждисциплінарною областю досліджень, яка включає в себе різні наукові напрямки, від географії до екології

та інженерії. Декілька провідних науковців та дослідницьких груп активно працюють в цій сфері. Джон М. Сміт є відомим вченим у галузі землевпорядкування та екології. Його дослідження зосереджені на використанні супутникових даних для моніторингу ерозії ґрунтів та прогнозування змін ландшафтів через водну ерозію. Він активно працює над розробкою моделей прогнозування ерозії за допомогою даних від супутників Landsat і Sentinel, а також над покращенням методів аналізу змін у рослинному покриві.

Далі Карлос Рамірес відомий своїми дослідженнями в галузі екології ландшафтів та водної ерозії. Він активно використовує ГІС та супутникові знімки для моніторингу ерозії в різних регіонах, включаючи аграрні зони та гірські території. Його роботи з моделями RUSLE та WEPP допомагають в оцінці ризиків ерозії на різних типах ґрунтів.

Шіао Лі мав дослідження з дистанційного зондування, моделювання ерозії, інтерпретація супутникових знімків Шіао Лі є одним із провідних дослідників, який використовує новітні методи дистанційного зондування та супутникові технології для дослідження ерозії ґрунтів в Китаї та інших країнах. Його роботи з інтеграції супутникових даних із різними індексами рослинності (NDVI, EVI) допомогли в створенні точних карт ерозії для великих аграрних територій. Чарльз Г. Смітсон активно працює в напрямку використання геоінформаційних систем (ГІС) для прогнозування ерозії ґрунтів у сільськогосподарських ландшафтах. Його дослідження зосереджені на розробці моделей для визначення найбільш уразливих до ерозії ділянок, а також на впливі змін клімату на ерозійні процеси. Рене Ван дер Вестгейзен є спеціалістом з гідрології та ерозії ґрунтів. Він досліджує використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для виявлення ерозійних процесів, особливо в труднодоступних районах. Його робота з точними аерофотознімками та обробкою даних БПЛА дозволяє отримувати високоточні дані про стан ґрунтів та водні потоки, що є основними факторами ерозії.

Томас Л. Джонсон спеціалізується на використанні цифрових моделей рельєфу (DEM) для моніторингу ерозії ґрунтів. Він розробляв моделі для визначення напрямків та швидкості водного потоку, що дозволяє прогнозувати ерозійні процеси на основі географічних даних. Його роботи широко застосовуються для оцінки ерозії в гірських

районах та на рівнинних територіях. А от Сьюзен Х. Хопкінс є одним із лідерів у дослідженні впливу кліматичних змін на ерозію ґрунтів. Вона використовує супутникові технології для моніторингу змін в екосистемах та для прогнозування потенційних ерозійних ризиків, пов'язаних із змінами температури, інтенсивністю опадів та іншими кліматичними факторами (Табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Дослідження науковців у сфері дистанційного моніторингу ерозії

Науковець	Галузь досліджень	Основні досягнення та дослідження
Джон Сміт	Землеустрої, ерозія ґрунтів, дистанційне зондування	Використання супутникових даних для моніторингу ерозії, розробка моделей прогнозування за допомогою супутників Landsat та Sentinel.
Карлос Рамірес	Екологія ландшафтів, водна ерозія, ГІС	Вивчення використання ГІС та супутникових знімків для моніторингу ерозії на аграрних територіях, розробка моделей RUSLE та WEPP.
Шіао Лі	Дистанційне зондування, моделювання ерозії	Використання супутникових даних для дослідження ерозії в Китаї, інтеграція індексів рослинності (NDVI, EVI) для карт ерозії.
Чарльз Смітсон	Водна ерозія, агрономія, прогнозування ерозії за допомогою ГІС	Використання ГІС для оцінки ерозійних ризиків, розробка методів для прогнозування ерозії на основі зміни клімату та типів ґрунтів.
Рене Ван дер Вестгейзен	Дистанційне зондування, гідрологія, моніторинг ерозії за допомогою БПЛА	Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу ерозії, отримання точних аерофотознімків для труднодоступних територій.
Томас Джонсон	Моделювання ерозії, використання даних DEM	Використання цифрових моделей рельєфу (DEM) для моделювання руху води та прогнозування ерозії в гірських та рівнинних районах.
Сьюзен Хопкінс	Супутникові технології, кліматичні зміни, ерозія внаслідок зміни клімату	Вивчення впливу змін клімату на ерозію, використання супутникових технологій для моніторингу змін у екосистемах та прогнозування ерозії.
Пітер Лінн	Водна ерозія, супутникові знімки, моделювання руху води	Використання супутникових знімків для моделювання водного потоку та прогнозування ерозії, особливо в аграрних зонах.
Алессандро Бонфіні	Дистанційне зондування, обробка великих даних	Розробка методів обробки великих даних та використання машинного навчання для виявлення ерозії на основі супутникових знімків.

Пітер М. Лінн спеціалізується на використанні супутникових знімків для моделювання руху води по поверхні ґрунту. Його дослідження допомогли у

вдосконаленні методів аналізу водної ерозії, зокрема в аграрних зонах, де значні об'єми води можуть призводити до ерозії через інтенсивні дощі або неконтрольоване зрошення. Алессандро Бонфіні працює над розробкою методів обробки великих даних та використання алгоритмів машинного навчання для виявлення ерозійних процесів. Він досліджує застосування штучного інтелекту для аналізу супутникових знімків та автоматизації виявлення ерозії, що значно покращує ефективність моніторингу.

Ці науковці та їх дослідження стали основою для розвитку сучасних методів моніторингу та прогнозування ерозії ґрунтів. Вони застосовують різні технології, зокрема супутникове зондування, ГІС, БПЛА та машинне навчання, що дозволяє значно покращити точність моніторингу та забезпечити більш ефективне управління земельними ресурсами.

Науковці, що займаються дослідженнями у сфері дистанційного моніторингу ерозії, роблять вагомий внесок у розвиток методів виявлення та прогнозування ерозійних процесів. Їх дослідження допомагають розробити точні методи для виявлення ерозійних ділянок, оцінки ризиків та впливу кліматичних змін на ґрунтові процеси.

РОЗДІЛ 2

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкт і предмет дослідження

Лише протягом 1960–2015 років площа еродованих земель в Україні зросла на 30–35%. За прогнозами, в Україні до 2030-го їх частка може сягнути 60–70% від загальної площі орних земель. А з урахуванням викликів, які спричинила війна, очевидно цей відсоток стане ще більше. Це включає в себе сільськогосподарські угіддя, які можуть бути піддані ерозійним процесам. За інформацією із відкритих джерел вплив ерозії ґрунтів охоплює 41 % площі сільськогосподарських угідь Харківщини.

Пошкодження ґрунтів Харківщини унаслідок воєнних дій і найбільший вплив на ґрунти відбувається в районах інтенсивних боїв. 35-40% ґрунтового покриття на півночі Харківського району пошкоджено. Тому для збереження економічного потенціалу і підтримки екологічного балансу регіону особливої уваги заслуговує територія, яка неуражена наслідками воєнних дій.

Тому у якості об'єкту дослідження і було обрано території Краснокутської територіальної громади, що знаходиться на північному заході Харківської області і яка відноситься до місцевості аграрного типу.

Предметом дослідження є прояви водної ерозії ґрунтів на території Краснокутської громади Харківської області, що можуть бути виявлені за допомогою дистанційного моніторингу. Це дослідження дозволяє отримати інформацію щодо виявлення еродованих ділянок на полях та розробити рекомендації щодо запобігання та контролю ерозії в майбутньому.

На території громади переважають різні типи ґрунтів, що мають свою специфіку залежно від природних умов, клімату та діяльності людини. Розглянемо основні типи ґрунтів, їх характеристики та особливості в даному районі.

Частина громади лежить на щільних лісоподібних суглинках (ґрунт, що складається переважно з піску). Також вирізняють темно-сірі підзолисті ґрунти (ґрунти,

що формуються в областях бореальних і помірних поясів під хвойними і мішаними лісами з моховим, мохово-трав'яним і мохово-чагарниковим покриттям). Крім того, зустрічаються лучно-чорноземні високогумусні ґрунти зі слабкокислою реакцією. А в долині річки Мерли - лучні ґрунти.

Чорноземи - це основний тип ґрунтів, який характерний для степових регіонів України, зокрема й для Краснокутської територіальної громади. Чорноземні ґрунти є одним з найплідніших ґрунтів і дуже важливим для сільськогосподарського виробництва.

У цій громаді проблемою залишається на даний час підвищена схильність до ерозії при інтенсивному землекористуванні (рис. 2.1).

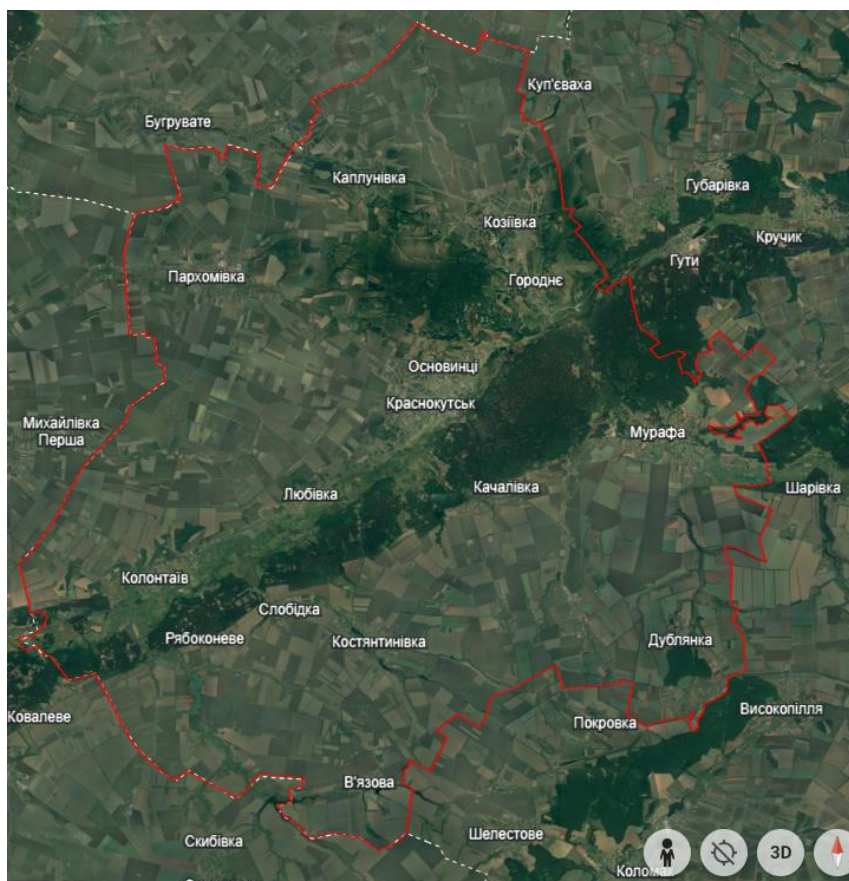


Рис. 2.1. Територія Краснокутської територіальної громади

Сільськогосподарські угіддя, особливо зернові поля, часто піддаються інтенсивній обробці. Неправильне використання землі може призвести до деградації ґрунтів та посилення ерозії. Рельєф території, зокрема схили, підвищує вразливість ґрунтів до ерозії. Водні потоки на схилах можуть значно пошкодити

грунтовий покрив, особливо при високих інтенсивностях дощів.

2.2 Методологія збору та обробки даних

Дистанційне зондування ґрунтів є потужним інструментом для вивчення та моніторингу водної ерозії. Збір та обробка даних за допомогою супутникових систем і інших технологій дистанційного зондування дозволяють отримати високоточні, оперативні та масштабовані дані для подальшого аналізу.

Методологія збору та обробки даних включає кілька етапів. Збір даних для моніторингу ерозії ґрунтів на основі дистанційного зондування включає використання різноманітних платформ.

Аналіз отриманих даних має також враховувати ще додаткові джерела даних, у тому числі інформацію, яка вже була напрацьована, наприклад:

- ступінь еродованості ґрунтів України (рис. 2.2);

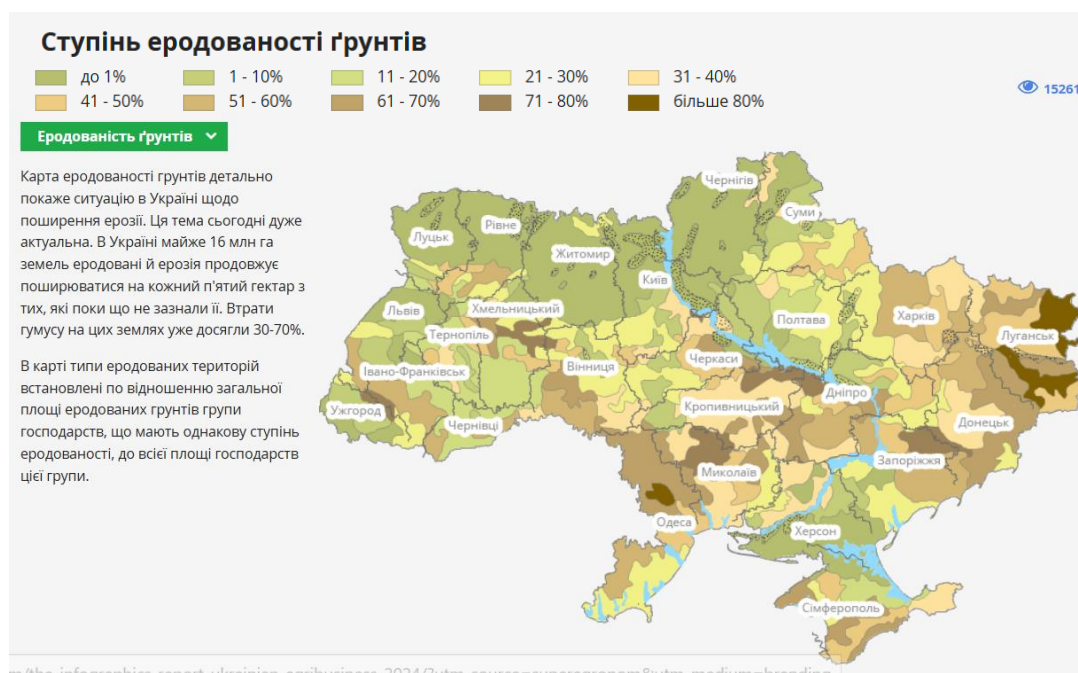


Рис. 2.2 Карта еродованості ґрунтів
(<https://superagronom.com/karty/erodovanist-gruntiv-ukrainy>)

- інформацію регіонального рівня - Екологічний паспорт Харківської області за 2023 рік

(https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1282/128134/Attaches/ekologichniy_pasport_harkivskoyi_oblasti_2023_rik.pdf)

Оцінка прояву процесів, таких, як водна ерозія ґрунтів, здійснюється за допомогою сучасних дистанційних методів моніторингу, до яких відноситься застосування даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) – зокрема, спостереження поверхні Землі космічними засобами та використання географічних інформаційних систем (ГІС-технологій) – сучасна комп'ютерна технологія, що дозволяє поєднати зображення території з інформацією табличного типу (різноманітні статистичні дані, списки, економічні показники тощо).

У дослідженні для виявлення еродованих ділянок використовували відкритий онлайн-ресурс – Google Earth, який дозволяє переглядати реальні космічні знімки місцевості та включає в себе додаткові опції для їх аналізу та обробки.

Google Earth – це безкоштовна, вільно-завантажувана програма, яка була розроблена у 2004 році, проект компанії Google, у рамках якої в мережі Інтернет були розміщені супутникові фотографії всієї земної поверхні. Google Earth містить як великий пласт наочної ГІС - інформації, так і ресурси для екологічного аналізу та досліджень.

Моніторинг здійснювався за допомогою візуального дешифрування, тобто знімки є основою для моніторингу ґрунтових ресурсів, що обумовлюється високою детальністю та оглядовістю знімків, але в той же час знімок сам по собі не несе інформації, а набуває інформативності після обробки.

Додаткові можливості Google Earth, наприклад, дають змогу поставити мітки із записами на об'єктах моніторингу, зробити заміри, внести нотатки одразу у програму (рис. 2.3).

Крім того, програма дозволяє переглядати зображення однієї і тієї ж місцевості за кілька останніх років.

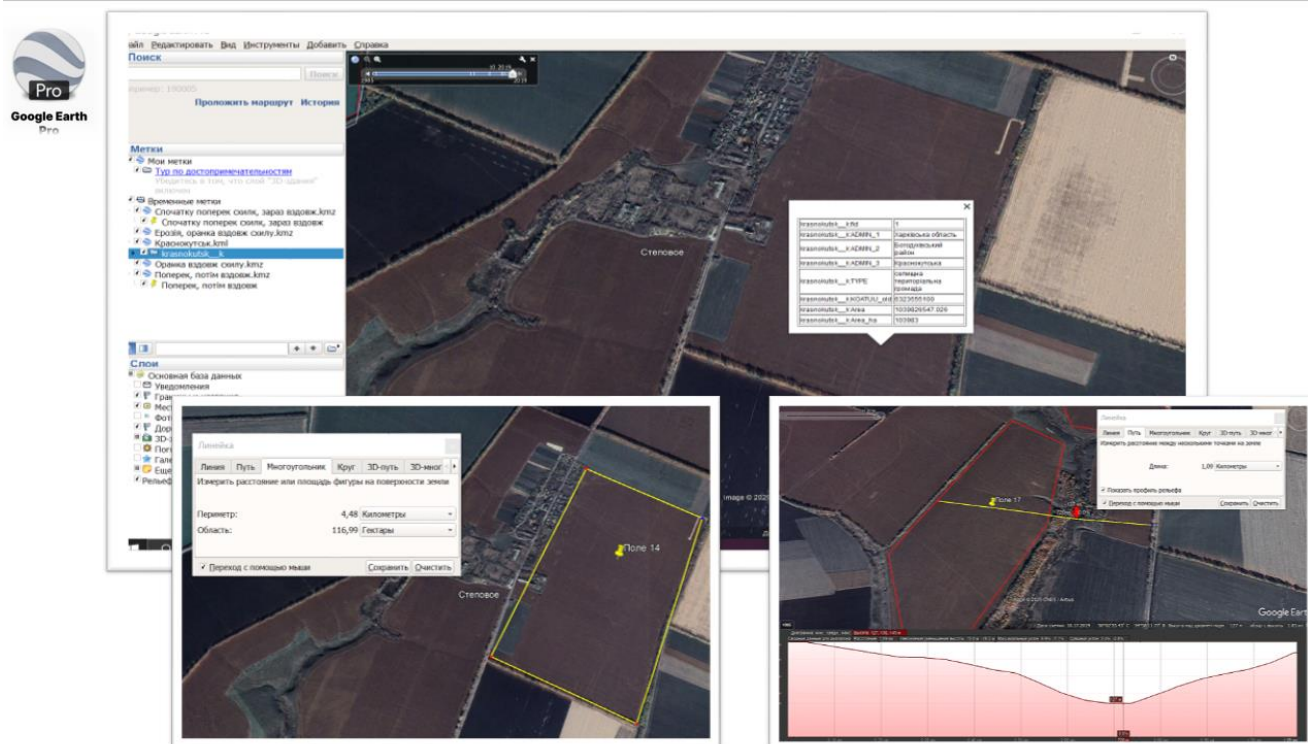


Рис. 2.3. Google Earth

(поля поблизу балки селища Степового Краснокутської ТГ)

2.3 Переваги методу дистанційного зондування Землі

В. Лялько, академік НАН України, доктор геолого-мінералогічних наук, директор Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України: *«Нині у світі дедалі більше уваги приділяють таким чинникам, як достовірність даних, оперативність їх надходження, мінімізація необхідних для цього витрат. І тут надзвичайно широкі можливості та беззаперечні переваги мають методи ДЗЗ. Це один із найбільш вражаючих «практичних виходів» космічної діяльності, саме за його допомогою вирішується багато «земних» справ і завдань у галузі природокористування, ресурсозбереження, екобезпеки тощо»*

Супутники, дані яких використовуються у різних видах ДЗЗ, облітають планету з певним інтервалом та надають дані про неї в реальному часі. Отримана інформація дозволяє аналізувати не тільки поточний стан об'єктів, але й оцінювати його зміни протягом певного періоду.

Технології ДЗЗ підживлюють наукові дослідження та спрощують щоденну роботу фахівців у багатьох сферах - як теоретичних, так і практичних. Усі види ДЗЗ зі застосуванням можливостей супутників мають надзвичайно широку область застосування та численні переваги.

У широкому сенсі дистанційне зондування - це отримання відомостей про поверхні досліджуваної території та об'єктах, розміщених на ній, без фізичного контакту з ними.

Впровадження такого методу, як зондування землі, дозволяє:

Забезпечити відповідні органи місцевого самоврядування актуальними і правдивими даними, які стосуються потенціалу місцевості з точки зору його природно-ресурсних характеристик.

Виявити невживані сільськогосподарські землеволодіння, які використовуються неефективно.

Скласти прогнози екологічних явищ, які можуть виявитися несприятливими, у тому числі різні ерозії ґрунту.

Однак, існує застереження щодо доступності і безкоштовності різноманітних інтернет-сервісів. Вихід у світ умовно безкоштовних інтернет-сервісів перегляду даних дистанційного зондування земної поверхні, та відмова від використання оплатного замовлення матеріалів космозйомки, з одного боку є привабливою можливістю. Але використовувати дані з таких джерел треба із розумінням того, що вони носять відносно архівний характер і датуються, як правило, у кращому випадку не менш як 5-річною давністю.

Отже основними перевагами ДЗЗ є оперативність отримання даних, відносна дешевизна, велика оглядовість та можливість проводити дослідження на великій відстані від об'єкту.

РОЗДІЛ 3

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

3.1 Виявлення еродованих ділянок за супутниковими даними

Однією із основних причин водної ерозії є нераціональне землекористування – оранка вздовж схилів, що збільшує швидкість стоку в 5 - 7 разів порівняно з поперечною. Тому поля поблизу балок як раз і були проаналізовані на предмет орієнтації оранки.

Предметом дослідження стали 24 поля у західній частині Краснокутської територіальної громади. Поля, відносно яких здійснювався моніторинг, були зафіксовані мітками з номерами і надписами як обробляється поле, та зафіксовані за допомогою скіншотів із програми. Візуальне виявлення ознак ерозії проводили уважно оглядаючи територію на предмет характерних ознак еродованих ділянок. Були визначені світлі плями без рослинності, видимі яри, борозни/вимоїни.

Ефективність боротьби з ерозією значною мірою залежить від правильного вибору напрямку обробітку полів відносно ухилу місцевості. Виділяють два основних способи це обробку уздовж схилу та обробіток поперек схилу, кожен із них має суттєво різні наслідки для стану ґрунту.

Оброблення уздовж схилу передбачає, що всі сільськогосподарські операції (оранка, посів, культивація) виконуються в напрямку природного нахилу місцевості від вершини схилу до його підніжжя. Як наслідок відбувається підвищення ризику ерозії. При обробітку уздовж ухилу борозни, утворені плугом чи культиватором, стають каналами для стоку дощової води. Це в свою чергу дає прискорення розмиву ґрунту, тому що під час злив вода швидко стікає вниз по борознах, змиваючи верхній родючий шар ґрунту. Тому розширюється зона формування ярів при тривалому обробітку уздовж схилу та без захисних заходів можливе утворення глибоких ерозійних форм, тобто ярів. Також це призводить до зниження врожайності через втрату гумусового шару і оголення підґрунтя, що

зменшують родючість полів.

Наприклад, на полях Краснокутської територіальної громади спостерігаються випадки еродованих смуг саме через обробіток уздовж схилу (рис. 3.1).

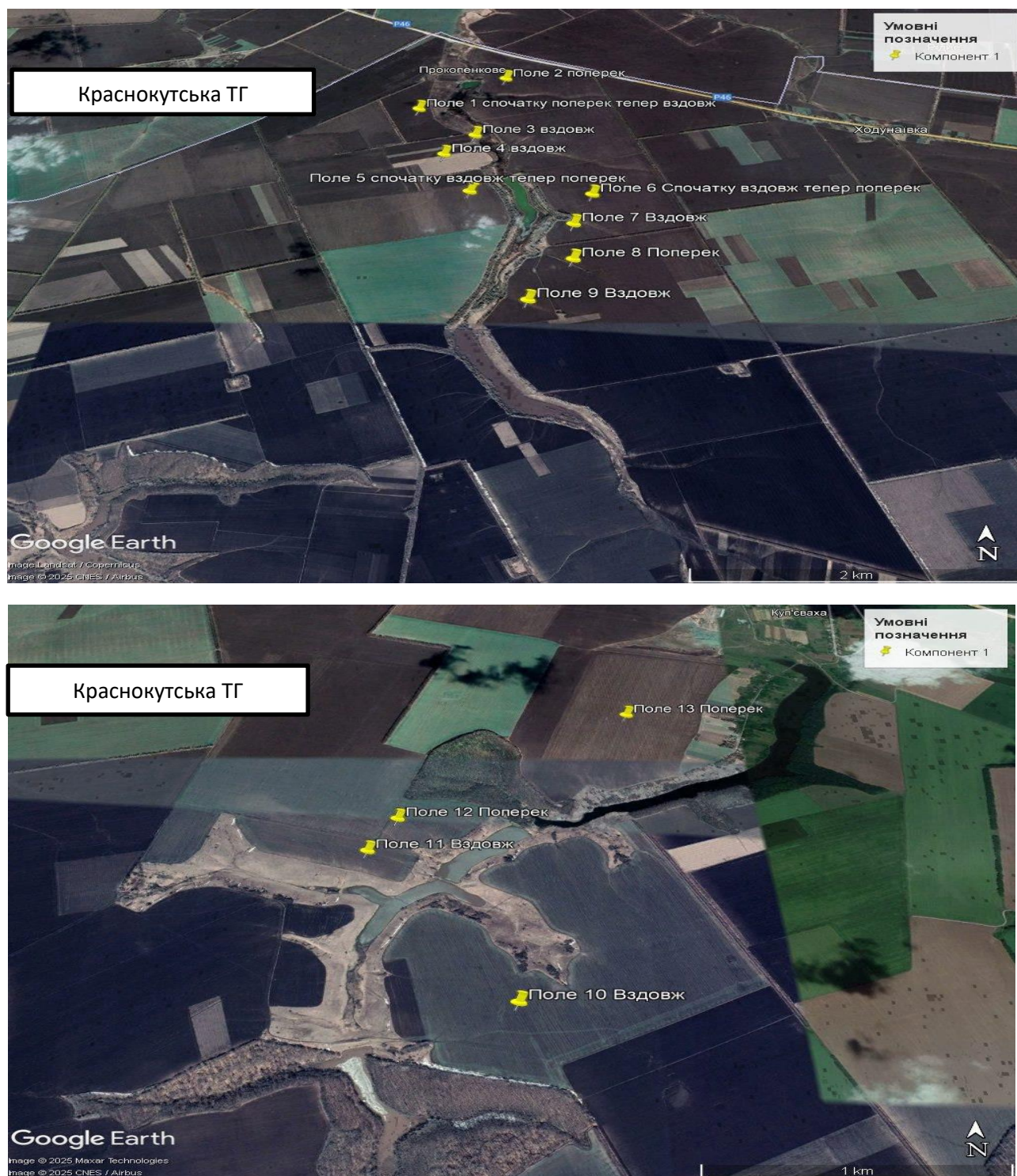


Рис. 3.1 Козіївський старостинський округ Каснокутської ТГ.

Як бачимо з малюнку обробка полів вздовж схилу практично призвела до створення яру між полями 3 та 6. Поле 8 має борозну/вимоїну, і це все потроху призводить до виникнення ризику ерозії.

Тепер розглянемо цю ж Краснокутську громаду біля балок в районі селища Степове. Як бачимо, з рисунка 3.2 поле 14 подалі від балки, спочатку його орали правильно поперек, а тепер почали вздовж, але воно не має катастрофічних наслідків черех своє місце розташування - практично на рівнині. Також правильно оброблені поля 16, 18 та 15, це свідчить про те, що в найближчому майбутньому цим полям нічого не загрожує у плані появи очагів ерозії, а от поле 17 оброблено вздовж схилу, тому ми спостерігаємо ближче до балки ерозії ґрунту.

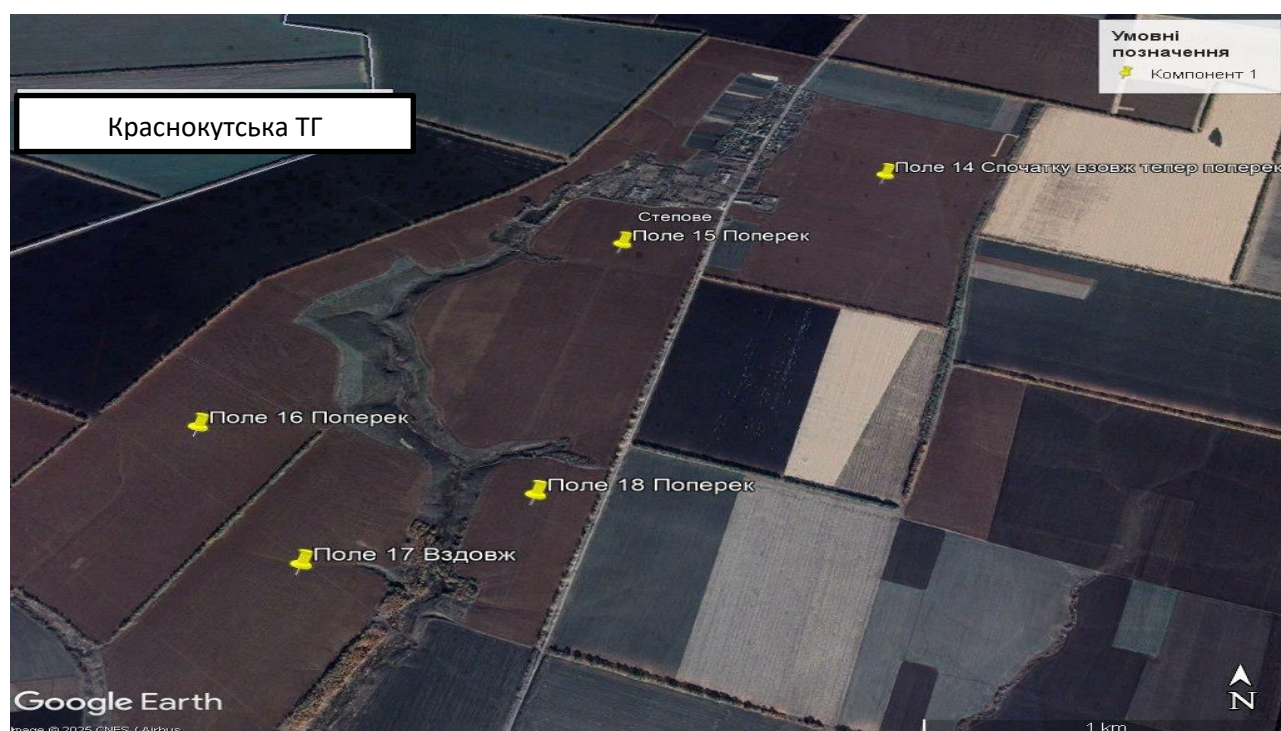


Рис. 3.2 Пархомівський старостинський округ Краснокутської ТГ

Далі розглянемо ще одну територію Краснокутської територіальної громади. Ми бачимо, що хоча поля знаходяться один біля одного, але обробляються по різному. Ось, наприклад, не відмічене велике поле трохи подалі від балки оброблено правильно поперек, хоча і знаходиться трохи подалі від схилу. А от поля 20, 22 оброблялись і обробляються вздовж, хоча і знаходяться на схилі, але вони

маленькі і позаду них є поля більші і також оброблені вздовж схилу. І якщо трапляються великі водні події, то ґрунт з цих полів просто може змити у балку. І як бачимо з рисунка 3.3 поля 19, 21 обробляються правильно поперек схилу, що утримує родючий ґрунт на полі.

А загальна картинка рисунка 3.3 показує, що дані поля поділені на дрібніші поля, тобто вони, імовірно, знаходяться у приватній власності. А це в свою чергу, додає проблем до загальної екологічної проблеми стосовно ерозії ґрунтів, тому що кожен власник обробляє свою землю на свій лад, що і призводить до втрати родючості ґрунтів.



Рис. 3.3. Рябокони́вський старостинський округ Каснокутської ТГ

3.2 Аналіз та статистичні дані експерименту

Дистанційним моніторингом було досліджено 24, з яких 14 мають прояви водної ерозії ґрунтів.

Досліджувані поля розташовані у північно-західній та південно-західній частинах Краснокутської ТГ:

- Козіївський старостинський округ;

- Пархомівський старостинський округ;
- Рябоконівський старостинський округ.

Підсумовуючи результати дослідження можна констатувати, що більшість полів обробляються неправильно, що може призводити до збитків економіці для цього регіону якщо не зараз, то у недалекому майбутньому.

Більшість полів, що мають ерозію, оброблені вздовж схилу. Цей висновок підтверджує відомий факт, що однією із основних причин водної ерозії є нерациональне землекористування — оранка вздовж схилів, що може збільшувати швидкість стоку води порівняно з поперечною обробкою (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Моніторинг методів обробки полів поблизу балок Краснокутської ТГ

№ поля	Наявність балки поруч	Орієнтація обробки	Ознаки ерозії	Стан ризику	Коментарі / Рекомендації
1	Так	До 2018 поперек, після - вздовж схилу	Борозна/вимоїна	Середній	Необхідне впровадження поперечної обробки
2	Так	Поперек схилу	Яр	Високий	Потребує протиерозійних заходів
3	Так	До 2018 поперек, після - вздовж схилу	Яр	Високий	Необхідне впровадження поперечної обробки
4	Так	До 2018 поперек, після - вздовж схилу	Борозна/вимоїна	Високий	Необхідне впровадження поперечної обробки
5	Так	До 2018 поперек, після - вздовж схилу	Яр	Високий	Необхідне впровадження поперечної обробки
6	Так	До 2015 поперек, після - вздовж схилу	Яр	Високий	Необхідне впровадження поперечної обробки
7	Так	До 2015 поперек, після - вздовж схилу	Немає	Середній	Необхідне впровадження поперечної обробки
8	Так	Поперек схилу	Борозна/вимоїна	Середній	Потребує протиерозійних заходів

Продовження таблиці 3.1

9	Так	Вздовж схилу	Яр	Високий	Необхідне впровадження поперечної обробки
10	Так	Вздовж схилу	Яр	Високий	Необхідне термінове впровадження поперечної обробки
11	Так	Вздовж схилу	Борозна/вимоїна	Середній	Необхідне впровадження поперечної обробки
12	Так	Поперек схилу	Борозна/вимоїна	Середній	Потребує протиерозійних заходів
13	Так	Поперек схилу	Немає	Низький	Позитивний приклад землекористування
14	Ні	Вздовж схилу	Немає	Низький	Через рівнинне положення ерозія наразі не загрожує
15	Так	Поперек схилу	Немає	Низький	Позитивний приклад землекористування
16	Так	До 2019 вздовж, після - поперек схилу	Немає	Низький	Позитивний приклад землекористування
17	Так	Вздовж схилу	Борозна/вимоїна	Середній	Необхідне впровадження поперечної обробки
18	Так	Поперек схилу	Немає	Низький	Позитивний приклад землекористування
19	Так	Поперек схилу	Немає	Низький	Позитивний приклад землекористування
20	Так	До 2010 поперек, після - вздовж схилу	Немає	Середній	Необхідне впровадження поперечної обробки
21	Так	До 2010 вздовж, після – поперек схилу	Немає	Низький	Позитивний приклад землекористування
22	Так	Вздовж схилу	Немає	Середній	Необхідне впровадження поперечної обробки
23	Так	Поперек схилу	Борозна/вимоїна	Середній	Потребує протиерозійних заходів
24	Так	Вздовж схилу	Яр	Високий	Необхідне впровадження поперечної обробки

Найбільший ризик ерозії спостерігається на полях, оброблених вздовж схилу, особливо в зоні поблизу балок (поля 3, 6, 7, 17, 20, 22). На деяких з них вже утворилися яри або прояви мікроерозії. Це свідчить про недотримання елементарних протиерозійних заходів і потребує негайного втручання. Поля, оброблені поперек схилу, демонструють стабільний стан та відсутність ознак ерозії (поля 15, 16, 18, 19, 21). Це підтверджує ефективність традиційних протиерозійних методів обробітку на схилових землях. Поля розташовані на рівнинній місцевості або подалі від балок (наприклад, поле 14), навіть при обробці вздовж, поки що не демонструють небезпечних наслідків, проте при зміні кліматичних умов або підвищенні інтенсивності опадів ці території також можуть потрапити в зону ризику.

У таблиці 3.2. представлена статистична інформація щодо обстеженої площі полів, кутів наряду оранки відносно балки, показник крутизна схилу відносно балки.

Таблиця 3.2.

Статистична інформація щодо досліджуваних полів Краснокутської ТГ

№ поля	Кут*	Ухил**, %	Площа, га	№ поля	Кут*	Ухил**, %	Площа, га
1	70	4,2	36	13	40	2	59
2	25	1,5	114	14	80	0	151
3	65	1,8	21	15	30	1,2	110
4	45	1	18	16	40	2	80
5	40	1	104	17	65	1	87
6	65	1,6	116	18	35	2	31
7	40	0,6	120	19	40	1	65
8	25	2,2	288	20	70	1	20
9	75	1,5	108	21	35	2	32
10	70	1	140	22	55	2,4	6
11	40	2,2	15	23	35	1	160
12	35	5,5	73	24	70	1,5	145

* кут наряду оранки відносно балки

** показник крутизна схилу відносно балки

Визначені поля були заміряні за площею та визначено середню крутизну схилу (ухил). Ухил усіх полів відповідає показникам пологих схилів (до 8 градусів), проте ухил частини поля, яка наближена до балки, іноді значно збільшувався і досягав 15 градусів, що відповідає середній крутизні схилу.

3.3 Рекомендації щодо практичного використання результатів дослідження

На основі проведеного дослідження щодо виявлення ерозії ґрунтів за допомогою дистанційного зондування можна сформулювати кілька практичних рекомендацій для застосування результатів дослідження в управлінні земельними ресурсами та запобіганні ерозійним процесам.

Використання результатів дослідження для моніторингу ерозії ґрунтів дозволяє не лише покращити виявлення і прогнозування ерозійних процесів, а й розробити ефективні стратегії управління земельними ресурсами.

Для раннього виявлення ерозії рекомендовано використовувати дані супутникового моніторингу для регулярного моніторингу великих територій з метою виявлення потенційних зон ерозії. Це дозволить на ранніх етапах виявляти зміни в рельєфі та рослинному покритті, що є ознаками розвитку ерозійних процесів. З боку практичності це забезпечить оперативне реагування на зміни ландшафтів і своєчасне вжиття заходів щодо мінімізації ерозії.

Для боротьби з ерозіями потрібна розробка стратегій захисту від ерозії ґрунтів. Для цього потрібно використовувати результати моніторингу ерозійних процесів для розробки та впровадження місцевих планів управління землями, які враховують найбільш вразливі ділянки, для таких ділянок слід розробити стратегії захисту від ерозії, наприклад посів рослин, що покращують структуру ґрунтів (наприклад, покриття для захисту від водної ерозії), створення водозахисних споруд (террас, канав, бар'єрів), проведення агротехнічних заходів для зміцнення ґрунтів (використання мульчі, коригування системи зрошення). Ці заходи очевидно знизять інтенсивність ерозійних процесів і покращать стабільність ґрунтів, запобігаючи їх деградації.

Важливим кроком буде впровадження підвищення обізнаності та залучення місцевих громад. Потрібно залучити місцеві громади до моніторингу ерозії та прийняття заходів для боротьби з ерозією через освітні програми, на яких буде надано інформацію про важливість збереження ґрунтів та методи їх захисту. Це може включати проведення тренінгів, майстер-класів. Підвищення рівня обізнаності серед місцевих жителів сприятиме кращій підтримці заходів щодо боротьби з ерозією на місцевому рівні та інтеграції методів сталого землекористування.

Очевидно, що доцільно використовувати отримані результати для планування сільськогосподарської діяльності в районах, схильних до ерозії. Оцінка ризику ерозії дозволяє визначити оптимальні місця для вирощування культур, вибір методів обробки ґрунту та збереження водних ресурсів, що у свою чергу допоможе оптимізувати аграрну діяльність з урахуванням природних ризиків, яка дозволить збільшити врожайність та знизити витрати на боротьбу з ерозією.

Для Краснокутської територіальної громади рекомендовано оброблення полів поперек схилу, що означає проведення всіх сільськогосподарських робіт перпендикулярно до напрямку схилу вздовж горизонталей місцевості. Це призведе до зменшення швидкості водного стоку, тому що борозни, утворені при обробітку поперек схилу, перехоплюють і затримують воду, зменшуючи її ерозійну силу. Обробіток поперек схилу є одним із найпростіших і найдоступніших заходів для боротьби з ерозійними процесами у досліджуваному об'єкті для збереження родючості верхнього шару ґрунту, який має краще утримується на місці, забезпечуючи стабільні врожаї. Як ми побачили з супутникових знімків на полях, де використовується обробіток поперек схилу, зазвичай, спостерігається менша площа оголеного ґрунту та відсутність ярів і розмивів навіть після сильних дощів.

З іншого боку зрозуміло, що обробіток уздовж схилу значно прискорює процеси ерозії і призводить до деградації ґрунтів, в той час як обробіток поперек схилу є ефективним агротехнічним заходом, який сприяє збереженню ґрунтів, води і родючості.

Отже, за результатами дослідження можна сформулювати наступні

рекомендації:

- Використовувати на рівні громади дистанційний моніторинг стану сільськогосподарських угідь, особливо тих, які розташовані на схилах, з метою мінімізації водної ерозії ґрунтів для своєчасного вжиття заходів щодо виявлення зон водної ерозії та оперативного реагування.

- Запровадити на рівні громади практичні семінари щодо можливостей використання безкоштовних ресурсів для дистанційного моніторингу стану водної ерозії ґрунтів.

- Організувати в громаді інформаційну роботу серед власників земельних ділянок щодо технологій, що зменшують шкоду від водної ерозії на орних землях, особливо тих, які розташовані на схилах (обробка поперек схилу).

- Запровадити в громаді систему контролю за діяльністю агросектору у частині використання раціональних технологій обробки сільськогосподарських земель.

Для збереження родючості та попередження ерозійних процесів необхідно об'єднання зусиль землевласників, впровадження загальних правил землекористування на схилах, зокрема поперечний обробіток ґрунту.

ВИСНОВКИ

Основні висновки дослідження:

- Дистанційний моніторинг проявів водної ерозії ґрунтів з використанням відкритих безкоштовних інтернет-ресурсів дає можливість отримувати за нетривалий час інформацію щодо великих територій, які необхідно обстежити.
- Дистанційним моніторингом було досліджено 24 поля загальною площею орієнтовно 2100 га, що складає 3,3% від орних земель Краснокутської ТГ (62 955 га).
- Дистанційним моніторингом встановлено, що 58% досліджених полів обробляються неправильно (вздовж схилу).

В процесі написання роботи було виконано всі визначені задачі, що дало змогу досягти визначеної цілі дослідження. Здійснено аналіз наявної літератури, в результаті якого узагальнено ключові фактори, що спричиняють виникнення водної ерозії ґрунтів, її згубні наслідки для агроландшафтів, а також проведено класифікацію існуючих методів вивчення ерозійних процесів, що створило теоретичну базу для подальших практичних етапів роботи.

Вивчено сучасні засоби дистанційного зондування Землі та ГІС-технології, які дозволяють результативно виявляти та оцінювати ерозійні явища на обширних територіях. Розглянуто переваги використання супутникових даних у комбінації з інструментами просторового аналізу в ГІС-середовищі.

Вибрано об'єкт дослідження - земельні угіддя Краснокутської громади Харківської області, які піддаються загрозі водної ерозії. Зібрано актуальні супутникові зображення та проведено їхню обробку з використанням відповідного програмного забезпечення. Виконано аналіз отриманої інформації, створено карти просторового розподілу ерозійних процесів та здійснено порівняння результатів дистанційного моніторингу з польовими спостереженнями. Встановлено відповідність між напрямком обробки ґрунту, розташуванням полів відносно схилів та інтенсивністю прояву ерозії.

Розроблено рекомендації щодо застосування дистанційного моніторингу в системі захисту земель, зокрема, впровадження поперечного обробітку на схилах, об'єднання зусиль власників землі для спільного управління, використання ГІС як інструменту планування та запобігання деградації ґрунтів. У підсумку виявилось, що дистанційний моніторинг, зокрема за допомогою супутникових знімків, є ефективним інструментом для виявлення ерозійних процесів на великих територіях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ачасов А. Б., Ачасова А. О. (2020). Особливості візуального дешифрування проявів водної ерозії. Людина та довкілля. *Проблеми неоекології*, 2020. Вип.33, с. 145-155.
2. Голинський В. Проблеми використання та охорони Земельних ресурсів . Студентська молодь І науковий прогрес в АПК. Львів, 2022.
3. Запара В. Екологічний моніторинг за допомогою Безпілотних літальних апаратів. Студентська молодь І науковий прогрес в АПК. Львів, 2022.
4. Кудрявцева І. М. Моніторинг водної ерозії ґрунтів з використанням даних супутникових спостережень. *Науковий вісник*, 2021, № 56(4), С. 314-325.
5. Коваль С. П. Дистанційне зондування для моніторингу стану земельних ресурсів та виявлення ерозійних процесів. *Науково-технічний журнал*, 2022. № 19(2) , С. 87-98.
6. Кириленко В. В., Дьяков С. М. Інтерпретація супутникових знімків для виявлення ерозії ґрунтів у сільськогосподарських районах. *Журнал екології*, 2019, № 28(4), С. 56-69.
7. Козлова Л., Калитки В., Малюк Т. Основи проектування сівозмін. Мелітополь : Тавр. держ. агротехнол. ун-т ім. Дмитра Мотор., 2020. 37 с.
8. Левченко І. О., Андріїв С. С. Використання супутникових даних для моніторингу ерозії та відновлення деградованих земель в Україні. Екологічний моніторинг, 22(2), С. 78-92.
9. Мартиненко Р. О., & Іванова С. В. Використання ГІС-аналізу для моніторингу водної ерозії ґрунтів: дослідження на прикладі Харківської області. *Геоінформаційні технології*, 24(5), С. 99-110.
10. Мельник, І. М. Аналіз методів моніторингу ерозії за допомогою дистанційного зондування в умовах змін клімату. *Наукові праці*, 2021. 37(1). С. 142-153.
11. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні : колективна монографія. Харків, 2010. 538 с.

12. Обласов В.І., Балик Н.Г. Протиерозійна організація території : навч.посіб. Київ, 2009. 215 с.
13. Основи ведення сільського господарства та охорона земель : навч. посіб. / Грабак Н.Х. та ін. Київ, 2005. 496 с.
14. Петренко, В. А., & Шевченко, Л. М. Методи оцінки ерозії ґрунтів за допомогою супутникових даних: досвід застосування в Україні. Агрономічний вісник, 47(3), 2020, С. 111-123.
15. Романова В. О., & Даниленко П. В.. Екологічні наслідки ерозії ґрунтів та методи її прогнозування. Екологічний моніторинг, 2018. 41(2), С. 58.
16. Світличний О.О., Чорний С.Г. Основи ерозієзнавства : підруч. Суми : ВТД «Унів. кн.», 2007. 266 с.
17. Світличний О.О., П'яткова А.В., Прикладне ерозієзнавство : навч. посіб. Одеса, 2020. 136 с.
18. Червоненко І. О. Сучасні методи аналізу ерозійних процесів на основі даних супутникових знімків. Географія та природні ресурси, 2019. 11(3), С. 210-220.
19. Чернікова О. І.. Польові методи та дистанційне зондування для моніторингу ерозії ґрунтів на сільськогосподарських землях. Природокористування, 53(6), 2021, с.213-225.
20. Фурман В.М., Люсак А.В., Олійник О.О. Ґрунтозахисна контурномеліоративна система землеробства : навч. посіб. Рівне, 2016. 215 с. Ґрунтозахисні сівозміни. Агробізнес Сьогодні. URL: <https://agrobusiness.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/584-hruntozakhysni-sivozminy.html> (дата звернення: 10.04.2025).
22. Лісові меліорації : підруч. / Пилипенко О.І., Юхновський В.Ю., Дударець С.М., Малюга В.М. ; за ред. В.Ю. Юхновського. Київ : Аграрна освіта, 2010. 282 с.
23. Лункування ґрунту. Головний сайт для агрономів. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/lunkuvannya-gruntu-id22736>____ (дата звернення: 10.04.2025).
24. Заболотний Г.М., Дідур І.М., Пелех Л.В. Землеробство. Вінниця: Вінн.

нац. аграр. ун-т, 2016. 58 с.

25. Сівба безпосередньо в стерню. Vaderstad. URL: <https://www.vaderstad.com/ua/know-how-agroporady/sposoby-obrobitku-gruntu/sivbabezposerednio-v-sterniu/> (дата звернення: 10.04.2025).

26. Захист ґрунтів від ерозії – запорука достатку кожного українця. Агропрофі. URL: <http://www.agroprofi.com.ua/statti/1896-zakhyst-gruntiv-vid-eroziyizaporuka-dostatku-kozhnoho-ukrayintsya> (дата звернення: 11.04.2025).

27. Карта еродованості ґрунтів. Головний сайт для агрономів. URL: <https://superagronom.com/karty/erodovanist-gruntiv-ukrainy> (дата звернення: 15.04.2025).

28. Ерозія. Вікіпедія:. Шкода_внаслідок_ерозії_ґрунтів URL: <https://uk.wikipedia.org/wik> (дата звернення: 15.04.2025)

29. Конституція України : від 28.06.1996 р. № 254к/96-ВР : станом на 1 січ. 2020 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр#Text_ (дата звернення: 21.04.2025).

30. Земельний кодекс України : Кодекс України від 25.10.2001 р. № 2768-III : станом на 26 січ. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (дата звернення: 21.04.2025).

31. Про охорону земель : Закону України від 19.06.2003 р. № 962-IV : станом на 18 трав. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/962-15> (дата звернення: 21.04.2025).

32. Про державний контроль за використанням та охороною земель : Закон України від 19.06.2003 р. № 963-IV : станом на 19 листоп. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15#Text> (дата звернення: 21.04.2025).

33. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-XII : станом на 8 жовт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 21.04.2025).

34. Про землеустрій : Закон України від 22.05.2003 р. № 858-IV : станом на 31 груд. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/858-15> (дата звернення: 21.04.2025).

35. Деякі питання Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів : Постанова Каб. Міністрів України від 25.06.2020 р. № 614 : станом на 15 листоп. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/614-2020-%D0%BF#Text> (дата звернення: 21.04.2025).

36. Ерозія ґрунту і заходи боротьби з нею. Vuzlit.com. URL: https://vuzlit.com/1766842/eroziya_gruntu_zahodi_borotbi___ (дата звернення: 22.04.2025).

37. Охорона ґрунтів від ерозії і забруднення. Технологія галузі. URL: <https://tehngaluzy.wordpress.com/2011/10/26/4/> (дата звернення: 22.04.2025).

38. Підхід до покращення ґрунтів по-американськи. Головний сайт для агрономів. URL: <https://superagronom.com/articles/335-pidhid-do-pokraschennyagruntiv-po-amerikanski> (дата звернення: 21.04.2025).

39. Покривні культури та сидерати (зелені добрива). WWF-Україна. URL: <https://nbs.wwf.ua/methodology/pokryvni-kultury-ta-syderaty-zeleni-dobryva/> (дата звернення: 21.04.2025).