

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет землевпорядкування**

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

землевпорядкування

к.е.н. доц. Олександр ШЕВЧЕНКО

“ _____ ” _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

геоінформатики і аерокосмічних
досліджень Землі

к.т.н. доц. Антоніна МОСКАЛЕНКО

“ _____ ” _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Геоінформаційне забезпечення аналізу ризиків деградації земель
Новоукраїнської громади Кіровоградської області»**

Спеціальність - 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма – Геодезія та землеустрій

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

доктор економічних наук, професор

_____ Андрій МАРТИН
(підпис)

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

кандидат технічних наук, доцент

_____ Антоніна МОСКАЛЕНКО
(підпис)

Виконав

_____ Ярослав ЗАНОГА
(підпис)

2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет землевпорядкування**

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
геоінформатики і аерокосмічних
досліджень Землі

_____ к.т.н. доц. Антоніна МОСКАЛЕНКО
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту
Заногу Ярославу Олександровичу

Спеціальність 193. Геодезія та землеустрій

Тема випускної магістерської роботи: **«Геоінформаційне забезпечення аналізу ризиків деградації земель Новоукраїнської громади Кіровоградської області» затверджена наказом ректора НУБіП України від «18» листопада 2024р. № 2062 «С»**

Термін подання слухачем завершеної роботи на кафедру: за 10 днів до попереднього захисту

Вихідні дані до виконання роботи: дані з відкритих джерел (Стор, OpenStreetMaps, SRTM), а також дані на територію Новоукраїнської громади Кіровоградської області.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Теоретичні засади дослідження деградації земель
2. Розробка моделей геоінформаційного забезпечення
3. Дослідна реалізація геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання “ _____ ” _____ 2024 р.

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

_____ Антоніна МОСКАЛЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв
до виконання**

_____ Ярослав ЗАНОГА
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Робота має таку структуру: вступ, 3 розділи, висновки, список використаних джерел, додатки. У першому розділі узагальнено теоретичні засади проблеми деградації земель, проаналізовано класи процесів (водна та вітрова ерозія, засолення, опустелювання, хімічне забруднення, ущільнення), окреслено екологічні та соціально-економічні наслідки, а також роль геоінформаційних систем у моніторингу та картографуванні ризиків. Визначено коло користувачів і завдань системи підтримки рішень у сфері охорони земель.

У другому розділі розроблено систему моделей геоінформаційного картографування для оцінювання ризиків деградації: узагальнену та функціональну моделі процесу обробки даних, концептуальну та логічну модель бази геопросторових даних, діаграми потоків даних (DFD) та послідовності. Запропоновано набір інтегральних показників і коефіцієнтів (Soil_coef, Gran_coef, Chem_coef, Rain_coef, Area_coef, Type_coef) з ваговою параметризацією методом аналітичної ієрархії (АНП) та використанням похідних від ЦМР (SRTM) шарів крутизни схилів і гідромережі; для просторового аналізу залучено RUSLE-підхід і індекси рослинності.

Третій розділ присвячено дослідній реалізації для Новоукраїнської міської територіальної громади Кіровоградської області: виконано збір і попередню обробку даних, гідрологічне моделювання водозборів, побудовано тематичні карти гранулометричного складу ґрунтів, крутизни схилів, типів/площ водозборів, хімічного навантаження та інтегральну карту ризиків. Виявлено зони високого ризику на ерозійно небезпечних схилах із переважанням еродованих чорноземів; заплавні та болотні ділянки загалом характеризуються низьким ризиком.

У третьому розділі також обґрунтовано практичне впровадження: формування єдиної бази просторових даних громади, регламент моніторингу, сценарне планування природоохоронних заходів, підвищення прозорості землекористування та економії ресурсів за рахунок таргетованих протиерозійних дій. Наукова новизна полягає в інтеграції багатофакторної ГІС-моделі з

уніфікованою системою коефіцієнтів ризику та гідроморфометричних індикаторів на рівні громади. Практичне значення – у можливості оперативного картографування ризиків, пріоритезації заходів охорони ґрунтів і підтримці управлінських рішень ОМС та агровиробників.

Магістерська робота налічує в собі 77 сторінок, 19 рисунків, 10 таблиць, 43 літературних джерел.

Ключові слова: охорона земель, деградація ґрунтів, геоінформаційні системи (ГІС), тематичне картографування, Новоукраїнська ТГ.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ЗМІСТ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕГРАДАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ .	10
1.1. Аналіз сучасного стану вивчення деградації земель	10
1.2 Геоінформаційні системи для аналізу ризиків деградації земель	13
1.3 Класифікація видів завдань та користувачів геоінформаційного забезпечення аналізу ризику деградації земель	15
Висновки	18
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	20
2.1. Функціональна модель аналізу ризиків деградації земель	20
2.2. Визначення ключових факторів ризику деградації земель	22
2.3. Розробка геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель	28
2.4. Оцінка точності та ефективності ГІС у прогнозуванні деградації (Діаграма послідовності)	34
Висновки	37
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ РИЗИКІВ ДЕГРАДАЦІЇ.....	39
3.1 Опис території, що аналізується.....	39
3.2 Реалізація моделей аналізу ризиків деградації земель.....	47
3.3. Перспективи впровадження ГІС для управління земельними ресурсами в Новоукраїнській громаді	65
Висновок	68
ВИСНОВКИ.....	71
Список використаної літератури	73

ВСТУП

У наш час, коли людська діяльність і стрімкі кліматичні зміни спричиняють дедалі більший тиск на природні ресурси, проблема деградації земель виходить на передній план. Адже саме від якості ґрунтів залежить продовольча безпека, розвиток сільського господарства та загальна екологічна стійкість країни. Нажаль, бездумне розорювання, інтенсивне використання добрив, зростання урбанізованих територій, масова вирубка лісів та нерівномірні опади роблять свою руйнівну справу — родючі землі втрачають свої найважливіші властивості, страждають від ерозії, утворення солончаків і навіть опустелювання.

Саме тому виникає нагальна потреба у сучасному моніторингу й аналізі ризиків деградації. І одним із найпотужніших інструментів для цього сьогодні є геоінформаційні системи (ГІС). Уявіть собі інтерактивну «мапу» всіх факторів: від рельєфу й типів ґрунтів до кліматичних показників, рослинного покриву та історії землекористування. І все це — у зручному цифровому форматі, де можна поєднувати шари даних, будувати моделі та навіть прогнозувати, як зміниться ситуація за різних сценаріїв.

Завдяки ГІС дослідники та управлінці отримують змогу не просто констатувати проблему, а й перевіряти, які саме чинники — кліматичні аномалії, людські помилки чи природні закономірності — найбільше впливають на деградацію. А це, у свою чергу, дає змогу розробити більш ефективні заходи: від точкового відновлення ґрунтів до зміни агротехнічних прийомів чи коригування політики землекористування на регіональному рівні.

В Україні, з її розмаїттям кліматичних зон та особливо вразливими посушливими районами на півдні, застосування ГІС стає не просто корисним, а життєво необхідним. Децентралізація та реформи у земельній сфері лише підсилюють потребу в оперативній і достовірній інформації, адже рішення мають прийматися на місцях — швидко й ефективно.

Аналіз останніх досліджень та публікації. Питанням розроблення геоінформаційного забезпечення в різних галузях присвячені праці вчених: Карпінський Ю. , Лященко А. , Дроздівський О. , Горковчук М. [4, 5] та інші.

Питаннями деградації займалися такі вчені: Добряк Д. Дребот О. , Іванов Д. , Кузніченко Д. [1, 5, 6] та інші. Однак тема визначення ризиків деградації земель ще не є повністю вивченою та потребує застосування геоінформаційних технологій для підвищення ефективності аналізу ризиків.

Мета і завдання дослідження: Мета роботи полягає в розробленні геоінформаційного забезпечення для аналізу ризиків деградації земель .

Для досягнення мети роботи були поставлені такі завдання:

- здійснити огляд існуючих досліджень, методів оцінки ризиків деградації земель та визначити основні фактори, що сприяють деградації земель;
- розробити моделі геоінформаційного забезпечення для аналізу ризиків деградації земель;
- здійснити реалізацію розроблених моделей на прикладі Новоукраїнської громади Кіровоградської області.

Об'єктом магістерської кваліфікаційної роботи є територія Новоукраїнської громади Кіровоградської області.

Предметом дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є геоінформаційне забезпечення аналізу ризиків деградації земель .

Методи дослідження. Для досягнення поставлених мети та завдань дослідження, були використані такі методи: аналіз літературних джерел, геоінформаційний аналіз , картографічний метод , системний аналіз , експертний метод, оцінка ефективності, емпіричні методи, метод моніторингу.

Інформаційна база магістерської кваліфікаційної роботи опирається на: дані адміністративно-територіального устрою України, що передані НДІГК для освітньої мети; законодавство України; дані з відкритих джерел – SRTM, Open Street Maps; Дані від господарства.

Результат дослідження. У дослідженні проаналізовано стан вивчення питання деградації земель та оцінки їх ризиків, розроблено моделі геоінформаційного забезпечення. Було створено картографічну основу для аналізу ризиків деградації земель Новоукраїнської громади Кіровоградської області.

За результатами дослідження було опубліковано тезу ЗАНОГА Я.О. Розроблення функціональної моделі аналізу ризиків деградації земель. Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції «GEOPOINT» 6-7 березня 2025 року . СТ. 153-155

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕГРАДАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ

1.1. Аналіз сучасного стану вивчення деградації земель

Проблема деградації земель набула глобального характеру і визнана однією з головних загроз сталому розвитку, особливо у країнах із аграрною економікою. Втрата родючості ґрунтів, посилення ерозійних процесів, зниження біорізноманіття та хімічне забруднення призводять до екологічних, економічних і соціальних наслідків. Сучасні дослідження акцентують увагу на комплексному підході до вивчення деградації, що включає аналіз природних і антропогенних чинників, оцінку наслідків, використання індексів та моделей для моніторингу, а також впровадження міжнародних стандартів і методик. У цьому розділі розглянуто типи деградаційних процесів, їхні причини та наслідки, інструменти просторового аналізу, а також основні міжнародні ініціативи, спрямовані на зменшення негативних впливів.

Деградація земель – це довготривалий процес погіршення властивостей ґрунтів, який охоплює зниження їх продуктивності, зміни фізико-хімічної структури, втрату біологічної активності та функціональності. Це явище загрожує екологічній рівновазі та безпеці агросистем. В сучасних дослідженнях [3,4] виокремлюють такі основні типи деградації:

- Водна ерозія. Змивання поверхневого шару ґрунту потоками води, особливо на схилах або при інтенсивних опадах.
- Вітрова ерозія. Розвіювання ґрунтових часток сильними вітрами у степах та напівпустелях.
- Засолення і засолювання. Збільшення вмісту солей у ґрунті через нераціональне зрошення, що призводить до зниження родючості.
- Опустелювання. Втрата рослинного покриву, зменшення зволоження, перехід земель у непридатні для землеробства форми.
- Хімічне забруднення. Накопичення пестицидів, важких металів, промислових відходів у ґрунтах.

- Ущільнення. Зменшення пористості ґрунту внаслідок механічного навантаження або забудови.

- Біологічна деградація. Зниження активності мікроорганізмів, деградація ґрунтової біоти, втрата гумусу.

Природні причини:

- Кліматичні коливання: посухи, зливи, коливання температур.
- Геоморфологічні особливості: стрімкі схили, малопотужні ґрунти.
- Геологічні процеси: зсуви, провали, вивітрювання.

Антропогенні причини:

- Надмірна оранка, порушення сівозмін.
- Надлишкове застосування мінеральних добрив і агрохімікатів.
- Нераціональний випас худоби.
- Урбанізація, будівництво, гірничі роботи.
- Неправильне управління водними ресурсами: засолення при зрошенні, деградація через дренаж.

Ці фактори тісно взаємодіють, посилюючи один одного, що відображено в багатьох дослідженнях [3].

Наслідки деградації мають як екологічний, так і соціально-економічний характер:

- Зниження родючості та скорочення врожайності культур.
- Погіршення водного режиму: замулення водойм, зменшення інфільтрації.
- Втрати біорізноманіття: зникнення видів, деградація екосистем.
- Економічні збитки: зростання витрат на відновлення, зменшення доходів аграріїв.
- Соціальні наслідки: міграція населення з деградованих територій, загроза продовольчій безпеці.

Для кількісного аналізу деградаційних процесів застосовують такі інструменти:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI, EVI: показники щільності рослинного покриву, що обчислюються на основі супутникових знімків (наприклад, Landsat, MODIS).
- BSI (Bare Soil Index), TCI (Temperature Condition Index): характеризують ступінь оголеності ґрунту і його термічний стан.
- RUSLE/MUSLE: моделі оцінки ерозійних втрат, що враховують клімат, рельєф, покриття території та види ґрунту.
- IRAI (Integrated Risk Assessment Index): поєднує просторові, кліматичні й антропогенні чинники для комплексної оцінки ризиків.

Використання таких індикаторів дозволяє просторово і кількісно порівнювати рівень деградації на різних територіях [5, 6, 11].

Міжнародні підходи та стандарти:

- UNCCD (Конвенція ООН з боротьби з опустелюванням): формує глобальні стандарти моніторингу деградації земель, стимулює національні стратегії.
- FAO (Продовольча і сільськогосподарська організація ООН): впроваджує методики оцінки стану ґрунтів, зокрема через індикатори продуктивності, родючості та доступності ресурсів.
- GEO-LDN (Land Degradation Neutrality): ініціатива досягнення балансу між деградацією та відновленням земель до 2030 року.
- ISRIC (Міжнародний центр інформації про ґрунти): надає глобальні набори даних про ґрунтові характеристики, використовувані в моделюванні деградації.

Застосування міжнародних стандартів забезпечує порівнюваність даних та сприяє інтеграції України в глобальні екологічні ініціативи [18, 22].

1.2 Геоінформаційні системи для аналізу ризиків деградації земель

Геоінформаційні системи (ГІС) – це складні інформаційно-аналітичні платформи, що об'єднують апаратні, програмні, інформаційні та методологічні компоненти для збору, обробки, аналізу та візуалізації просторових даних [1]:

- Апаратура: Включає сервери та робочі станції для обробки просторової інформації, безпілотні літальні апарати (БПЛА), GPS-пристрої для точного позиціонування даних. [1, 5]

- Програмне забезпечення: Найпоширенішими платформами є *ArcGIS*, *QGIS*, *Google Earth Engine*, які використовують бібліотеки на кшталт *GDAL/OGR*, *GRASS* для обробки геоданих. [1, 4]

- Дані: До джерел геоданих належать супутникові знімки (наприклад, *Landsat*, *Sentinel*), *LIDAR*-дані, цифрові моделі рельєфу (*DEM*), кадастрові карти, результати польових вимірів. [2, 5]

- Методи: Основні методи – просторовий аналіз, багатокритеріальний аналіз, класифікація, машинне навчання для прогнозу змін у ґрунтах. [1, 6]

- Користувачі: ГІС використовують дослідники, агрономи, держслужбовці, органи місцевого самоврядування та представники громад. [1, 3]

ГІС-технології забезпечують широкий спектр функціональних можливостей у контексті моніторингу деградації земель:

- Імпорт та обробка даних дистанційного зондування (ДЗЗ): Включає геокодування, атмосферну корекцію, обчислення індексів (*NDVI*, *SAVI*), класифікацію пікселів. [5]

- Створення картографічних матеріалів: Можна створювати як векторні, так і растрові карти, зокрема карти ризиків, буферні зони, теплові карти деградації. [1, 6]

- Моделювання процесів деградації: ГІС застосовується для обчислення факторів ерозії за моделлю *RUSLE*, оцінки засоленості ґрунтів, зміни індексів *NDVI* з часом. [6, 7]

- Прогнозування сценаріїв: Можливе моделювання наслідків кліматичних сценаріїв та змін землекористування. [6]

- Інтерактивні дашборди та web-ГІС: Забезпечують оперативний доступ до інформації для прийняття рішень на рівні громад (ОТГ), у форматі онлайн-моніторингу. [1, 3]

Міжнародний досвід:

- У регіоні Сахель в Африці в межах програми *UNCCD* реалізовано проєкти картографування зон деградації для впровадження заходів адаптації.
- У Китаї (Лесове плато) застосовано модель *RUSLE* у поєднанні з ГІС для оцінки ерозії на великій площі. [7]

Український досвід:

- Stankevich et al. (2016): Застосування супутникових знімків для моніторингу деградації ґрунтів у південних регіонах України з використанням NDVI та геомодельовання. [5]

- Кузніченко С. Д. та ін. (2024): Розроблено багатокритеріальну ГІС-модель картування ризиків деградації для Кіровоградської області, що враховує фізичні, хімічні та екологічні чинники. [1]

- Проєкти місцевих ОТГ: Використання супутникових знімків та ГІС для громадського моніторингу стану ґрунтів і планування природоохоронних заходів. [3]

Переваги використання ГІС:

- Висока деталізація просторової інформації.
- Можливість інтеграції даних різного походження (ДЗЗ, польові вимірювання, статистика).

- Автоматизація процесів обробки, розрахунків і візуалізації результатів. [Джерело 1, 4]

Обмеження:

- Необхідність доступу до якісних даних, часто платних або обмежених.

- Висока вартість спеціалізованого ПЗ та апаратного забезпечення.
- Вразливість до похибок моделювання, які залежать від якості вихідних даних. [2, 6]

1.3 Класифікація видів завдань та користувачів геоінформаційного забезпечення аналізу ризику деградації земель

Класифікація видів завдань

Сучасні системи для визначення деградації земель виконують низку завдань, які умовно можна поділити на такі основні категорії:

1. Моніторинг стану ґрунтів. Здійснюється регулярне спостереження за фізичними, хімічними та біологічними показниками стану ґрунтів, із застосуванням геоінформаційних технологій та дистанційного зондування Землі. Це дає змогу своєчасно виявляти тенденції до деградації та оцінювати ефективність заходів з охорони земель. [1, 4]

2. Оцінка ризиків деградації. Використовуються методи багатокритеріального аналізу рішень для інтеграції різних факторів ризику – кліматичних, антропогенних, екологічних. Отримані результати дозволяють побудувати карти ризику деградації ґрунтів, що є основою для планування природоохоронних заходів. [1, 2]

3. Розробка рекомендацій щодо збереження земельних ресурсів. На основі аналізу просторових даних та прогнозів змін розробляються практичні рекомендації для землекористувачів щодо зменшення негативного впливу на ґрунти та покращення їх родючості. Це включає як індивідуальні поради для фермерів, так і стратегічні документи для державного управління. [2, 3]

4. Стратегічне планування і прийняття рішень. Системи аналізу деградації земель підтримують прийняття управлінських рішень на основі просторової інформації про стан територій, динаміку змін і прогнозні моделі. Це дозволяє реалізувати принципи сталого землекористування. [1, 3]

Класифікація користувачів

Залежно від функціонального призначення та рівня доступу до інформації, користувачів систем визначення деградації земель можна класифікувати так:

1. Науковці та дослідники. Використовують систему для досліджень у сфері ґрунтознавства, геоекології, агрономії, створення нових моделей та алгоритмів аналізу ризиків. Їхня діяльність сприяє вдосконаленню методів моніторингу та прогнозування. [1, 2]

2. Державні установи. Органи влади (наприклад, Держгеокадастр, Міністерство аграрної політики) застосовують системи для контролю за станом земель, розробки політик і стратегій у сфері охорони ґрунтів та запобігання деградації. [3]

3. Фермери та аграрні підприємства. Користуються системами для щоденного прийняття рішень щодо обробки земель, впровадження агротехнологій та збереження родючості ґрунтів. Просторові дані допомагають підвищити ефективність агровиробництва. [3, 4]

4. Екологи та громадські організації. Застосовують системи для моніторингу екологічного стану регіонів, організації просвітницької та контрольної діяльності, залучення громадськості до захисту земельних ресурсів. [2, 4].

Проаналізувавши законодавство та сучасні системи для визначення ризиків деградації земель виконано визначення основних завдань: отримання даних про поля та даних із супутникових знімків, опрацювання геоданих в ГІС, створення тематичних карт та рекомендації щодо управління земельними ресурсами. А також визначення основних користувачів: агроном, ГІС-спеціаліст, Міністерство аграрної політики, Міністерство екології, громада. Класифікація типів завдань геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації та користувачів цієї розробки подана на рисунку 1.1.

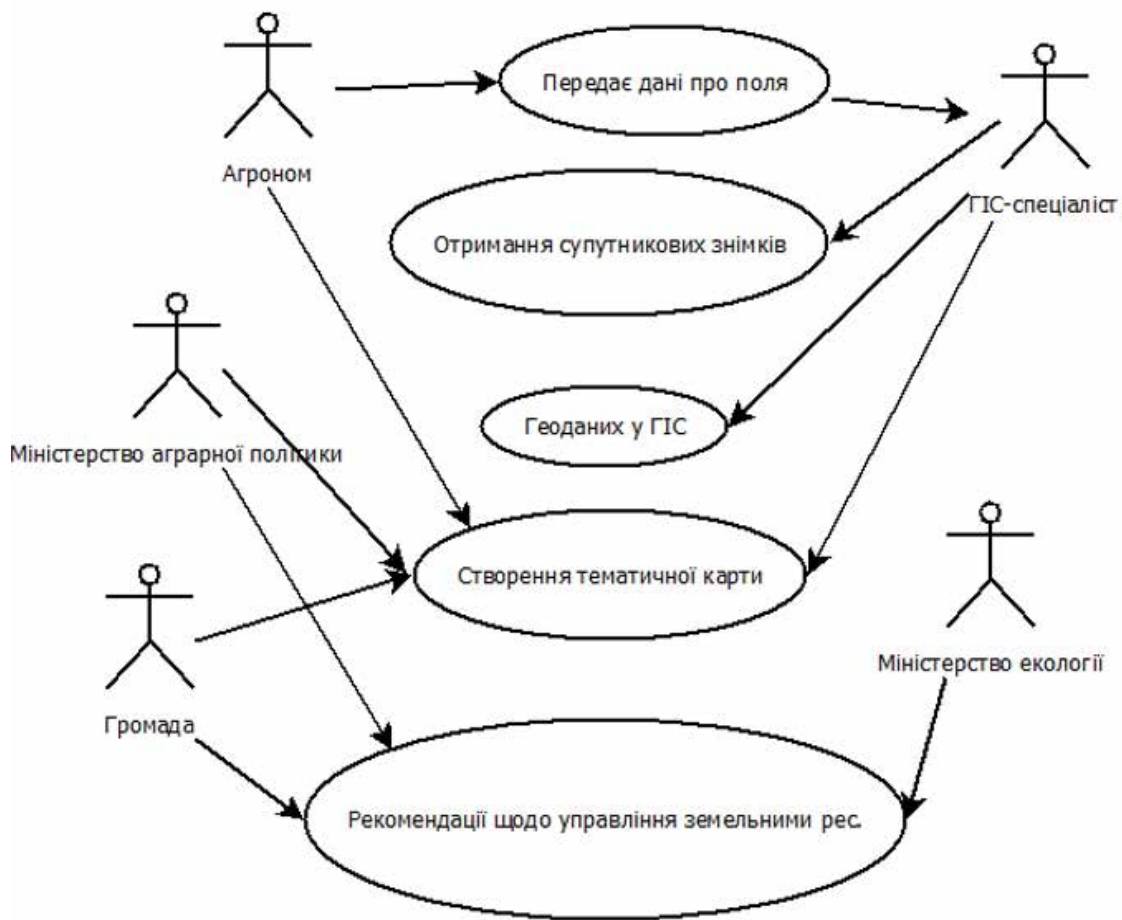


Рис. 1.1. Класифікація типів завдань геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації та користувачів цієї розробки

Наведена схема відображає узгоджений цикл у системі ГІС-підтримки управління землями. Процес ініціює агроном, який передає ГІС-спеціалісту стандартизовані польові дані про поля (грунти, сівозміни, прояви ерозії). ГІС-спеціаліст доповнює їх дистанційними спостереженнями (EO Browser/Sentinel), інтегрує у ГІС-сховище та виконує тематичну обробку. На підставі узгоджених методик формується тематична карта, що агрегує ключові просторові індикатори ризику. Громада використовує карти як доказову базу для просторового планування, рекультивації та оптимізації структури угідь. Завершальним етапом є підготовка рекомендацій щодо управління земельними ресурсами.

Висновки

В розділі було досліджено та описано наукові роботи та розробки, а також законодавство України, що обрисовують суть деградації земель та ризиків її виникнення.

Отже, для розроблення геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель необхідно розв'язати такі завдання:

1) Розробити функціональну модель послідовності виконання етапів від постановки мети та збирання даних до оцінки ризиків, візуалізації й формування рекомендацій;

2) Розробити систему оціночних коефіцієнтів і шкал для факторів ризику: Soil_coef (за агровиробничими групами та ступенем еродованості), Gran_coef (за гранулометричним складом), Chem_coef (за інтенсивністю ЗЗР під культурами), Rain_coef (константа для громади), Area_coef (за площею водозбору), Type_coef (за індексом кругловидності R_c водозборів); за можливості додати C/P_coef (покрив/захищеність лісосмугами та типами угідь).

3) Спроекувати БГД (концептуальну й логічну модель) та DFD-потоки: класи Розташування, Поле, Ґрунти, Властивості, Клімат, Ризики, Сівозміна, Техн. обробітку; визначити атрибути й кратність зв'язків; описати джерела/сховища даних і послідовність перетворень до тематичних шарів.

4) Підготувати та опрацювати вихідні просторові дані й морфометрію рельєфу в ArcGIS: SRTM DEM (clip, fill), Slope; Flow Direction/Flow Accumulation → Watershed; розрахувати площі басейнів (Area_km2) та R_c, класифікувати на типи; виконати Zonal Statistics для зв'язку рельєфу з ґрунтами; уніфікувати поля й приєднати фактори до шару ґрунтів (Spatial Join/Field Calculator).

5) Здійснити інтегральне зважування та класифікацію ризику: визначити ваги методом АНР; обчислити інтегральний показник (Ruzuk_coef) як лінійну комбінацію Area_coef, Type_coef, Gran_coef, Chem_coef, Soil_coef, Rain_coef; класифікувати на 4 рівні ризику) і побудувати серію карт: коефіцієнти ґрунтів, схили, площі й типи водозборів, інтегральна карта ризиків.

б) здійснити реалізацію розроблених моделей на прикладі Новоукраїнської громади Кіровоградської області

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1. Функціональна модель аналізу ризиків деградації земель

Розроблення геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель починається з розроблення моделей. І першою є функціональна модель аналізу ризиків деградації земель (рис. 2.1.), що подана через діаграму активності.

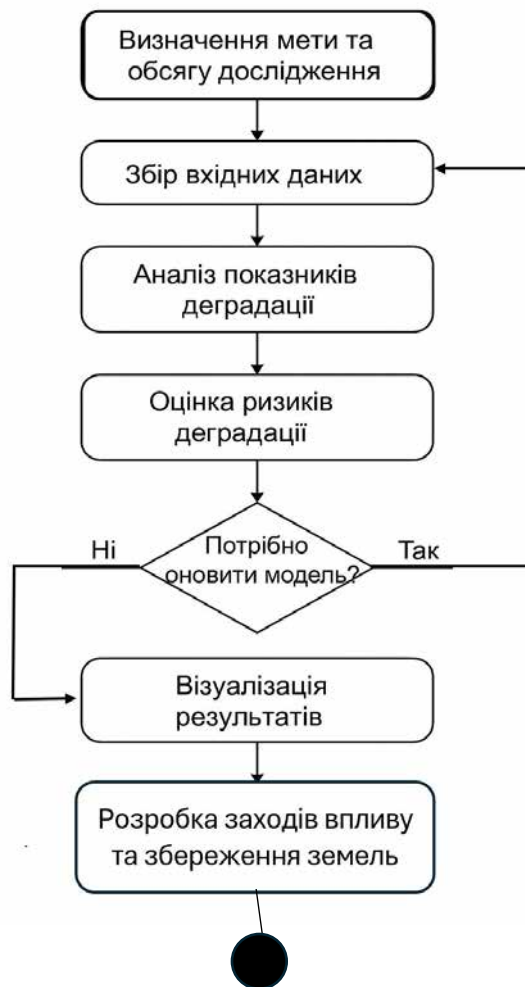


Рис.2.1.Функціональна модель аналізу ризиків деградації земель

Діаграма активності (Activity Diagram) – це один із видів UML-діаграм, який показує послідовність дій або кроків у процесі. Її використовують для

моделювання бізнес-процесів, алгоритмів або поведінки інформаційної системи [3]. Основні компоненти діаграми подані в таблиці 2.1

Таблиця 2.1.

Основні компоненти діаграми активності

Компонент	Опис
Початковий вузол	Позначає старт процесу (чорне коло).
Дія (Activity)	Один окремий крок чи операція (прямокутник із заокругленими кутами).
Умовне рішення (Decision)	Ромб, який розгалужує хід подій (так/ні, якщо/інакше тощо).
Стрілки переходу	Вказують напрямок руху між діями.
Кінцевий вузол	Завершення процесу (чорне коло в білому колі).
Об'єкт/дані	Можуть бути додані до дій, щоб показати, над чим саме відбувається дія.

Функціональна модель аналізу ризиків деградації земель показує послідовність етапів виконання геоінформаційного забезпечення:

1. Початок аналізу деградації земель. Процес починається з ініціації проєкту або завдання – запуск системи аналізу, що має на меті виявлення, прогнозування та управління процесами деградації земель.

2. Визначення мети та обсягу дослідження. На цьому етапі формулюється конкретна мета: наприклад, оцінити ризики деградації на території окремої громади. Визначається географічне охоплення, індикатори, які будуть аналізуватись, і цільові користувачі результатів.

3. Збір вхідних даних. Здійснюється отримання геоданих з різних джерел: супутникові знімки (NDVI, Sentinel, Landsat), кадастрові шари, польові виміри, кліматичні й ґрунтові характеристики, топографічні моделі (DEM) тощо.

4. Попередня обробка даних. Зібрані дані обробляються: виконуються геоприв'язка, атмосферна корекція, об'єднання даних у просторову базу, перерахунок показників у придатні для аналізу формати.

5. Аналіз показників деградації. На цьому кроці застосовуються інструменти обчислення індексів: NDVI та SAVI (рослинність), RUSLE (ерозія), індекси засоленості, ущільнення, органічної речовини, тощо.

6. Оцінка ризиків деградації. Результати аналізу індексів інтегруються в багатокритеріальні моделі ризику. Це дозволяє розподілити території на зони високої, середньої й низької небезпеки деградаційних процесів.

7. Чи потрібно оновити модель? (умова). На цьому етапі система або аналітик приймає рішення:

– Якщо модель не враховує важливі фактори або дані застарілі, → переходимо назад до кроку 3 (Збір вхідних даних) або 4 (Обробка).

– Якщо модель актуальна та точна, → продовжуємо до наступного кроку.

8. Візуалізація результатів. Будуються карти зон ризику деградації, теплові карти, тематичне зонування. Дані відображаються у ГІС або web-панелях (QGIS, ArcGIS, Google Earth Engine).

9. Розробка заходів впливу та збереження земель. На основі отриманих результатів формуються рекомендації: впровадження протиерозійних заходів, зміни сівозмін, рекультиваційні плани, екологічне зонування, управління водними ресурсами тощо.

10. Завершення процесу. Процес аналізу завершено: результати збережені, передані до замовника, або інтегровані в систему управління земельними ресурсами.

2.2. Визначення ключових факторів ризику деградації земель

Для аналізу ризиків деградації земель певної території необхідно визначити набір чинників, що мають вплив на виникнення деградації:

1. Природні чинники [1].

Ерозія ґрунтів

Водна ерозія: Процес руйнування та змивання верхнього шару ґрунту водою. Інтенсивність водної ерозії залежить від кількості та інтенсивності опадів, рельєфу місцевості, типу ґрунту та рослинного покриву.

Вітрова ерозія: Переміщення частинок ґрунту вітром, що особливо актуально для регіонів з сухим кліматом та недостатнім рослинним покривом.

Зміни клімату

Підвищення температури: Може призводити до збільшення випаровування вологи з ґрунту, посилення посух та зменшення доступності води для рослин.

Зміна рівня опадів: Нерівномірний розподіл опадів протягом року, збільшення частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ (посухи, повені) негативно впливають на стан ґрунтів.

Опустелювання: Процес деградації земель у посушливих, напівпосушливих та сухих субгумідних районах, викликаний кліматичними змінами та антропогенною діяльністю.

Засолення ґрунтів: Накопичення розчинних солей у верхніх шарах ґрунту, що призводить до погіршення його фізичних та хімічних властивостей, а також зниження родючості.

Зміни водного балансу: Порушення природного кругообігу води, що може бути викликане як кліматичними змінами, так і діяльністю людини (наприклад, надмірний забір води для зрошення).

2. Антропогенні чинники [2].

Нераціональне землекористування:

Неправильна обробка ґрунту: Надмірна оранка, використання важкої техніки, монокультурне вирощування призводять до руйнування структури ґрунту, зниження його родючості та посилення ерозії.

Відсутність сівозміни: Вирощування однієї культури протягом тривалого часу виснажує ґрунт, сприяє накопиченню шкідників та хвороб.

Зміни у землекористуванні:

Урбанізація: Розширення міських територій призводить до втрати сільськогосподарських земель.

Розширення сільськогосподарських угідь: Освоєння нових земель, часто непридатних для сільського господарства, призводить до деградації ґрунтів.

Зменшення лісового покриву: Вирубання лісів призводить до посилення ерозії, зміни водного балансу та зменшення біорізноманіття.

Иригаційні системи: Неправильне зрошення може призводити до засолення та заболочення ґрунтів.

Втрата органічної речовини: Зменшення вмісту гумусу в ґрунті, що призводить до погіршення його структури, вологості та родючості.

Забруднення ґрунтів: Надмірне використання хімічних добрив та пестицидів, забруднення промисловими відходами призводять до погіршення якості ґрунту.

3. Екологічні наслідки [1].

Зменшення родючості ґрунтів: Зниження здатності ґрунту забезпечувати рослини поживними речовинами та водою.

Втрата біорізноманіття: Зменшення кількості та різноманітності живих організмів, що мешкають у ґрунті.

Зниження продуктивності агроєкосистем: Зменшення врожайності сільськогосподарських культур.

Збільшення викидів парникових газів: Деградовані ґрунти втрачають здатність утримувати вуглець, що призводить до збільшення викидів CO₂ в атмосферу.

4. Соціально-економічні наслідки [2].

Загроза продовольчій безпеці: Зниження врожайності призводить до нестачі продовольства.

Зниження економічної ефективності сільського господарства: Збільшення витрат на добрива та інші ресурси для підтримки врожайності.

Всі чинники згруповані в діаграмі на рисунку 2.2.

Подана діаграма демонструє систематизацію основних ризиків деградації земель, що впливають на стан довкілля та сільськогосподарське виробництво. Схема побудована за ієрархічним принципом: зверху виділено типи ризиків, які далі деталізуються та інтегруються у процес аналізу ризиків, результатом якого є створення тематичної карти.

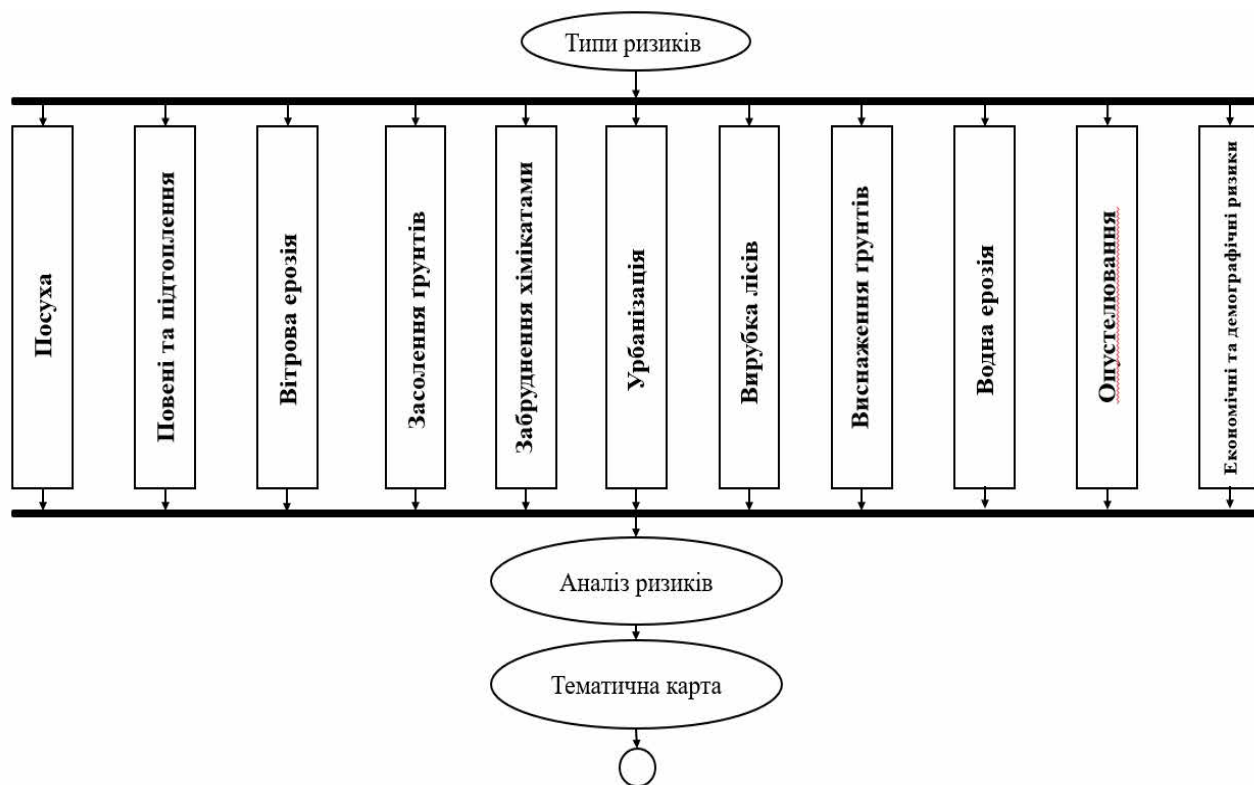


Рис.2.2. Типи ризиків деградації земель та їх відображення у тематичній карті

До складу основних ризиків належать [1]:

- **Посуха.** Суттєво знижує вологозабезпеченість ґрунтів, призводить до падіння врожайності та стимулює процеси опустелювання.
- **Повені та підтоплення.** Викликають замулення, руйнування структури ґрунту, втрату продуктивних угідь.
- **Вітрова ерозія.** Призводить до винесення гумусового шару, особливо небезпечна для відкритих та малорослинних територій.

- Засолення ґрунтів. Виникає через нераціональне зрошення та підйом ґрунтових вод, унеможлиблюючи використання земель у сільському господарстві.
- Забруднення хімікатами. Викликане надмірним внесенням агрохімії та промисловими відходами, що погіршує якість ґрунту та безпечність продукції.
- Урбанізація. Зумовлює втрату сільськогосподарських угідь, ущільнення ґрунтів і фрагментацію природних екосистем.
- Вирубка лісів. Спричиняє посилення ерозійних процесів, зниження біорізноманіття та порушення водного режиму.
- Виснаження ґрунтів. Є наслідком монокультурного землеробства, надмірної інтенсифікації та дегуміфікації.
- Водна ерозія. Формується через змив верхнього шару ґрунту дощовими потоками, що веде до утворення ярів і деградації орних земель.
- Опустелювання. Характеризується поступовим зниженням продуктивності земель, втратою рослинного покриву і перетворенням територій на непридатні для господарювання.
- Економічні та демографічні ризики. Включають зниження врожайності та прибутковості агровиробників, зростання витрат на меліорацію та відновлення земель, а також міграцію населення з деградованих територій.

Усі зазначені ризики поєднуються в єдину систему оцінювання, що дозволяє визначати зони підвищеної небезпеки, проводити їх геоінформаційне картографування та розробляти управлінські рішення для збереження земельних ресурсів. Фактори ризику деградації земель та їхні наслідки згруповані в таблиці 2.2.

Фактори ризику деградації земель та їхні наслідки

Фактор ризику	Тип фактора	Основні прояви	Екологічні наслідки	Соціально-економічні наслідки	Методи оцінки/боротьби
Ерозія ґрунтів	Природний/Антропогенний	Водна ерозія (змив ґрунту водою), вітрова ерозія (переміщення ґрунту вітром)	Втрата верхнього шару ґрунту, зменшення родючості, погіршення структури ґрунту	Зниження врожайності, втрата сільськогосподарських угідь	Моделі RUSLE, ГІС, дистанційне зондування
Зміни клімату	Природний	Підвищення температури (посухи), зміна рівня опадів (повені, нерівномірність)	Зміни водного балансу, зменшення доступності води	Загроза продовольчій безпеці, зниження економічної стійкості агросистем	Моніторинг кліматичних показників, моделювання впливу на ґрунти
Опустелювання	Природний/Антропогенний	Деградація земель у посушливих та напівпосушливих регіонах	Втрата рослинного покриву, зменшення біорізноманіття	Зменшення продуктивності сільського господарства, міграція населення	ГІС, дистанційне зондування, аналіз землекористування
Засолення ґрунтів	Антропогенний	Накопичення солей у верхніх шарах ґрунту	Погіршення фізичних та хімічних властивостей ґрунту	Зниження врожайності, непридатність земель для сільського господарства	Гідросолюві моделі, ГІС
Нераціональне землекористування	Антропогенний	Неправильна обробка ґрунту, відсутність сівозміни, надмірне використання хімікатів	Руйнування структури ґрунту, втрата органічної речовини	Зниження врожайності, збільшення витрат на відновлення ґрунтів	Агрохімічний аналіз ґрунтів, моніторинг землекористування

Зміни у землекористуванні	Антропогенний	Урбанізація, розширення сільськогосподарських угідь, вирубка лісів	Втрата природних екосистем, фрагментація ландшафтів,	Втрата сільськогосподарських угідь, порушення екологічного балансу	ГІС, дистанційне зондування, аналіз динаміки землекористування
---------------------------	---------------	--	--	--	--

2.3. Розробка геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель

Для геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель інтегруються дані з різноманітних джерел та акумулюються в базу геопросторових даних для подальшого аналізу та формування тематичної карти (рис. 2.3)

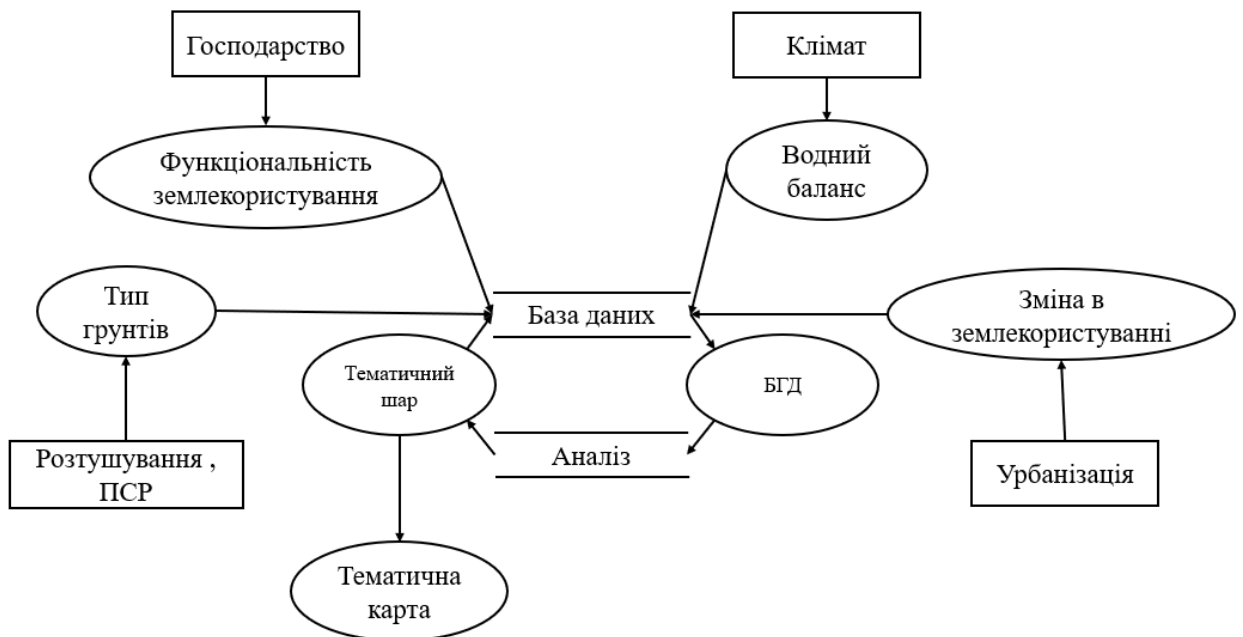


Рис.2.3. Діаграма потоків даних для формування тематичної карти ризиків деградації земель

На діаграмі відображено логіку руху та обробки інформації, яка використовується для створення тематичної карти. Схема побудована за принципами моделювання DFD: виділено зовнішні джерела даних (прямокутники), функціональні блоки (овали), бази даних (подвійні лінії) та напрямки потоків інформації (стрілки).

До основних компонентів діаграми належать:

Господарство. Є джерелом вхідних даних щодо структури посівів, сівозмін, методів обробітку ґрунтів. Ця інформація використовується для оцінки функціональності землекористування.

Функціональність землекористування. Характеризує ефективність та доцільність використання земель: дотримання сівозмін, інтенсивність агровиробництва, рівень антропогенного навантаження.

Розташування, ПСР. Просторове положення території відповідно до природно-сільськогосподарських районів, яке визначає типи ґрунтів та їхню придатність для використання.

Тип ґрунтів. Формує вихідні характеристики для оцінки деградаційних процесів (родючість, гранулометричний склад, стійкість до ерозії).

Клімат. Є визначальним природним фактором, що впливає на водний баланс, зволоженість і ризику посух чи підтоплень.

Водний баланс. Показує співвідношення між опадами, випаровуванням і стоком, що є критичним індикатором у прогнозуванні деградаційних процесів.

Урбанізація. Джерело даних про розширення забудови, транспортних мереж та промислових територій. Її наслідком є зміни у землекористуванні.

Зміна в землекористуванні. Включає вирубку лісів, розорювання нових земель, трансформацію сільськогосподарських угідь, що напряду впливає на деградацію ґрунтів.

База даних. Служить центральним сховищем інформації, де акумулюються всі вхідні параметри (господарські, природні та соціальні фактори).

БГД (база геопросторових даних). Містить просторові шари (кадастрові, супутникові та статистичні дані), які застосовуються для картографування.

Аналіз. Етап обробки даних за допомогою ГІС-технологій, моделювання ризиків і виявлення найбільш уразливих територій.

Тематичний шар. Проміжний продукт у вигляді картографічного шару, що відображає один із показників (тип ґрунтів, ступінь ерозії, кліматичні ризики тощо).

Тематична карта. Завершальний етап, що об'єднує всі тематичні шари в інтегроване відображення ризиків деградації земель. Карта використовується для прийняття управлінських рішень та просторового планування.

Для накопичення та збереження просторових та атрибутивних даних розроблено модель бази геопросторових даних геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель через концептуальну модель (рис. 2.4.) та логічну модель (рис. 2.5)

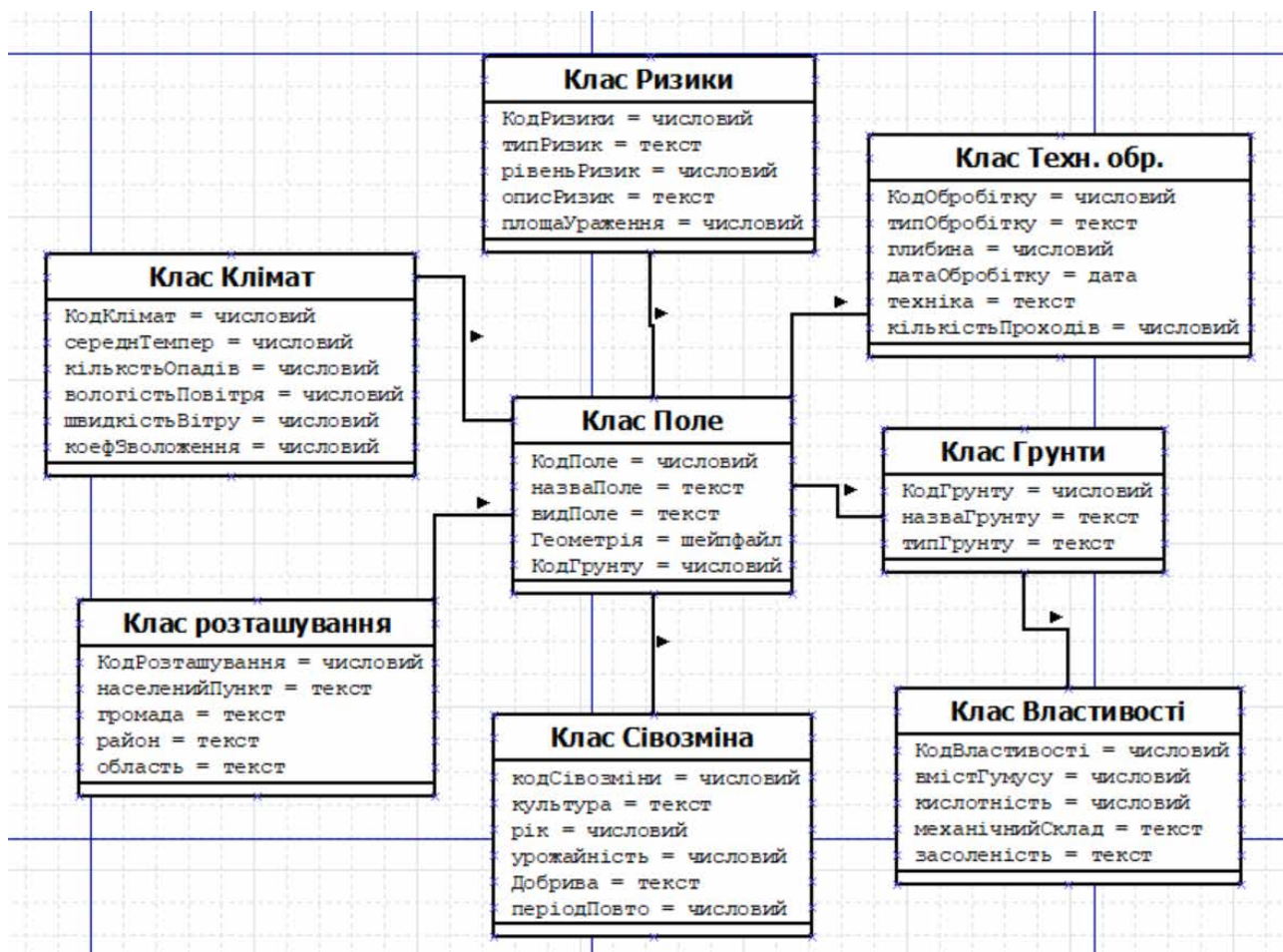


Рис. 2.4. Концептуальна модель бази геопросторових даних геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель

До основних класів бази геопросторових даних геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель належать: Клас Розташування включає поділ на клас Поле, що вводять для визначення територіального розміщення об'єктів. Розташування визначається за населеним пунктом, громадою, районом та областю. На поля діляться по географічній належності, що визначається унікальним ідентифікатором розташування та координатами. Розташування містить опис населеного пункту, громади, району та області.

Клас Поле включає поділ на класи Ґрунти, Сівозміна, Ризики та Техн. обробітку, що вводять для комплексної характеристики земельних ділянок. Поле визначається за назвою, типом і геометрією. На ґрунти, ризики й сівозміни діляться по просторових межах, що визначаються унікальним ідентифікатором поля та його геометрією. Поле містить опис назви, виду, геометрії та коду ґрунту.

Клас Ґрунти включає поділ на клас Властивості, що вводять для детального опису типів і характеристик ґрунтів. Ґрунти визначаються за кодом, назвою та типом. На властивості ґрунти діляться по фізико-хімічних параметрах, що визначаються унікальним ідентифікатором ґрунту. Ґрунти містять опис назви, типу та коду.

Клас Властивості включає поділ на різні характеристики ґрунтів, що вводять для визначення їх родючості та придатності. Тип властивості визначається за вмістом гумусу, кислотністю, механічним складом і засоленістю. На властивості діляться по числових параметрах, що визначаються унікальним ідентифікатором властивостей. Властивості містять опис хімічних та фізичних показників.

Клас Клімат включає поділ на клас Ризики, що вводять для оцінки впливу погодних умов на стан земель. Клімат визначається за середньою температурою, кількістю опадів, вологістю повітря та швидкістю вітру. На ризики діляться по

кліматичних характеристиках, що визначаються унікальним ідентифікатором клімату. Клімат містить опис основних метеорологічних параметрів.

Клас Ризику включає поділ на різні типи ризиків, що вводять для оцінки загроз деградації земель. Тип ризику визначається за рівнем, описом і площею ураження. На типи ризиків діляться по ідентифікатору ризику, що пов'язаний з конкретним полем. Ризики містять опис рівня загрози та характеристику ураженої площі.

Клас Сівозміна включає поділ на різні культури, що вводять для відстеження змін у землекористуванні з плином часу. Сівозміна визначається за роком, культурою, урожайністю, добривами та періодом повторного висіву. На культури діляться по роках і показниках урожайності, що визначаються унікальним ідентифікатором сівозміни. Сівозміна містить опис культур, урожайності та використаних добрив.

Клас Техн. обробітку включає поділ на різні типи агротехнічних операцій, що вводять для опису методів обробки ґрунтів. Тип обробітку визначається за технікою, глибиною, датою та кількістю проходів. На типи обробітку діляться по ідентифікатору обробки, що пов'язаний із конкретним полем. Техн. обробітку містить опис технологічних характеристик проведених операцій.

Логічна модель бази геопросторових даних геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель розширює опис діаграми та визначає кратність зв'язків.

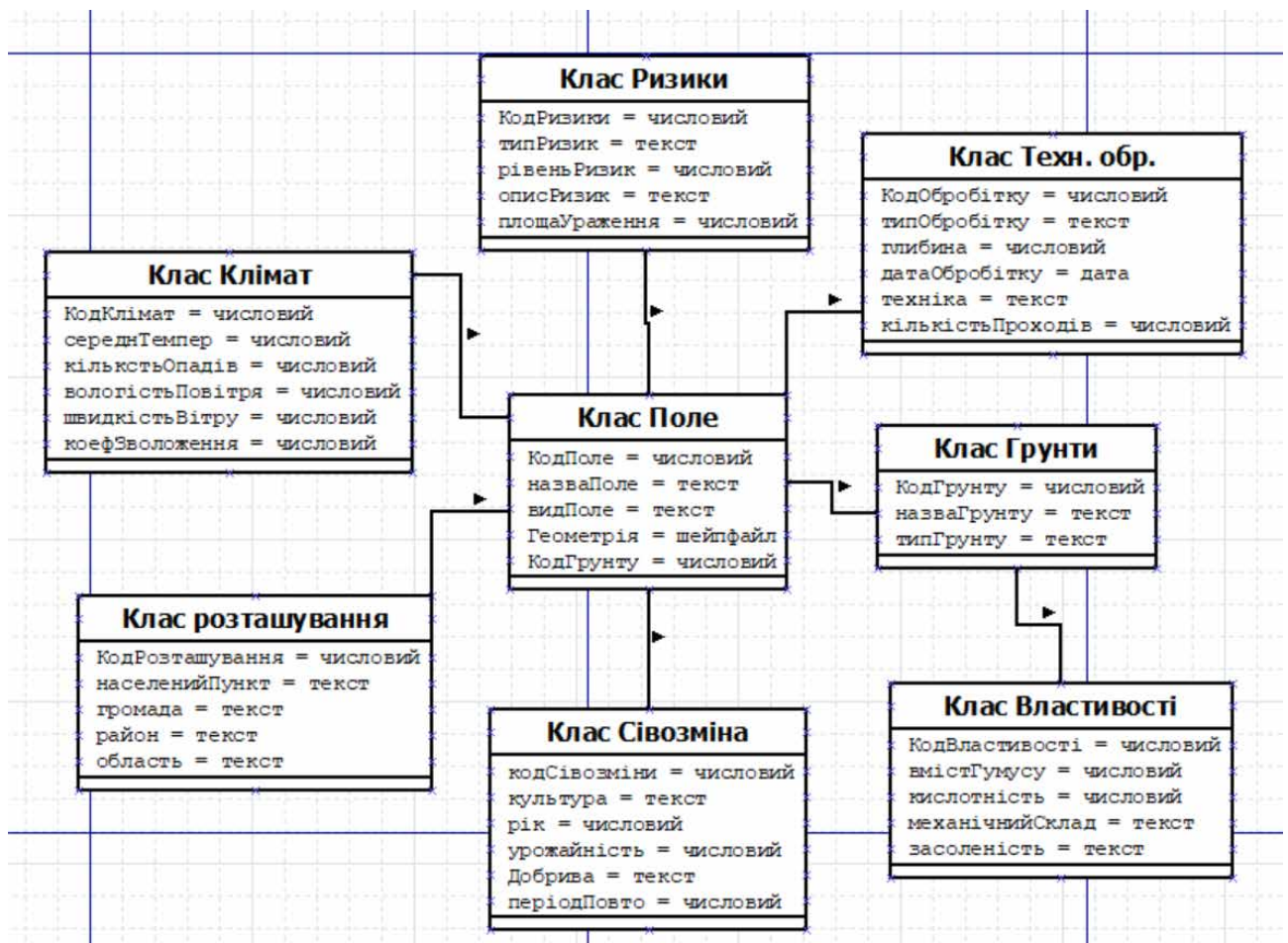


Рис. 2.5. Логічна модель бази геопросторових даних геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель

Клас Клімат зберігає інформацію про кліматичні умови території. Він містить показники температури, опадів, вологості повітря та швидкості вітру, що впливають на рівень зволоження й потенційні ризики деградації земель.

Клас Розташування визначає адміністративно-територіальну прив'язку земельної ділянки. Він описує населений пункт, громаду, район та область, що дає змогу ідентифікувати місце розташування поля в межах досліджуваної території.

Клас Поле є центральною сутністю моделі, яка об'єднує інформацію про конкретну земельну ділянку. Він містить геометрію у вигляді шейпфайлу, тип і назву поля, а також зв'язки з класами ґрунтів, клімату, ризиків і сівозміни.

Клас Сівозміна описує послідовність вирощування культур на полі протягом певних років. Він зберігає дані про культуру, рік, урожайність, використані добрива та період повторного висіву, що дозволяє оцінити ефективність землекористування.

Клас Ґрунти характеризує типи ґрунтів, що трапляються на території поля. Він містить їхню назву, код і тип, які впливають на агровиробничу придатність ділянки та ризику деградації.

Клас Властивості містить детальні показники фізико-хімічного стану ґрунтів, такі як вміст гумусу, кислотність, механічний склад і засоленість. Ці дані використовуються для оцінки родючості та екологічного стану земель.

Клас Ризику відображає потенційні загрози для земель, пов'язані з природними чи антропогенними факторами. Він містить тип ризику, рівень, опис та площу ураження, що дозволяє визначати ділянки підвищеної небезпеки деградації.

Клас Техн. обробітку зберігає інформацію про проведення агротехнічних заходів. Він описує тип і глибину обробітку, використану техніку, дату виконання та кількість проходів, що впливають на стан ґрунтів і рівень ерозійних процесів.

2.4. Оцінка точності та ефективності ГІС у прогнозуванні деградації (Діаграма послідовності)

Діаграма послідовності – це тип діаграми взаємодії, який показує, як процеси взаємодіють один з одним і в якому порядку. Це графічне представлення потоку повідомлень між різними учасниками (об'єктами, системами, акторами) протягом певного сценарію. Діаграми послідовності особливо корисні для візуалізації динамічної поведінки системи.

Основні елементи діаграми послідовності (рис.2.6.):

Учасники (Actors/Objects): Представлені вертикальними лініями (лінії життя). Вони показують, що сутність існує протягом певного періоду часу.

Лінія життя (Lifeline): Вертикальна лінія, що йде вниз від кожного учасника, показує час існування учасника протягом сценарію.

Активація (Activation Box): Прямокутник на лінії життя, що показує, коли учасник активний (виконує операцію).

Повідомлення (Messages): Горизонтальні стрілки між лініями життя, що показують взаємодію між учасниками. Стрілки можуть бути різних типів (наприклад, синхронні виклики, асинхронні повідомлення, відповіді).

Час: Вертикальний напрямок діаграми представляє час, що тече зверху вниз.

Ця діаграма послідовності зображує взаємодію між агрономом, ГІС-спеціалістом, геопросторовими даними та системою "Знімки EO Browser" (інструментом для перегляду супутникових знімків) у контексті аналізу та картографування деградації земель.

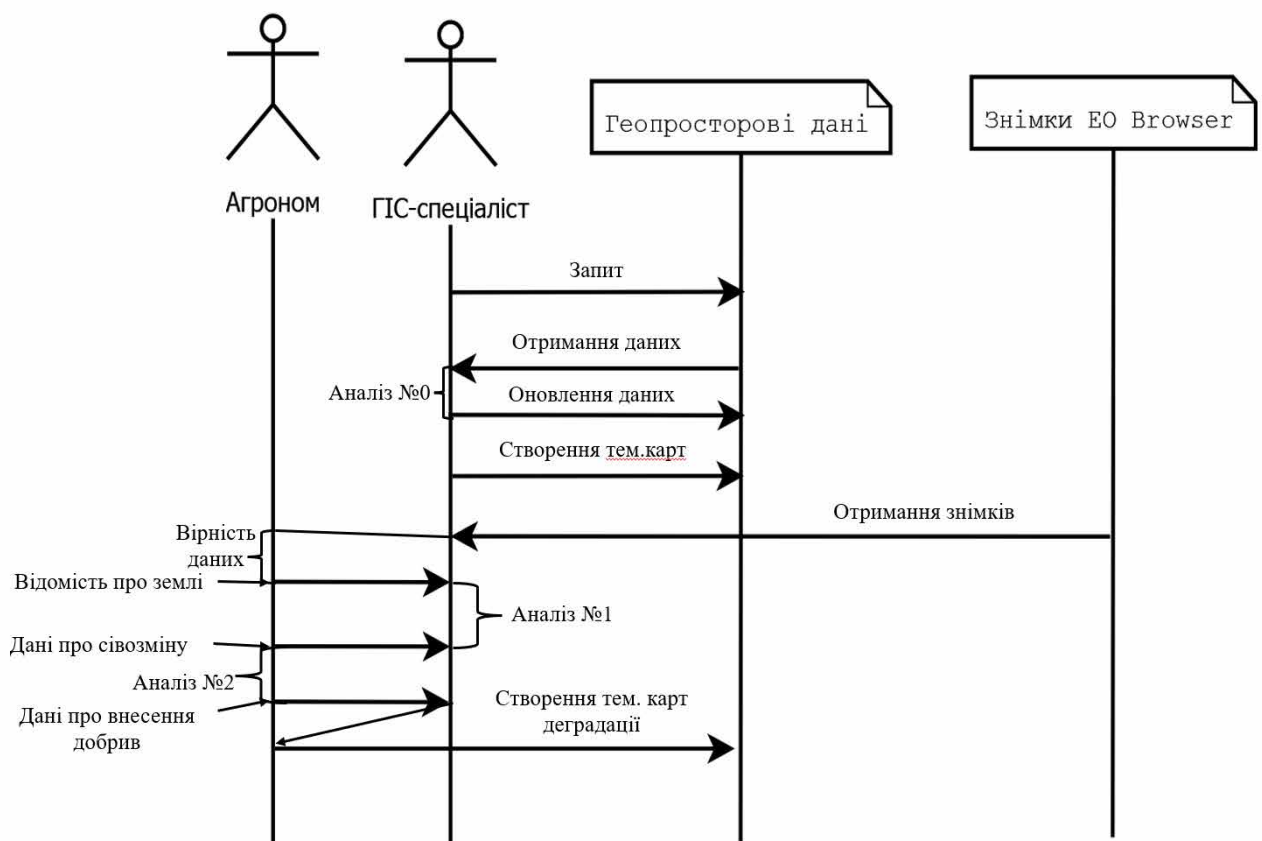


Рис. 2.6. Діаграма послідовності аналізу ризиків деградації

Надання даних агрономом: Агроном ініціює процес, надаючи ГІС-спеціалісту вихідні дані, необхідні для аналізу. Ці дані включають: Відомості про землю: інформація про розташування, розміри, межі та інші характеристики земельних ділянок. Дані про сівозміну: планування послідовності вирощування різних культур на одній і тій самій ділянці землі протягом певного періоду. Дані про внесення добрив: інформація про типи, кількість та терміни внесення добрив для підвищення родючості ґрунту.

Аналіз №0 ГІС-спеціаліст проводить початковий аналіз наданих агрономом даних. Це може включати перевірку даних на повноту та коректність, попередню обробку та інтеграцію різних наборів даних.

Запит до геопросторових даних: ГІС-спеціаліст надсилає запит до джерела геопросторових даних для отримання додаткової інформації, необхідної для подальшого аналізу. Геопросторові дані можуть включати: Інформацію про рельєф місцевості, Дані про типи ґрунтів, Інформацію про водні об'єкти.

Отримання даних система геопросторових даних надає ГІС-спеціалісту запитувані дані.

Оновлення даних: ГІС-спеціаліст оновлює або збагачує вихідні дані, надані агрономом, використовуючи отримані геопросторові дані. Це може включати: Додавання інформації про висоту місцевості до даних про земельні ділянки. Класифікацію ґрунтів на основі геопросторових даних.

Створення тематичної карти: ГІС-спеціаліст створює тематичну карту, яка візуалізує певні характеристики території на основі оброблених даних. Це може бути карта: Розподілу типів ґрунтів. Крутизни схилів.

Запит до "Знімки EO Browser": Одночасно ГІС-спеціаліст надсилає запит до системи "Знімки EO Browser" для отримання супутникових знімків території, що досліджується. Супутникові знімки можуть надати: Інформацію про рослинний покрив. Дані про вологість ґрунту. Інформацію про зміни у землекористуванні.

Отримання знімків: Система "Знімки EO Browser" надає ГІС-спеціалісту запитувані супутникові знімки.

Аналіз №1: ГІС-спеціаліст проводить аналіз, використовуючи отримані супутникові знімки та, можливо, результати попереднього аналізу (Аналіз №0). Це може включати: Визначення площі деградованих земель за супутниковими знімками. Оцінку стану рослинності.

Аналіз №2: ГІС-спеціаліст проводить ще один аналіз, використовуючи дані про сівозміну та внесення добрив, надані агрономом. Це може бути: Оцінка впливу сівозміни на родючість ґрунту. Аналіз ефективності використання добрив.

Створення тематичної карти деградації на основі всіх проведених аналізів ГІС-спеціаліст створює тематичну карту деградації, яка показує просторовий розподіл деградованих земель та їхні характеристики. Ця карта може бути використана для: Визначення пріоритетних ділянок для відновлення. Планування заходів щодо боротьби з деградацією земель.

Ця діаграма послідовності наочно демонструє складний процес, що включає збір, обробку та аналіз різноманітних даних для створення інформації про деградацію земель, що є важливим інструментом для прийняття рішень у сільському господарстві та управлінні земельними ресурсами.

Висновки

У розділі сформовано повний набір моделей геоінформаційного забезпечення аналізу ризиків деградації земель, а саме:

- Функціональна модель (UML Activity) — послідовність етапів від постановки мети та збирання даних до оцінки ризиків, візуалізації й формування рекомендацій.
- Модель факторів ризику — систематизація природних і антропогенних чинників із їх екологічними та соціально-економічними

наслідками; запроваджено оціночні шкали/коефіцієнти ($R_c/Type_coef$, $Area_coef$, $Gran_coef$, крутизна схилів у градусах, $C/P-coef$ покриву тощо).

- DFD-модель потоків даних — джерела, перетворення, сховища та маршрути інформації для побудови тематичних шарів і інтегральної карти ризиків.

- Концептуальна модель БГД — основні класи (Розташування, Поле, Ґрунти, Властивості, Клімат, Ризики, Сівозміна, Техн. обробітку) та їх зміст.

- Логічна модель БГД — атрибути та кратність зв'язків між класами для реалізації у ГІС/СУБД.

- Діаграма послідовності — взаємодія акторів (агроном, ГІС-спеціаліст), систем (ГІС, EO Browser, сховище геоданих) і кроки контролю якості/оновлення даних, що забезпечують оцінку точності та ефективності побудованих карт.

Фізичну реалізацію запропоновано виконати на прикладі земель Новоукраїнської територіальної громади Кіровоградської області, де моделі будуть перетворені на тематичні шари та інтегральну карту ризиків для практичного планування протиерозійних заходів.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ РИЗИКІВ ДЕГРАДАЦІЇ

3.1 Опис території, що аналізується

Географічне розташування. Новоукраїнська міська територіальна громада розташована у центральній частині Кіровоградської області, у межах степової природно-географічної зони України. Адміністративний центр – місто Новоукраїнка, що знаходиться на відстані близько 70 км на південний захід від обласного центру – м. Кропивницький. Територія громади межує з Помічнлянською, Маловисківською, Компаніївською та Добровеличківською громадами (рис. 3.1.). Загальна площа території становить близько 1045 км², до складу входить понад 30 населених пунктів [2].

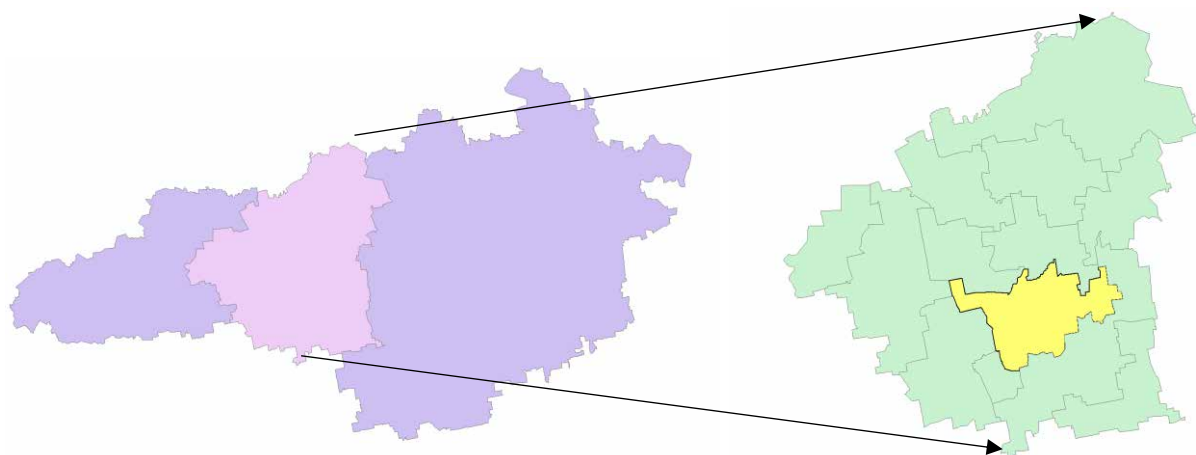


Рис. 3.1. Схема розташування Новоукраїнської територіальної громади

Рельєф і геологічна будова. Рельєф громади переважно рівнинний, із незначним хвилястим характером, що властивий для Причорноморської височини. Абсолютні висоти коливаються від 130 до 200 метрів над рівнем моря. Поверхня розчленована балками та ярами, що зумовлює формування локальних ерозійних процесів. Підстилаючі породи представлені лесами та лесоподібними суглинками, які мають сприятливі агрофізичні властивості, але є вразливими до ерозії [2].

Грунтовий покрив. Грунтовий покрив Новоукраїнської громади відзначається значним різноманіттям і представлений переважно чорноземами різних типів та ступенів еродованості, що відображено у складі агровиробничих груп від 53л до 210л та 98е. Така структура є типовою для центрального степу Кіровоградщини та визначає високий потенціал сільськогосподарського використання земель при одночасній вразливості до ерозійних процесів [5].

Основні групи ґрунтів:

Чорноземи звичайні (агрогрупи 53л–59л, 65л–67л).

Це основний тип ґрунтів громади. Вони сформовані на лесоподібних суглинках, мають середній і високий вміст гумусу (3,5–5 %) та потужний гумусовий горизонт (до 40 см). Відзначаються високою природною родючістю, проте на схилах спостерігаються прояви водної ерозії. Найбільш розорані, активно використовуються під зернові та технічні культури (пшениця, кукурудза, соняшник).

Підгрупи з індексом “е” – еродовані варіанти, де змив призводить до зменшення гумусового шару, зниження вологості та збільшення щільності ґрунту.

Підгрупи з “л” – легкосуглинкові чорноземи, менш стійкі до висушування, схильні до пилових бур у посушливі роки.

Чорноземи південні та карбонатні (агрогрупи 97е, 98е, 98д).

Займають південні та підвищені ділянки території. Відрізняються меншим вмістом гумусу (2,5–3 %), слабкою структурністю і підвищеною сухістю профілю. Такі ґрунти мають середню родючість і потребують зрошення або органічного удобрення. Підгрупи “е” та “д” позначають еродовані та дефльовані форми, що є зонами підвищеного ризику деградації.

Лучно-чорноземні та лучні ґрунти (агрогрупи 133е, 139е, 141, 165е, 209е, 210е).

Поширені в долинах річок, заплавах і пониженнях рельєфу. Мають середній та підвищений вміст органічної речовини, відзначаються кращим водним режимом. Проте при надмірному зволоженні та порушенні дренажу

зазнають підтоплення і вторинного засолення. Є важливими регуляторами водного балансу громади.

Сірі й темно-сірі опідзолені ґрунти (агрогрупи 53е–56е, 57е–59е).

Зустрічаються переважно на північному сході громади, на підвищених ділянках із більшим зволоженням. Відзначаються нижчим вмістом гумусу (до 3 %) і меншою структурною стійкістю. У разі розорювання без протиерозійних заходів зазнають швидкого вимивання дрібнодисперсних часток і деградації.

Дерново-лучні та заплавні ґрунти (агрогрупи 209л, 210л, 215, 218).

Формуються вздовж річок і балкових систем. Мають достатнє зволоження, однак схильні до періодичного перезволоження і заболочення. При нераціональному використанні можуть переходити у солонцюваті форми. Виконують важливу екологічну буферну функцію, зменшуючи стік і замулення водотоків.

Світло-сірі ґрунти та легкі суглинки (агрогрупи 54е, 55е, 56л, 57л).

Відзначаються зниженим вмістом гумусу, високою проникністю і слабкою вологоємністю. Використання таких ґрунтів у монокультурі соняшнику чи кукурудзи прискорює процеси дегуміфікації та зниження врожайності.

Загальна оцінка стану ґрунтів:

Високоризикові зони деградації: еродовані чорноземи (55е–67е), південні чорноземи (97е–98е), заплавні ділянки з проявами засолення (209е–210е).

Середній рівень ризику: сірі опідзолені ґрунти та легкі чорноземи (53л–56л).

Низький ризик: лучно-чорноземні ділянки (133е–165е) та заплавні території з природним травостоєм.

У межах території простежується південне підвищення ступеня деградації, що узгоджується з просторовим аналізом карт ризиків (NDVI, RUSLE, TCI). Ґрунти на підвищеннях рельєфу є найбільш уразливими до вітрової та водної ерозії, тоді як заплавні ґрунти страждають від засолення та порушення водного режиму.

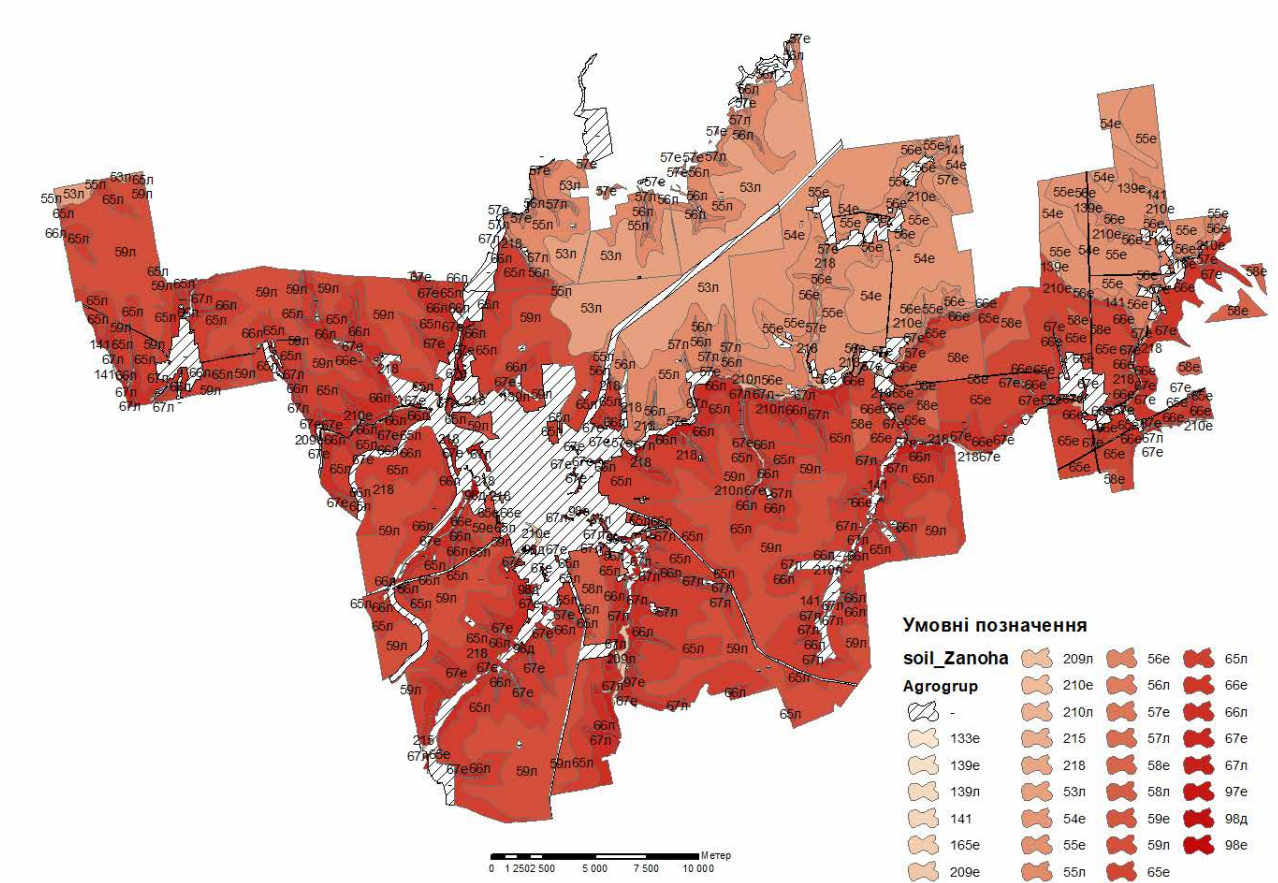


Рис. 3.2. Картографічне подання ґрунтового покриття Новоукраїнської територіальної громади

Перелік агровиробничих груп ґрунтів громади подано в таблиці 3.1.

Агровиробничі групи ґрунтів Новоукраїнської громади

№. Номер	шифр	Назва ґрунту
1	133е	Лучно-чорноземні еродовані
2	139е	Лучно-чорноземні середньоеродовані
3	139л	Лучно-чорноземні легкі
4	165е	Лучні еродовані
5	209е	Дерново-лучні еродовані
6	209л	Дерново-лучні легкі
7	210л	Лучно-солонцюваті легкі
8	215	Лучно-болотні
9	218	Болотні
10	54е	Чорноземи звичайні еродовані
11	56е	Чорноземи звичайні сильнозмиті
12	57е	Чорноземи південні еродовані
13	57л	Чорноземи південні легкі
14	58е	Чорноземи середньогумусні еродовані
15	58л	Чорноземи середні легкі
16	59е	Чорноземи середньогумусні змиті
17	59л	Чорноземи легкосуглинкові
18	65л	Чорноземи важкі легкі
19	66е	Чорноземи південні еродовані
20	66л	Чорноземи південні легкі
21	67л	Чорноземи південні легкі
22	98д	Чорноземи карбонатні дефльовані

Перелік особливо цінних агровиробничих груп ґрунтів громади подано в таблиці 3.2. [2].

Особливо цінні ґрунти території Новоукраїнської громади

№. Номер	шифр	Назва ґрунту
1	55е	Чорноземи звичайні середньеродовані
2	65е	Чорноземи важкі еродовані
3	67е	Чорноземи південні середньеродовані
4	97е	Чорноземи карбонатні еродовані
5	98е	Чорноземи карбонатні еродовані
6	210е	Лучні солоцюваті
7	53л	Чорноземи звичайні легкі
8	141	Лучно-чорноземні незмиті

За гранулометричним складом на території Новоукраїнської територіальної громади переважають легкоглинисті ґрунти (рис.3.3. та рис. 3.4.). Результати аналізу гранулометричного складу, відображені на діаграмі, свідчать про переважання легкоглинистих ($\approx 43\%$) та важкосуглинкових ($\approx 37\%$) ґрунтів на території Новоукраїнської громади. Такі типи мають високий вміст дрібнодисперсних часток і характеризуються добрим водоутриманням, але водночас схильні до ущільнення та утворення поверхневої кірки при інтенсивному механічному обробітку. Це може збільшувати ризик поверхневої ерозії, особливо на схилах.

Лучно-болотні ґрунти (приблизно 19%) поширені переважно у знижених частинах рельєфу та заплавах річкових долин. Вони мають високу вологість, схильні до оглеєння, але відіграють важливу роль у природному водорегулюванні території.

Середньосуглинкові ґрунти (приблизно 1–2%) трапляються локально й мають найкраще співвідношення механічних фракцій, забезпечуючи оптимальні умови для розвитку більшості культур без значного ризику деградації.

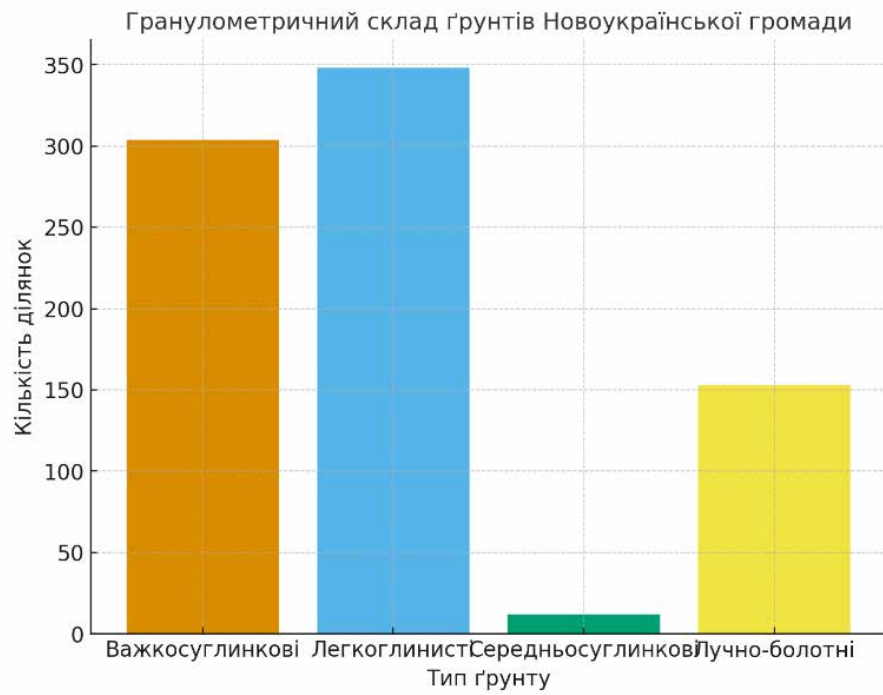


Рис. 3.4. Аналіз гранулометричного складу ґрунтів Новоукраїнської громади

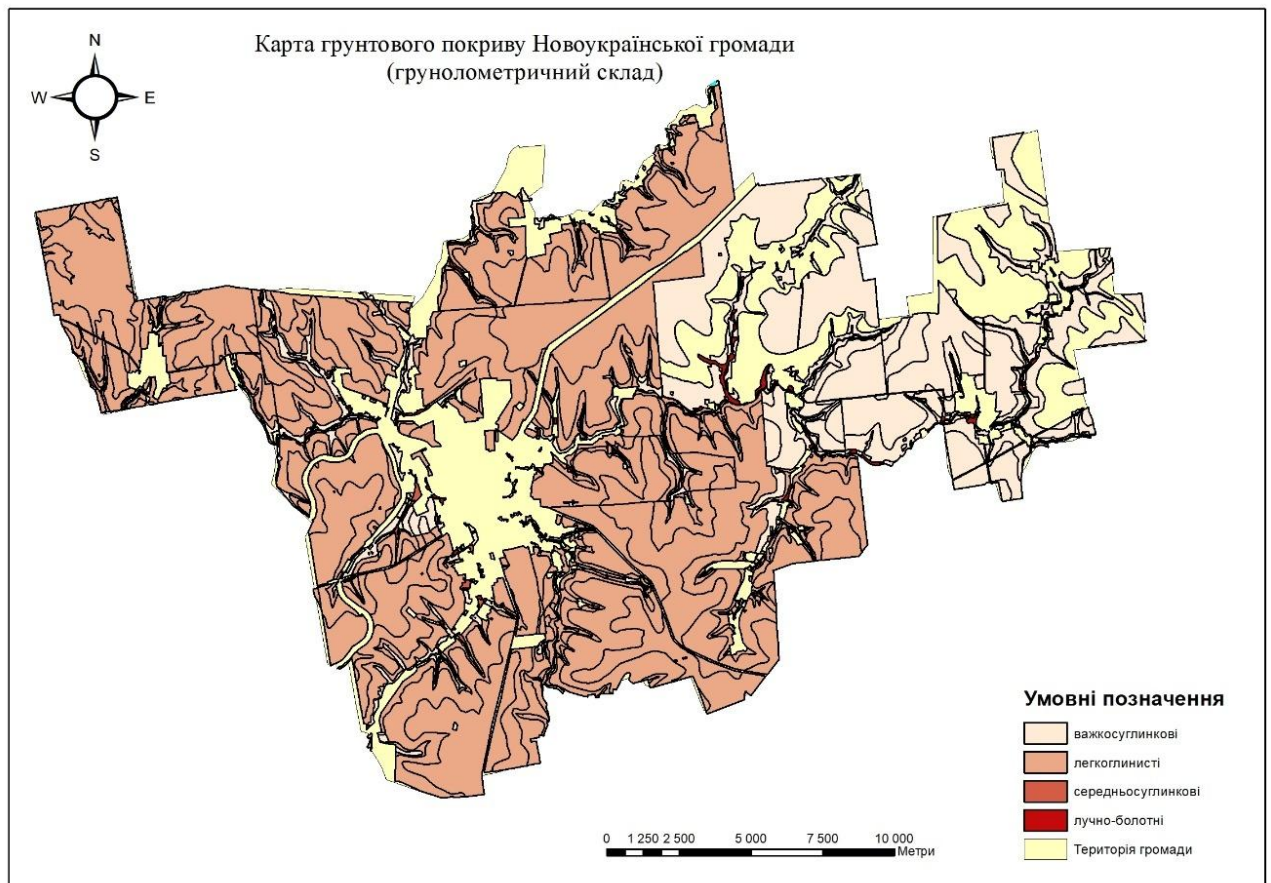


Рис. 3.4. Картографічне подання гранулометричного складу ґрунтового покриття Новоукраїнської територіальної громади

Отримані результати вказують, що гранулометричний склад ґрунтів є одним із ключових чинників, який визначає потенційний рівень ризику деградаційних процесів. У подальшому аналізі коефіцієнтів ризику (Risk_coef) ці типи ґрунтів будуть використані як вагові складові при оцінюванні ерозійної небезпеки та екологічної стійкості агроландшафтів громади.

Кліматичні умови. Клімат території – помірно континентальний, із жарким сухим літом та м'якою малосніжною зимою. Середньорічна температура повітря: +9,3 °С. Середня температура липня: +22,5 °С, січня: –4 °С. Річна кількість опадів: 470–520 мм, з яких більша частина припадає на теплий період. Середня тривалість безморозного періоду – 175–190 днів. Для регіону характерні часті посушливі явища, нерівномірний розподіл опадів, пилові бурі та періодичні підтоплення в заплавах річок, що суттєво впливає на розвиток деградаційних процесів [4].

Гідрографічна мережа. Територією громади протікає річка Чорний Ташлик – права притока Південного Бугу, а також низка її дрібних приток і ставків, які виконують важливу роль у зрошенні та формуванні водного балансу. Водні ресурси є обмеженими, що підвищує ризики засолення, дефіциту вологи та водної ерозії [4].

Рослинність і землекористування. Первинна рослинність представлена степовими фітоценозами (ковила, тонконіг, пирій), однак у сучасному стані понад 80 % території розорано. Лісові масиви займають лише 3–4 % площі, переважно у балкових системах та прибережних захисних смугах. Основна частина земель використовується під зернові, технічні та кормові культури – пшениця, кукурудза, соняшник, соя. Активне сільськогосподарське використання без належної сівозміни та протиерозійних заходів призводить до виснаження ґрунтів і втрати гумусу [3].

Соціально-економічна характеристика. Новоукраїнська громада має аграрно-промисловий профіль економіки. Провідну роль відіграють

підприємства зернового виробництва, тваринництва, переробної промисловості. Останніми роками спостерігається зростання урбанізованих територій, розширення дорожньо-транспортної мережі та господарських дворів, що створює локальні осередки ущільнення та деградації ґрунтів [2].

Основними ризиками для земель громади є:

1. водна та вітрова ерозія,
2. засолення у зрошуваних масивах,
3. опустелювання через зменшення вологи,
4. забруднення агрохімікатами,
5. ущільнення орних площ важкою технікою.

Територія Новоукраїнської громади характеризується високим сільськогосподарським освоєнням, кліматичною посушливістю та значним антропогенним навантаженням. У сукупності ці чинники формують високий потенціал ризику деградаційних процесів, насамперед ерозії, виснаження ґрунтів і зниження їх родючості. Саме тому впровадження геоінформаційних технологій для моніторингу, аналізу та прогнозування таких ризиків є необхідною умовою сталого управління земельними ресурсами громади.

3.2 Реалізація моделей аналізу ризиків деградації земель

Розроблення моделей аналізу ризиків деградації ґрунтів у межах Новоукраїнської громади здійснювалося з використанням інструментів геоінформаційних технологій у середовищі ArcGIS. Основною метою дослідження було створення системи аналітичних карт, що відображають закономірності деградаційних процесів, ерозійних ризиків та інтегральну оцінку стану ґрунтового покриву. Побудова моделі проводилась поетапно, з поєднанням тематичних шарів ґрунтів, цифрової моделі рельєфу (DEM SRTM) та похідних показників морфометрії (схили, висоти, експозиції).

Методика побудови моделей. У роботі було застосовано аналітичний підхід АНР (Analytic Hierarchy Process), що дає змогу визначити відносну вагу кожного фактора, який впливає на розвиток деградаційних процесів.

Для оцінювання стану ґрунтів враховано два головні блоки чинників:

1. Ґрунтові властивості – тип, еродованість, механічний склад, засолення;
2. Природні ризики – рельєф, схили, зволоження та положення у системі водозбору.

Послідовність обчислення включала такі етапи:

- підготовка векторного шару агровиробничих груп ґрунтів Soli_Zanoha.shp;
- опрацювання цифрової моделі рельєфу SRTM_Clip.tif і побудова шару схилів (Slope_Zanoha.tif);
- визначення середніх параметрів рельєфу для кожного ґрунту за допомогою інструмента Zonal Statistics as Table;
- присвоєння коефіцієнтів деградації та ризику через Field Calculator;
- розрахунок інтегрального індексу деградації (D) з подальшою класифікацією результатів.

Формування коефіцієнтів деградації ґрунтів. Кожна агровиробнича група ґрунтів характеризується різним рівнем ерозійної небезпеки, родючості й стійкості до зовнішніх впливів.

Для їх кількісного опису створено нове поле Soil_coef, у якому кожному типу ґрунту присвоєно коефіцієнт деградації в межах від 0.10 до 0.75.

Розподіл значень виконано за методикою Колмаза Л. П. («Оцінювання деградаційних процесів ґрунтів у ГІС-середовищі», 2019) та з урахуванням класифікації ерозійної небезпеки ДСТУ 4362:2004. Коефіцієнт деградації подані в таблиці 3.3.

Присвоєння значень виконувалось у середовищі ArcGIS, де для поля Soil_coef було проведено обчислення через функцію Field Calculator.

Коефіцієнти деградації ґрунтів Новоукраїнської громади

Агровиробнича група	Характеристика ґрунту	Коефіцієнт деградації (Soil_coef)
55е	Чорнозем звичайний середньоеродований	0.70
56е	Чорнозем звичайний сильнозмитий	0.72
66е	Чорнозем південний еродований	0.66
67е	Чорнозем південний середньоеродований	0.64
98д	Чорнозем карбонатний дефльований	0.70
210л	Лучно-солонцюваті ґрунти	0.55
218	Болотні ґрунти	0.10
139л	Лучно-чорноземні легкі	0.20
215	Лучно-болотні	0.12
інші (слабоеродовані)	–	0.30–0.45

Отримані значення дозволили визначити території з підвищеною потенційною схильністю до деградації, зокрема схили з чорноземами типів 55е–67е. За даними коефіцієнту деградації побудовано картографічне подання (рис. 3.5)

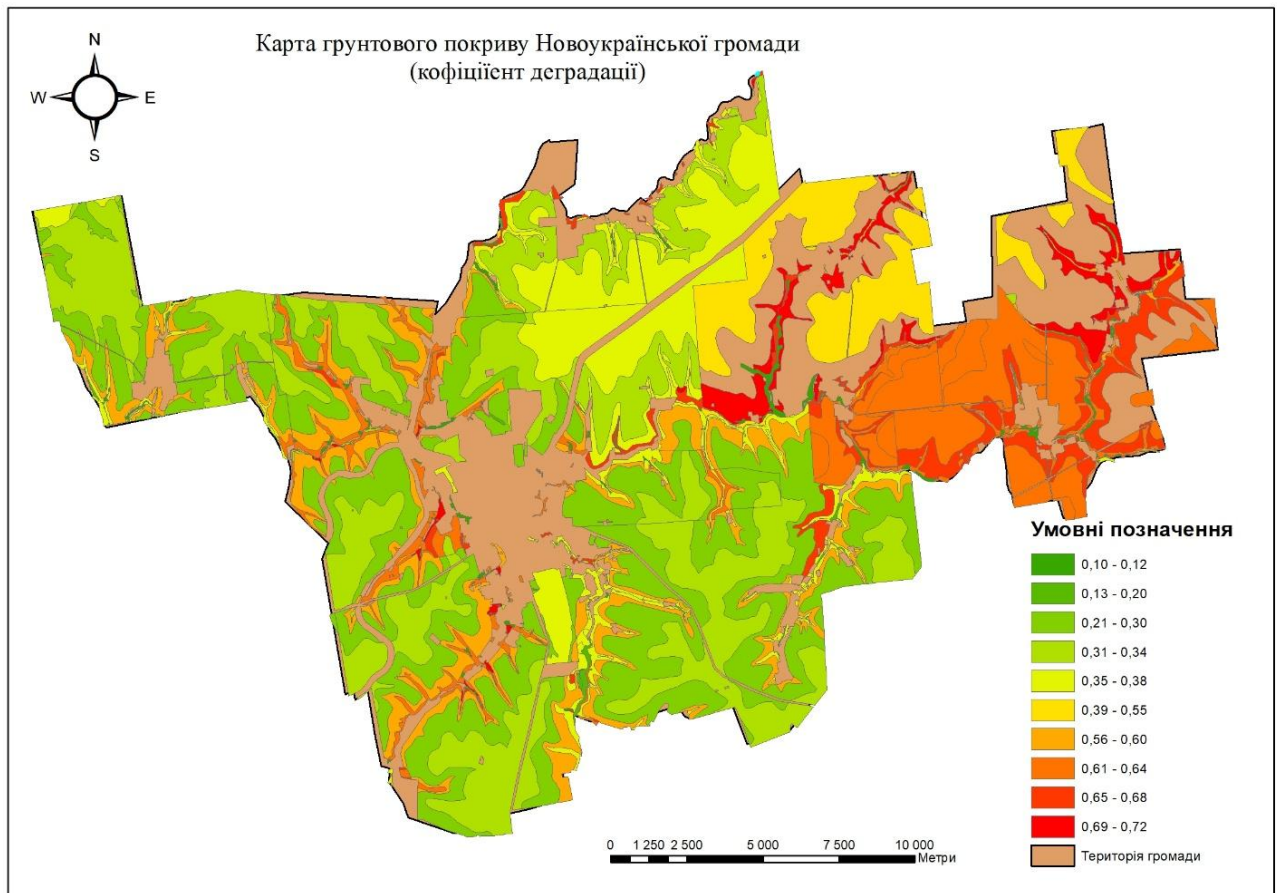


Рис. 3.5. Картографічне подання ґрунтового покриву Новоукраїнської територіальної громади за коефіцієнтом деградації

За даними коефіцієнту деградації побудовано картографічне подання ґрунтового ступенем ризику деградації (рис. 3.6)

За результатами геоінформаційного аналізу та тематичного картографування (рис. 3.5–3.6) виділено зони:

високого ризику деградації – південно-західна частина громади (ерозійні схили, інтенсивне землеробство);

середнього ризику – центральна частина (змішані угіддя, окремі урбанізовані ділянки);

низького ризику – північно-східні заплавні території з природною рослинністю.

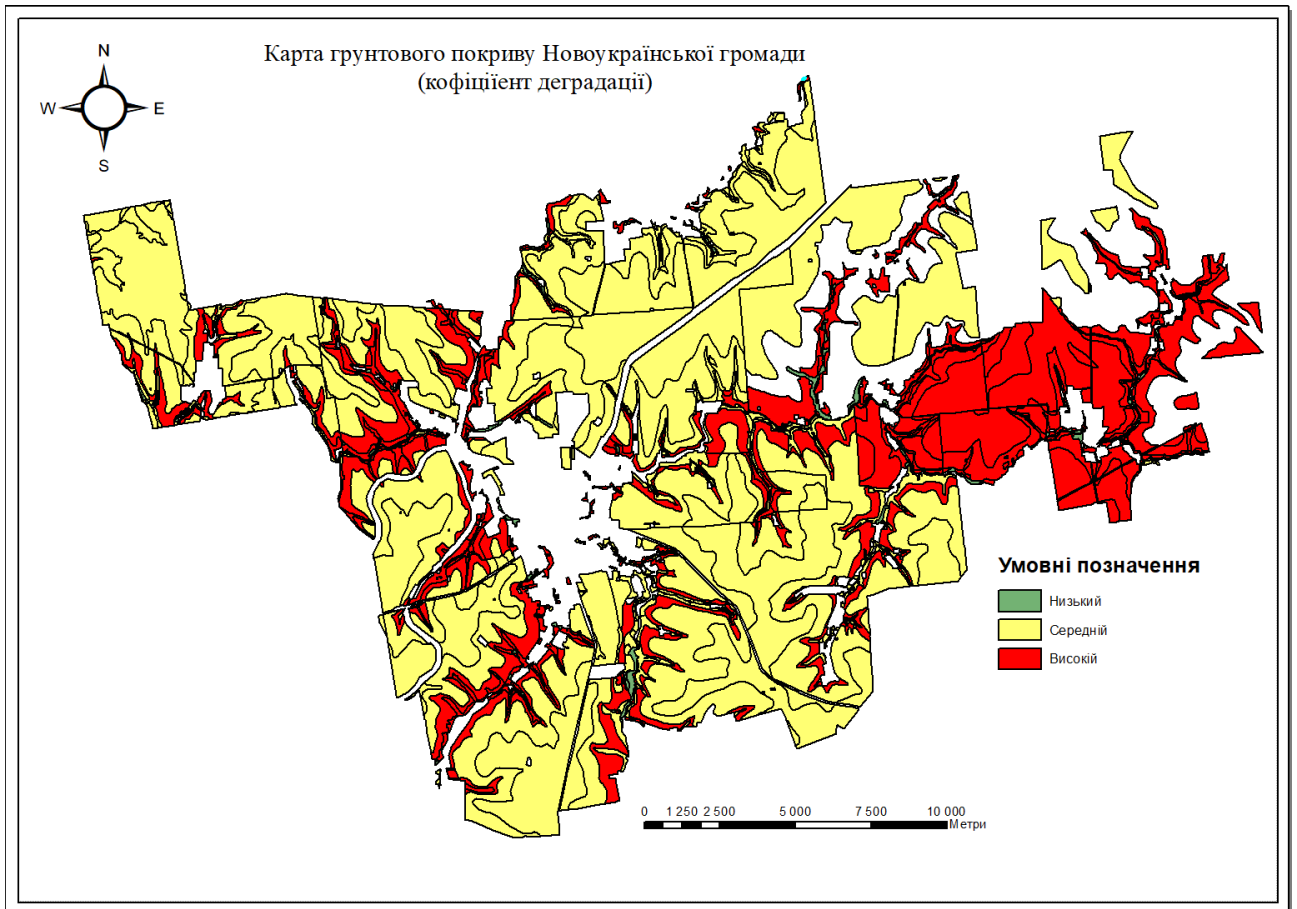


Рис. 3.6. Картографічне подання ґрунтового покриву Новоукраїнської територіальної громади ступенем ризику деградації

Наступним етапом аналізу є побудова шару рельєфу та карти схилів. Для оцінки впливу рельєфу на деградаційні процеси з цифрової моделі висот (SRTM) шар відображає зміну нахилів від 0 до 8°, що дозволяє простежити динаміку ерозійної активності. Цей показник відображає, які саме типи ґрунтів розташовані на найкрутіших ділянках і найбільш схильні до ерозії. Схили подані на рис. 3.7.

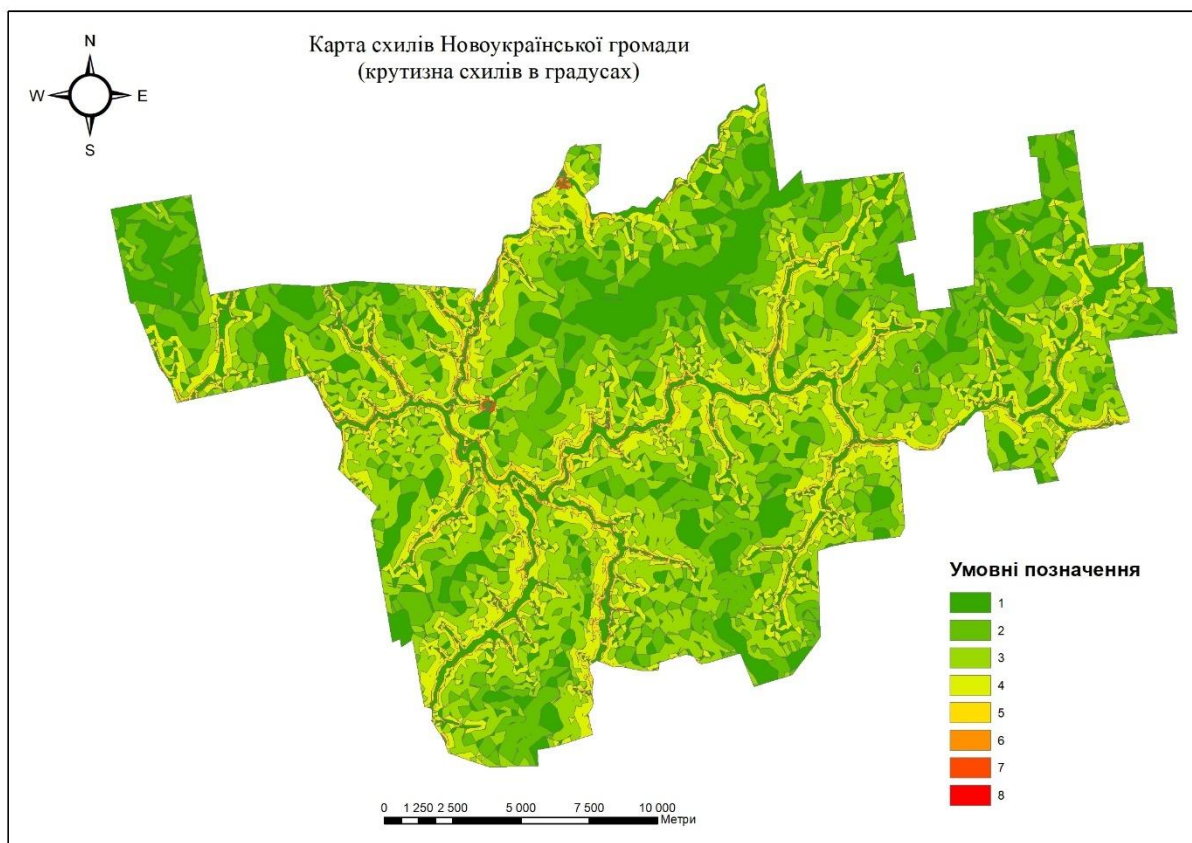


Рис. 3.7. Карта схилів Новоукраїнської територіальної громади

У межах Новоукраїнської громади підвищені ризики деградації зосереджені смугами в центрально-східній частині та вздовж балкової мережі; вони просторово збігаються з більш крутими схилами ($\approx 4-8^{\circ}+$). Вододіли та вирівняні ділянки з пологими уклонами ($\approx 1-3^{\circ}$) переважно демонструють середній рівень ризику. Це підтверджує визначальну роль рельєфу у формуванні ерозійних процесів. Отримані карти можуть слугувати основою для пріоритизації протиерозійних заходів і коригування структури землекористування.

Методика створення карти хімічного коефіцієнта. Для визначення рівня хімічного навантаження на ґрунти Новоукраїнської громади було використано дані про фактичні норми внесення засобів захисту рослин (ЗЗР), які застосовуються для вирощування основних сільськогосподарських культур. Інформаційною основою стали виробничі записи господарства щодо

використання гербіцидів, фунгіцидів, інсектицидів та регуляторів росту під різні культури (озима пшениця, ріпак, кукурудза, соя, соняшник, ячмінь).

Збір та узагальнення даних проводився у вигляді таблиці, де для кожної культури визначався середній хімічний коефіцієнт (Chem_coef) відповідно до кількості обробок і токсикологічного навантаження. Значення коефіцієнтів були встановлені за експертною шкалою:

- 0,5 – середній рівень впливу (кукурудза, соя, ячмінь);
- 0,7 – підвищений ризик деградації (соняшник, озима пшениця);
- 0,8 – високий ризик деградації (озимий ріпак).

У таблиці 3.6 подано узагальнену інформацію про інтенсивність застосування засобів захисту рослин у межах Новоукраїнської громади. Коефіцієнти Chem_coef визначені на основі кількості обробок, типу препаратів і токсикологічного навантаження на агроєкосистему. Найвищі значення (0.8) зафіксовані для озимого ріпаку, який потребує частих обробок фунгіцидами та інсектицидами. Для більшості інших культур характерний середній рівень впливу (0.5–0.7). Отримані значення використано при розрахунку інтегрального коефіцієнта ризику деградації земель.

На карті (рис. 3.8) відображено частина розміщених основних сільськогосподарських культур у межах Новоукраїнської громади. Територія характеризується високим рівнем площ з переважанням озимої пшениці, сої, соняшнику, ріпаку, ячменю та кукурудзи.

Кожна культура має власну кольорову позначку, що дозволяє наочно простежити агрономічну спеціалізацію окремих полів і зон господарювання.

Таблиця 3.4.

Інтенсивність застосування засобів захисту рослин у межах Новоукраїнської
громади

№	Культура	Основні препарати, що застосовуються	Кількість обробок за сезон	Характер впливу на ґрунт і навколишнє середовище	Хімічний коефіцієнт (<i>Chem_coef</i>)
1	Озима пшениця	Фастак, Скаубел, Фолікур, Сойлор	3–4	Середнє навантаження, поєднання фунгіцидів	0.7
2	Озимий ріпак	Харнес, Фокс, Проклус, Коннект, Дімекс	4–5	Високе навантаження: інтенсивна система обробітку	0.8
3	Соняшник	Харнес, Фокс, Проклус, Коннект	3–4	Підвищене хімічне навантаження	0.7
4	Кукурудза	Харнес, Лаудіс, Корум	2–3	Помірний вплив	0.5
5	Соя	Базагран М, Фастак, Вантекс	2–3	Середній рівень хімічного навантаження	0.5
6	Ячмінь	Фастак, Піма Форс, Авіатор	2–3	Середній рівень навантаження,	0.5

Розподіл культур відображає агроекологічні умови території:

- Соя та пшениця вирощуються переважно на рівнинних ділянках із середньою вологістю;
- Соняшник та ріпак – на родючих, але більш схильних до ерозії землях;
- Кукурудза займає ділянки з легким гранулометричним складом, що забезпечує швидке прогрівання ґрунту навесні;

Ячмінь розміщується локально, часто на полях після зернобобових культур.

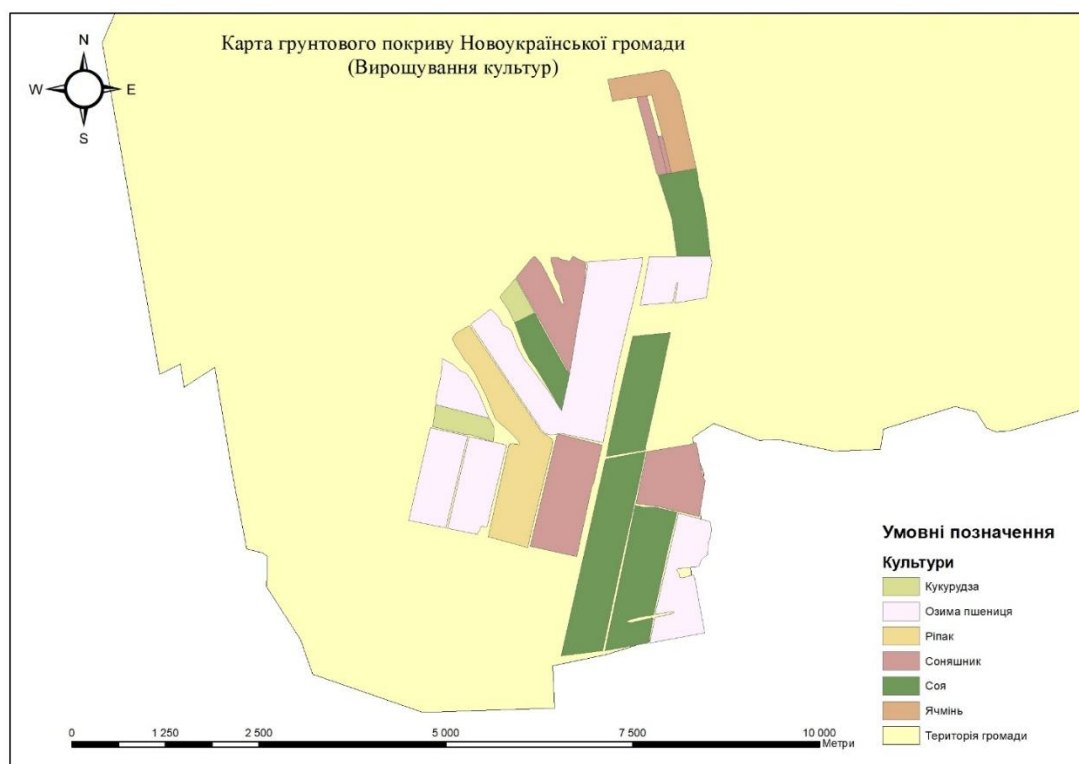


Рис. 3.8. – Карта площ водозборів Новоукраїнської громади.

На рис. 3.9. відображено рівень інтенсивності використання засобів захисту рослин у межах Новоукраїнської громади. Вона складена на основі даних про фактичні норми внесення пестицидів, фунгіцидів, гербіцидів та регуляторів росту, відповідно до технологій вирощування основних культур.

На карті виділено три градації рівня впливу:

- Середній вплив (0,5) – культури із помірною інтенсивністю хімічного захисту, переважно соя, ячмінь, кукурудза;
- Підвищений ризик деградації (0,7) – поля з більш інтенсивними схемами обробітку, характерними для соняшнику та озимої пшениці;
- Високий ризик деградації (0,8) – ділянки з найбільшим хімічним навантаженням, переважно під озимим ріпаком, який потребує багатоступеневого захисту від шкідників і хвороб.

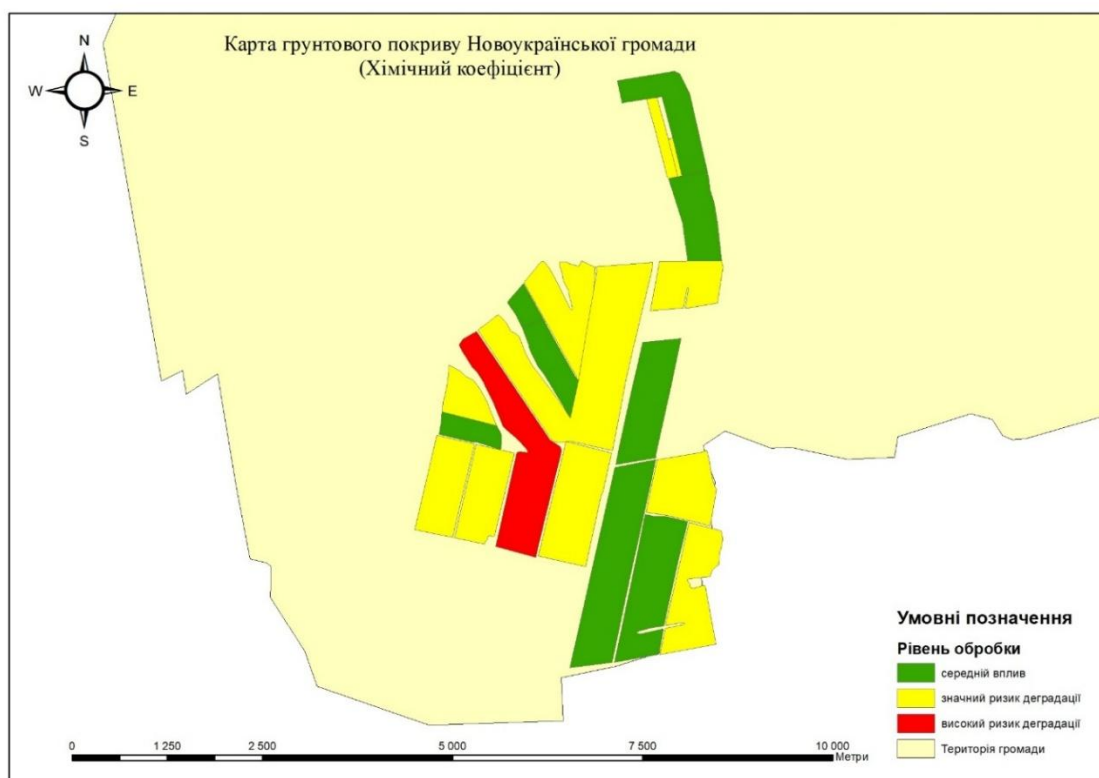


Рис. 3.9. – Карта площ водозборів Новоукраїнської громади.

Результати картографування показують, що найвищий ризик деградаційного впливу від ЗЗР, де вирощується ріпак і соняшник. Зони середнього рівня впливу переважають на периферійних ділянках, що свідчить про більш збалансоване землекористування.

Отримана карта є ключовим елементом при формуванні інтегрального коефіцієнта ризику деградації земель, оскільки дозволяє просторово оцінити

антропогенне хімічне навантаження та визначити ділянки, де необхідно посилити екологічний моніторинг або змінити агротехнології.

Коефіцієнт опадів (Rain_coef). Кліматичні умови є фактором у процесах деградації ґрунтів, тому до моделі було включено коефіцієнт опадів.

Для території Новоукраїнської громади, яка належить до центральної частини степової зони України, характерні середньорічні опади в межах 520–540 мм.

Для розрахунків прийнято середнє значення $Rain_coef = 0.55$, що відповідає помірному кліматичному ризику.

Таблиця 3.5.

Шкала Rain_coef за річною сумою опадів і категорією кліматичного ризику

Річна сума опадів, мм	Кліматична зона	Rain_coef	Характеристика
< 450	посушлива степова	0.3	Низ. клімат. ризик
450–550	помірно посушлива	0.5	середній ризик
550–650	лісостепова	0.7	помірно високий ризик
> 650	волога	0.9	Вис. ризик

Оскільки опади є фактором рівномірним для всієї громади, було призначено як константне значення для всіх полігонів, що гарантує коректне відображення середнього кліматичного впливу при інтегральному розрахунку ризику деградації.

Коефіцієнт гранулометричного складу (Gran_coef). Враховуючи, що гранулометричний склад суттєво впливає на водно-фізичні властивості ґрунтів, для його оцінки введено коефіцієнт Gran_coef.. Він визначався на основі типу

механічного складу, де легкі ґрунти (піщані, супіщані) більш схильні до дефляції, а важкі (глинисті) – до водної ерозії.

За результатами класифікації встановлено такі значення:

Таблиця 3.6.

Значення коефіцієнта гранулометричного складу (Gran_coef) для типів ґрунтів та їх ерозійної характеристики

Тип гранулометричного складу	Gran_coef	Характеристика
Легкоглинисті та супіщані	0.4	низький ризик змиву
Середньосуглинкові	0.5	помірний ризик
Важкосуглинкові	0.6	підвищений ризик
Глинисті	0.7	високий ризик, слабка фільтрація

Цей коефіцієнт відображає потенційну здатність ґрунту до збереження вологи й опору механічному руйнуванню.

Побудова карт площі та типу водозборів у межах Новоукраїнської громади. Для уточнення оцінки ризику деградації ґрунтів у межах Новоукраїнської громади було проведено гідрологічне моделювання на основі цифрової моделі рельєфу (DEM SRTM 30 м). Метою етапу було визначення площі водозбірних басейнів та їх типу за формою, що безпосередньо впливають на швидкість поверхневого стоку та інтенсивність ерозійних процесів.

Робота виконувалася у середовищі ArcGIS, із використанням інструментів набору Spatial Analyst → Hydrology.

Етап 1. Підготовка цифрової моделі рельєфу

На першому етапі цифрову модель рельєфу громади було обрізано за межами адміністративного контуру (Clip DEM). Далі виконано заповнення

замкнених понижень (Fill) для усунення локальних “ям”, які перешкоджають моделюванню напрямків стоку. Результатом став коректний шар рельєфу DEM_filled.

Етап 2. Моделювання напрямків та накопичення стоку

На основі заповненого DEM виконано послідовність операцій:

- Flow Direction – створення шару напрямків стоку (FlowDir), де кожен піксель містить значення напрямку течії.
- Flow Accumulation – побудова шару накопичення стоку (FlowAcc), що показує кількість пікселів, з яких вода стікає через дану комірку.

Значення FlowAcc інтерпретуються як площа, з якої формується поверхневий потік.

Отриманий результат представив реалістичну структуру руслової мережі на території громади.

Етап 3. Визначення водозборів

Для побудови водозбірних басейнів використано інструменти Snap Pour Point та Watershed.

Точки водозбору були прив’язані до створеної руслової мережі, після чого за допомогою інструмента Watershed сформовано растр водозбірних ділянок (Watershed_rast).

Отриманий растр було перетворено у полігональний шар (Raster to Polygon) – Watershed_poly, який містив окремі полігони водозбірних басейнів.

Етап 4. Розрахунок площі водозборів

У таблиці атрибутів шару Watershed_poly було створено поле Area_km2 (Double), у яке занесено розраховану площу кожного басейну

На основі отриманих площ побудовано карту площ водозборів (рис. 3.10).

Далі для кількісного вираження впливу площі на процеси деградації введено коефіцієнт Area_coef, що характеризує потенційну здатність водозбору акумулювати стік.

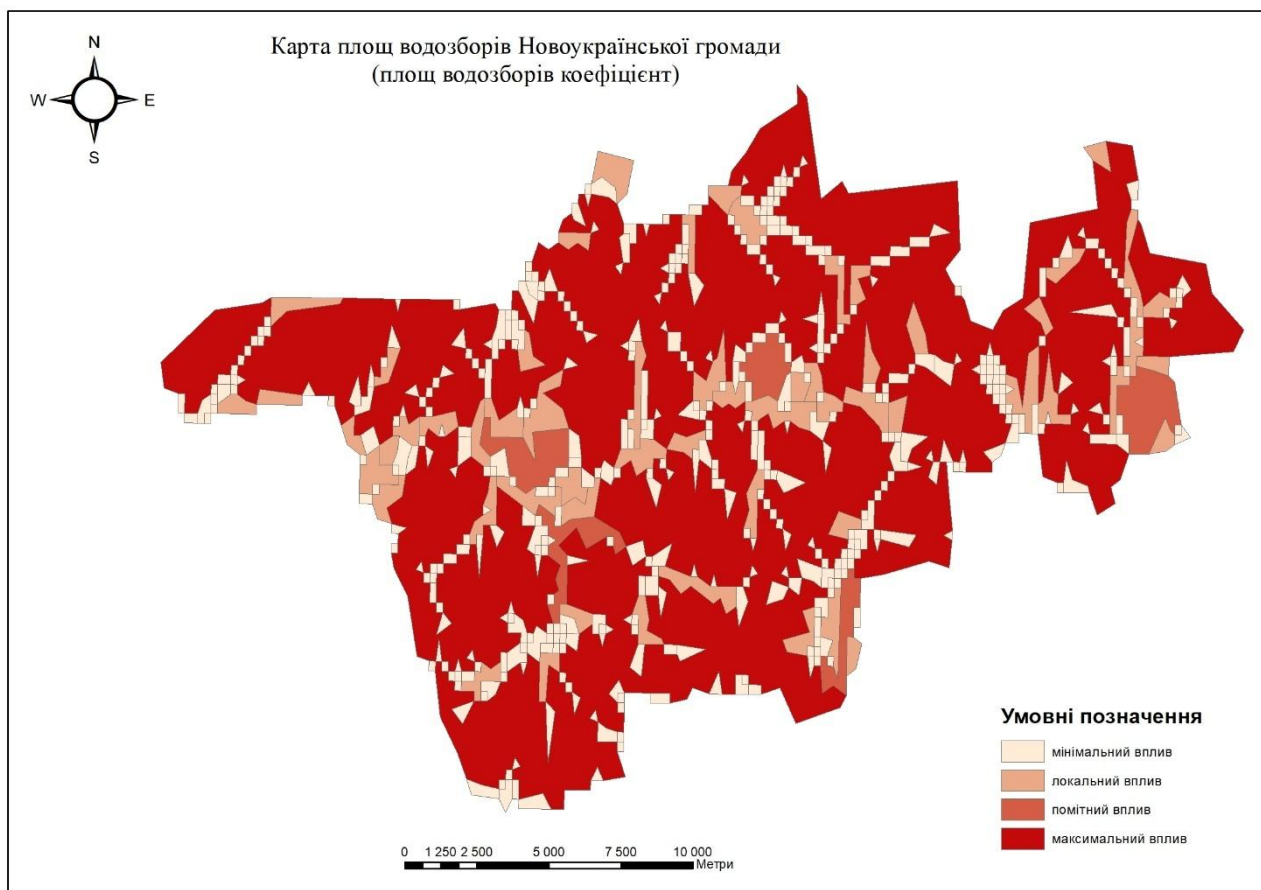


Рис. 3.10. Карта площ водозборів Новоукраїнської громади.

Залежно від площі водозбору коефіцієнти визначалися за шкалою:

Таблиця 3.7.

Класифікація водозборів за площею і відповідними коефіцієнтами

Area_coef

Площа басейну, км ²	Area_coef	Характеристика
< 0.5	0.1	мінімальний вплив
0.5–2.0	0.4	локальний вплив
2.0–5.0	0.7	помітний вплив
> 5.0	1.0	максимальний вплив

Присвоєння коефіцієнтів виконано за допомогою Select by Attributes у середовищі ArcGIS.

Результатом стало створення тематичної карти «Площа водозборів Новоукраїнської громади», яка демонструє ієрархію водозбірних структур. Найбільші басейни (>5 км²) охоплюють центрально-західну частину громади, що вказує на підвищений потенціал розвитку ерозійних процесів.

Етап 5. Визначення типу водозборів за формою

Для оцінки морфометричних особливостей кожного водозбору було введено показник індексу кругловидності (Circularity Ratio, R_c), який розраховується за формулою:

$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$$

де:

A – площа басейну (км²),

P – периметр басейну (км).

Отримані значення R_c було класифіковано у чотири типи за ступенем видовженої:

Таблиця 3.8.

Класи R_c для водозборів і їх ерозійно-стокова характеристика

R_c	Тип басейну	Type_coef	Характеристика
< 0.25	Сильно видовжений	0.3	низький ризик стоку
0.25–0.5	Подовжений	0.5	середній ризик
0.5–0.75	Помірно округлий	0.7	підвищений ризик
> 0.75	Круглий	1.0	високий ризик ерозії

Для кожного басейну значення Type_coef присвоєно за допомогою Select by Attributes, після чого сформовано тематичну карту

Отримані результати свідчать, що найбільш округлі водозбори ($R_c > 0.75$), які характеризуються високою швидкістю концентрації стоку, переважають у північній частині громади. У центральних і південних районах домінують подовжені та видовжені басейни, для яких ерозійна небезпека нижча.

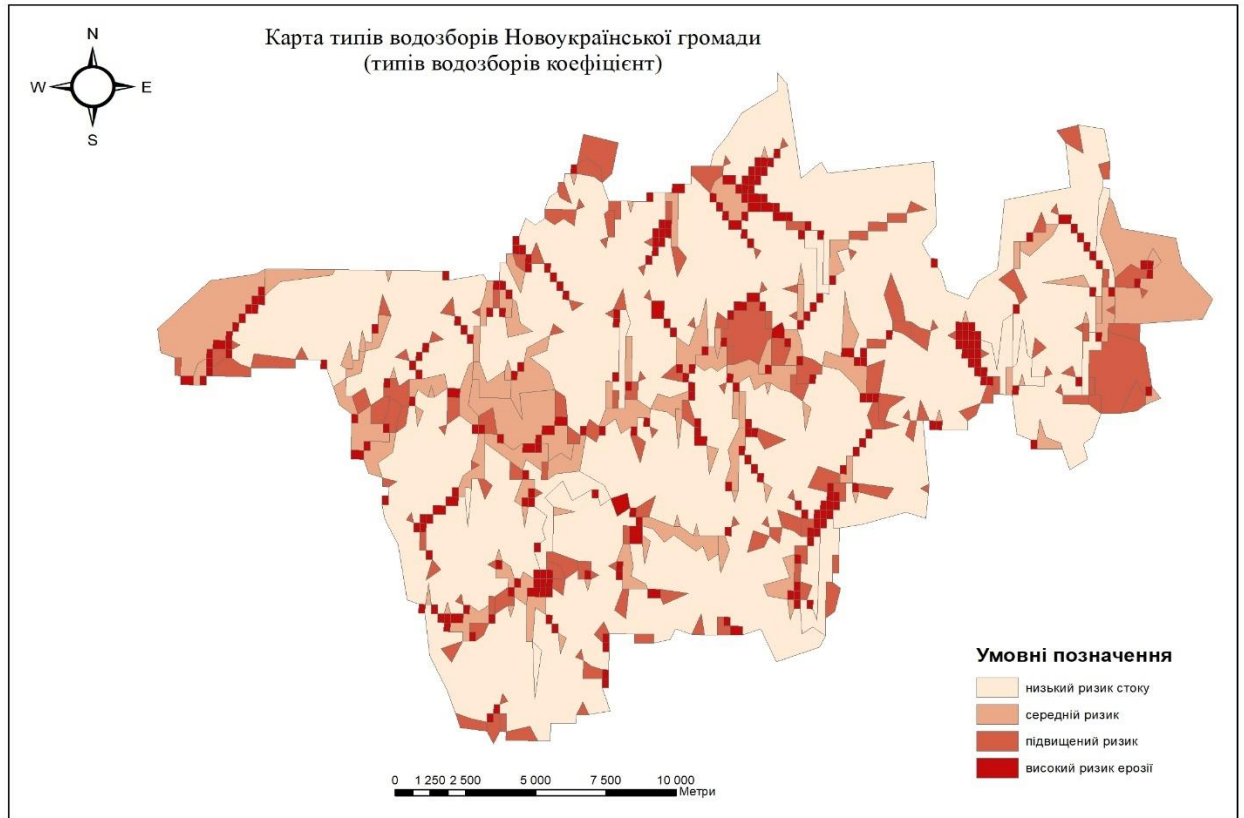


Рис. 3.11. Карта типів водозборів Новоукраїнської громади.

Оцінка ризиків деградації ґрунтів Новоукраїнської громади

Процес побудови карти ризиків деградації ґрунтів здійснювався у середовищі ArcGIS, де поетапно було реалізовано багатофакторну модель оцінки деградаційних процесів. На основі вхідних просторових даних для території громади (DEM, ґрунтовий покрив, водозбірна сітка, агровиробничі групи ґрунтів, межі сільськогосподарських угідь) було сформовано єдиний аналітичний шар, який інтегрує основні чинники ризику.

На початковому етапі проведено побудову похідних карт:

- карта крутизни схилів (Slope) – отримана з цифрової моделі рельєфу (SRTM) шляхом розрахунку градієнта нахилу в градусах.
- карта водозборів (Watershed) – побудована за допомогою функцій *Flow Direction* та *Flow Accumulation*, що дозволило виділити межі водозбірних басейнів та розрахувати їх площу.
- карта типів водозборів (Type_coef) – створена на основі індексу округлості (Rc), що характеризує форму басейну та швидкість стоку.

Після цього були визначені коефіцієнти, які кількісно описують різні аспекти деградаційних процесів:

- Soil_coef – коефіцієнт деградації ґрунтів, встановлений за ступенем еродованості агропромислових груп;
- Gran_coef – коефіцієнт гранулометричного складу, що враховує фізичну здатність ґрунту до змиву;
- Chem_coef – коефіцієнт хімічного навантаження, розрахований на основі даних про інтенсивність використання засобів захисту рослин та мінеральних добрив;
- Area_coef – коефіцієнт площі водозбору, де більші площі відповідають вищому потенційному навантаженню;
- Type_coef – коефіцієнт типу водозбору, що враховує морфометричні особливості басейну;
- Rain_coef – коефіцієнт інтенсивності опадів, визначений на основі кліматичних спостережень для даного регіону.

Усі зазначені коефіцієнти було додано до шару ґрунтів шляхом просторового приєднання (Spatial Join), що дозволило кожному полігону ґрунтового покриття отримати повний набір значень чинників ризику. Після об'єднання усіх параметрів у таблиці атрибутів для кожного полігону було обчислено інтегральний показник ризику деградації Ruzuk_coef за формулою:

$$Ruzuk_coef = 0,09 \cdot Area_coef + 0,17 \cdot Type_coef + 0,07 \cdot Gran_coef + 0,20 \cdot Chem_coef + 0,20 \cdot Soil_coef + 0,14 \cdot Rain_coef$$

Отримані значення R_{uzuk_coef} були класифіковані на чотири рівні деградаційного ризику:

- низький ризик (0,00–0,25) – стабільні ділянки з незначним проявом ерозії;
- середній ризик (0,26–0,45) – території з помірним антропогенним навантаженням;
- підвищений ризик (0,46–0,65) – ділянки з наявними проявами змиву ґрунтів і зниженням родючості;
- високий ризик (0,66–1,00) – зони інтенсивної деградації, що потребують першочергових протиерозійних заходів.

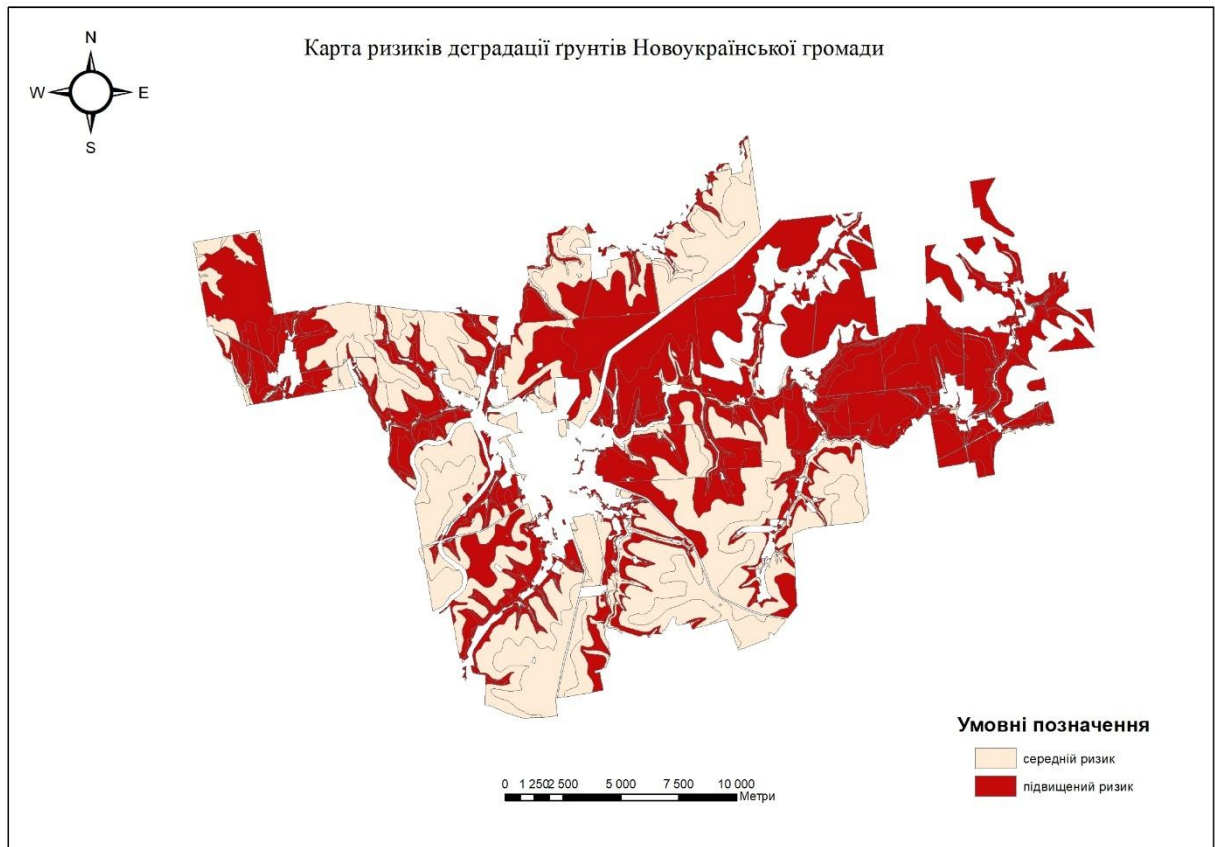


Рис. 3.12. Карта ризиків деградації Новоукраїнської громади.

На карті чітко простежується просторове диференціювання ризиків деградації ґрунтів: осередки підвищеного ризику (червоні тони) зосереджені переважно у центральній та східній частинах громади, а також смугами вздовж

розчленованих схилів і меж полів. Відносно вирівняні ділянки вододілів та заплави переважно представлені середнім рівнем ризику (бежеві тони). Такий розподіл корелює з морфологією рельєфу та інтенсивністю агровикористання: більші ухили і концентрація поверхневого стоку підсилюють ерозійні процеси, тоді як рівніші ділянки залишаються менш уразливими. Отриманий результат підтверджує коректність багатофакторного підходу (інтеграція рельєфно-грунтових і покривних показників) для детальної оцінки ризиків. Карта може слугувати основою для пріоритизації протиерозійних заходів і планування сталого землекористування в межах Новоукраїнської громади.

3.3. Перспективи впровадження ГІС для управління земельними ресурсами в Новоукраїнській громаді

Сучасні виклики у сфері землекористування, зокрема деградація ґрунтів, нераціональне використання орних земель і нестача актуальної просторової інформації, потребують переходу до нових підходів управління земельними ресурсами.

Одним із найефективніших інструментів у цій сфері є геоінформаційні системи (ГІС), які дозволяють комплексно поєднувати дані про природне середовище, землевпорядну документацію, кадастрові відомості та результати моніторингу стану земель.

Для Новоукраїнської громади впровадження ГІС має особливе значення, оскільки громада характеризується значною площею сільськогосподарських угідь, різноманітністю типів ґрунтів і складними рельєфними умовами.

ГІС-технології відкривають можливість створення єдиної інформаційно-аналітичної бази даних земель громади, що включатиме:

- кадастрові межі та форми власності;
- агровиробничі групи ґрунтів і їхні характеристики;
- результати геодезичних зйомок, матеріали дистанційного зондування (UAV, супутникові зображення);
- просторові показники деградації, ерозії та забруднення.

На основі побудованих у розділі 3 моделей ГІС може виконувати функцію моніторингу стану земель – автоматично відстежувати зміни площ орних угідь, фіксувати зниження родючості та виявляти ділянки з підвищеним ризиком деградації.

Завдяки модулю *Spatial Analyst* система здатна формувати аналітичні карти різних рівнів деталізації, порівнювати показники за роками та створювати тематичні звіти для прийняття управлінських рішень.

Впровадження ГІС у практику управління земельними ресурсами громади забезпечує:

1. Підвищення ефективності управління землею. Вся інформація про земельні ділянки буде зосереджена в єдиній базі даних, що спрощує доступ до неї для землевпорядників, агрономів та органів місцевої влади.

2. Прозорість землекористування. Завдяки просторовій візуалізації можна уникнути дублювання ділянок, невідповідностей у кадастрових межах і несанкціонованого використання земель.

3. Обґрунтування управлінських рішень. Моделі ризику деградації дають змогу об'єктивно визначати, які землі потребують рекультивациі або консервації, а які придатні для інтенсивного використання.

4. Моніторинг змін довкілля. Система може бути доповнена показниками вологості, температури, NDVI та іншими даними дистанційного моніторингу для відстеження стану рослинності та продуктивності угідь.

5. Інтеграцію з державними кадастрами. ГІС громади може бути синхронізована з Національною кадастровою системою України, що забезпечить оперативне оновлення інформації та офіційний статус просторових даних.

Створення подібної системи можливе поетапно. На першому етапі варто реалізувати локальний рівень ГІС, який охоплюватиме територію громади, базові шари земельного кадастру, ґрунтові карти та моделі ризиків деградації. Далі, після наповнення бази даних, можливе розширення функціональності – підключення до публічних платформ (*ArcGIS Online, GeoServer, QGIS Cloud*) для забезпечення відкритого доступу до інформації.

Таким чином, перспективи впровадження ГІС у Новоукраїнській громаді полягають не лише в автоматизації обліку земель, а й у формуванні інтелектуальної системи просторового управління, яка сприятиме сталому розвитку території, збереженню ґрунтових ресурсів і підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва.

Впровадження геоінформаційної системи управління земельними ресурсами має не лише технологічне, а й значне еколого-економічне значення для громади.

По-перше, ГІС забезпечує екологічну стабільність території, адже дозволяє своєчасно виявляти деградовані землі, прогнозувати розвиток ерозійних процесів і планувати заходи з їх відновлення. Модель ризиків, розроблена у попередньому розділі, стає основою для складання планів охорони ґрунтів і екологічного зонування території громади. Завдяки просторовому аналізу можна визначити оптимальні межі орних площ, зони природного відновлення, пасовищ і прибережних смуг, що сприяє раціональному використанню земель.

По-друге, впровадження ГІС має економічний ефект, оскільки зменшує втрати сільськогосподарських підприємств від деградації ґрунтів і дозволяє більш точно планувати використання ресурсів. За рахунок оптимізації землекористування, автоматизації обліку та моніторингу можна знизити витрати на обробіток земель, мінімізувати ризики несанкціонованого користування й підвищити податкові надходження громади. Також ГІС відкриває можливості для залучення інвестицій – зокрема через публічний доступ до достовірних просторових даних і демонстрацію прозорості управління територією.

Важливою перевагою системи є підвищення інформаційної культури громади.

Використання сучасних технологій картографування, аналізу та візуалізації даних сприяє формуванню професійної компетентності спеціалістів у сфері землевпорядкування, екології та геоінформатики.

Крім того, ГІС створює платформу для наукових досліджень, освітніх проєктів і практичної співпраці між органами місцевого самоврядування, науковими установами та аграрними підприємствами.

Отже, запропонована геоінформаційна система має подвійний ефект – екологічний та економічний.

Вона забезпечує сталий розвиток громади через збереження природних ресурсів і підвищення ефективності їх використання. Впровадження ГІС стає стратегічним кроком до створення сучасної системи просторового управління, яка відповідає принципам екологічної безпеки, цифрової трансформації та раціонального використання земель.

Висновок

Територія Новоукраїнської громади характеризується високим сільськогосподарським освоєнням, кліматичною посушливістю та значним антропогенним навантаженням. У сукупності ці чинники формують високий потенціал ризику деградаційних процесів, насамперед ерозії, виснаження ґрунтів і зниження їх родючості. Саме тому впровадження геоінформаційних технологій для моніторингу, аналізу та прогнозування таких ризиків є необхідною умовою сталого управління земельними ресурсами громади.

У межах проведеного дослідження було реалізовано комплексну модель аналізу ризиків деградації ґрунтів Новоукраїнської громади із застосуванням інструментів ArcGIS Desktop.

Розроблена модель об'єднала дані про агровиробничі групи ґрунтів, цифрову модель рельєфу (SRTM), показники схилів і коефіцієнти деградації, що дало змогу здійснити просторову оцінку стану земель громади.

Основним результатом стало визначення коефіцієнтів деградації (Soil_coef) та ризику (Risk_coef), які кількісно відображають схильність ґрунтів до ерозійних, дефляційних і засолених процесів.

На основі методу аналітичної ієрархії (АНР) встановлено вагові співвідношення між факторами, де більший вплив мають морфометричні показники рельєфу, що зумовлюють розвиток водної ерозії.

Для інтеграції результатів обчислено індекс деградації (D), який враховує поєднання природних і геоморфологічних умов.

За його значенням усі території громади було класифіковано на чотири класи деградації: високий, середній, низький та стабільний.

Отримані результати засвідчили, що найвищий рівень деградаційного ризику спостерігається у межах еродованих чорноземів (55е, 56е, 66е, 98д), які розташовані на схилах понад 7–15°.

Середній рівень (0,35–0,59) характерний для хвилястих ділянок із ґрунтами 58е, 65е, 67е, тоді як найменші ризики притаманні лучно-болотним і заплавним ґрунтам (133е, 210л, 215, 218).

Таким чином, побудовані карти – деградації ґрунтів, ризиків деградаційних процесів та інтегральної оцінки ризиків деградації – дозволили всебічно охарактеризувати стан земельного фонду громади.

Практичне значення результатів полягає у можливості їх використання для планування заходів з охорони ґрунтів, контролю за станом угідь та розроблення програм раціонального землекористування.

Проведений аналіз деградаційних процесів і побудова моделей ризиків у середовищі ArcGIS показали, що використання геоінформаційних технологій значно підвищує ефективність оцінки стану земельних ресурсів.

Отримані результати дозволяють не лише виявити зони екологічного ризику, але й створюють базу для прийняття управлінських рішень у сфері землеустрою та охорони довкілля.

Таким чином, розроблена модель може бути використана як складова частина сучасної системи управління територіями, орієнтованої на принципи сталого розвитку. Подальші дослідження спрямовано на визначення практичних шляхів впровадження геоінформаційних систем у роботу місцевих органів

влади, аграрних підприємств та землевпорядних структур, що і розглядається у наступному розділі.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі послідовно обґрунтовано, змодельовано та реалізовано геоінформаційне забезпечення аналізу ризиків деградації земель, що поєднує теоретичні засади, формальні моделі та прикладну апробацію на території Новоукраїнської міської територіальної громади Кіровоградської області.

У теоретичному розділі систематизовано природу деградаційних процесів (водна й вітрова ерозія, дегуміфікація, засолення, хімічне навантаження, ущільнення ґрунтів) та обґрунтовано роль ГІС і ДЗЗ як базових інструментів моніторингу, прогнозування та просторової візуалізації.

У методичній частині розроблено й реалізовано комплекс моделей:

- Функціональна UML-діаграма діяльності (Activity diagram) – відображає послідовність етапів збору, аналізу та інтеграції даних.
- Модель факторів ризику – структуровано основні групи природних, антропогенних і господарських показників.
- DFD-діаграма потоків даних – відтворює рух інформації від вихідних джерел (господарство, клімат, тип ґрунтів, урбанізація) до формування тематичної карти ризиків.
- Концептуальна та логічна моделі бази геоданих (БГД) – визначають структуру просторових класів об'єктів і взаємозв'язки між ними.
- Діаграма послідовності (Sequence diagram) – ілюструє взаємодію між користувачем, ГІС-середовищем та сервісами даних під час побудови моделей ризику.

На основі цих моделей реалізовано багатофакторну оцінку ризику деградації земель з використанням методу АНР та системи коефіцієнтів: *Soil_coef*, *Gran_coef*, *Chem_coef*, *Area_coef*, *Type_coef*, *Rain_coef*, а також додаткового показника *C/P_coef* (покрив/захищеність лісосмугами та типами угідь).

Прикладна реалізація у середовищі ArcGIS Pro дала змогу створити серію тематичних карт:

- Карта схилів
 - Карта водозборів і їх типів,
 - Карта ґрунтових і гранулометричних коефіцієнтів,
 - Карта хімічного навантаження,
 - Карта деградації
 - Інтегральна карта ризиків деградації земель,
- які відображають просторову структуру загроз і слугують інструментом для прийняття управлінських рішень.

Результати показали, що просторовий розподіл ризиків визначається переважно морфометрією рельєфу та еродованістю чорноземів, а локальні осередки ризику формуються під впливом інтенсивної структури посівів і хімічного навантаження.

Виявлено також обмеження точності, зумовлені роздільною здатністю SRTM, узагальненістю показника *Rain_coef* та нестачею польових даних щодо властивостей ґрунтів і норм ЗЗР. Надалі їх можна мінімізувати шляхом впровадження UAV/LiDAR-знімання, тайм-серій Sentinel-2 та регулярної польової валідації результатів.

Дослідження довело ефективність ГІС-підходу до інтегральної оцінки ризиків деградації земель і створило практичну основу для сталого просторового управління територією громади. Подальший розвиток автоматизації системи через автоматизацію процедур (ArcPy, ModelBuilder) та розгортання web-ГІС-платформи забезпечить підвищення точності, оперативності та прозорості прийняття рішень у сфері охорони земельних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. КУЗНІЧЕНКО С. Д. , ІВАНОВ Д. А. , КУЗНІЧЕНКО Д. О. Використання моделі і методів геопросторового багатокритеріального аналізу рішень для картування ризику деградації ґрунтів // Вісник Національного технічного університету , 2024, №1(11) , DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2024.01.03>
2. Колмаз Ю.Т.,Ракоїд О.О. ,Проценко Л.Д.,Легка О.В. ОЦІНЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕГРАДАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ ТА ОПУСТЕЛЮВАННЯ: СВІТОВИЙ ТА ВІТЧИЗНЯНИЙ ДОСВІД //Агроекологічний журнал, 2015, 1, DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2015.272145>
3. ЛІЩУК А.М. , ПАРФЕНІЮК А.І. , ГОРОДИСЬКА І.М. , БОРОДАЙ В.В. , ДРАГА М.В. Основні важелі управління екологічними ризиками в агроценозах // Агроекологічний журнал , 2022 , 2 , DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263320>
4. Godert W.J. van Lynden , The role of GIS and remote sensing in land degradation assessment and conservation mapping: some user experiences and expectations // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2001 , 1 , Vol 3 , Pages 61-68 , DOI : [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(01\)85022-4](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(01)85022-4)
5. Sergey A. Stankevich, Nikolay N. Kharytonov, Tamara V. Dudar та Anna A. Kozlova , Risk Assessment of Land Degradation Using Satellite Imagery and Geospatial Modelling in Ukraine // Book Land Degradation and Desertification: A Global Crisis, 2016 , Chapter 3, DOI: 10.5772/62403
6. M. Leh, S. Bajwa, I. Chaubey , IMPACT OF LAND USE CHANGE ON EROSION RISK: AN INTEGRATED REMOTE SENSING, GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND MODELING METHODOLOGY // Land Degradation & Development 2016, Volume 24, Issue 5 , DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.1137>
7. B.J. Fu, W.W. Zhao, L.D. Chen, Q.J. Zhang, Y.H. Lü, H. Gulinck, J. Poesen , Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study

in the Loess Plateau of China // *Land Degradation & Development* 2005, Volume 16, Issue 1 , DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.646>

8. Joachim Hill, Jacques Mégier & Wolfgang Mehl , Land degradation, soil erosion and desertification monitoring in Mediterranean ecosystems // *Remote Sensing Reviews* , 1995 , Volume 12, Issue 1-2 , DOI: <https://doi.org/10.1080/02757259509532278>

9. José-Miguel de Paz, Juan Sánchez, Fernando Visconti , Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region // *Journal of Environmental Management* , 2006 , Volume 79, Issue 2, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.06.002>

10. Md. Rejaur Rahman , Z.H. Shi , Cai Chongfa , Soil erosion hazard evaluation—An integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies // *Ecological Modelling* , 2009, Volume 220, Issues 13–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.004>

11. Nazzareno Diodato , Michele Ceccarelli , Multivariate indicator Kriging approach using a GIS to classify soil degradation for Mediterranean agricultural lands // *Ecological Indicators* , 2004 , Volume 4, Issue 3 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2004.03.002>

12. M. Leh, S. Bajwa, I. Chaubey , IMPACT OF LAND USE CHANGE ON EROSION RISK: AN INTEGRATED REMOTE SENSING, GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND MODELING METHODOLOGY // *Land Degradation & Development* , 2011, Volume 24 , Issue 5 , DOI : <https://doi.org/10.1002/ldr.1137>

13. D.Lu, G.Li, G.S.Valladares, M.Batistella , Mapping soil erosion risk in Rondônia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS // *Land Degradation & Development* , 2004 , Volume 15, Issue 5 DOI : <https://doi.org/10.1002/ldr.634>

14. Y.Zhang, J.Degroote, C.Wolter, R.Sugumaran , Integration of modified universal soil loss equation (MUSLE) into a gis framework to assess soil erosion risk

// Land Degradation & Development , 2009, Volume 20 , Issue 1 ,
DOI:<https://doi.org/10.1002/ldr.893>

15. Бурлака Н.І. , Панько В.В. , ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ДЕГРАДАЦІЇ
ГРУНТУ ТА ІННОВАЦІЙНІ ШЛЯХИ ЇЇ ПОДОЛАННЯ // Агросвіт. 2020. № 7. С.
80–86. DOI: 10.32702/2306-6792.2020.7.80

16. Переверзєва А. В., Волков В. П., Лях В. О. Вплив деградації ґрунтів на
продовольчу безпеку // Агросвіт. 2020. № 19-20. С. 10–15. DOI: [10.32702/2306-
6792.2020.19-20.10](https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.19-20.10)

17. Emmanuely Z. Nungula, Jayne Mugwe, Jamal Nasar, Boniface H. J.
Massawe, Anne N. Karuma, Sagar Maitra , Mahmoud F. Seleiman, Turgay
Dindaroglu, Naeem Khan & Harun I. Gitari // Land degradation unmasked as the key
constraint in sunflower (*Helianthus annuus*) production: Role of GIS in revitalizing this
vital sector , 2023, Volume 9 , Issue 2 , DOI :
<https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2267863>

18. Land Degradation and Desertification: a Global Crisis - Google книги

19. Godert W.J. van Lynden, Stephan Mantel // The role of GIS and remote
sensing in land degradation assessment and conservation mapping , 2001 , Volume 3,
Issue 1 , DOI : [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(01\)85022-4](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(01)85022-4)

20. Arnous, M. O., El-Rayes, A., & Helmy, A. (2017). Land-use/land-cover
change: a key to understanding land degradation and relating environmental impacts
in Northwestern Sinai, Egypt. *Environmental Earth Sciences*, 76(7), Article 296. DOI:
10.1007/s12665-017-6623-2.

21. Luis A. Bojórquez-Tapia , Gustavo M. Cruz-Bello , Laura Luna-González
// Connotative land degradation mapping: A knowledge-based approach to land
degradation assessment , 2013, Volume 40 , DOI :
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.07.009>

22. Geoinformatics Approaches to Climate Change-Induced Soil Degradation in
the MENA Region: A Review | SpringerLink

23. Xie, H., Zhang, Y., Wu, Z., & Lv, T. (2020). A Bibliometric Analysis on Land Degradation: Current Status, Development, and Future Directions. *Land*, 9(1), Article 28. DOI : <https://doi.org/10.3390/land9010028>.

24. Vorovencii, I. (2016). Assessing and monitoring the risk of land degradation in Baragan Plain, Romania, using spectral mixture analysis and Landsat imagery. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(7), Article 439. DOI: 10.1007/s10661-016-5452-9.

25. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region – ScienceDirect Volume 79, Issue 2, April 2006, Pages 150-162 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.06.002>

26. Hydrosalinity and environmental land degradation assessment of the East Nile Delta region, Egypt | Journal of Coastal Conservation

27. Md. Rejaur Rahman , Z.H. Shi , Cai Chongfa // Soil erosion hazard evaluation—An integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies – ScienceDirect // Volume 220, Issues 13–14, 17 July 2009, Pages 1724-1734 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.004>

28. Land Degradation & Development | Environmental & Soil Science Journal | Wiley Online Journal

29. Ganasri, B. P., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS – A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953–961. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>

30. Mark Mulligan // Computational Policy Support Systems for Understanding Land Degradation Effects on Water and Food Security for and from Africa – ScienceDirect // Land Restoration Reclaiming Landscapes for a Sustainable Future 2016, Pages 211-233 , DOI : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801231-4.00003-3>

31. В. Ж. Науменко. Сучасні тенденції вивчення деградації земель 2019. Вип. 1. С. 12. (*Vzhnau_2019_1_12.pdf*)

32. П. І. Молчанов. Вплив антропогенних факторів на деградацію ґрунтів *Проблеми екології*. 2015. Т. 11. № 1. С. 15. (*molv_2015_11(1)_15.pdf*)
33. О. М. Савченко. Класифікація процесів деградації земельних угідь (*Агроекологічний журнал*)
34. І. В. Левченко. Деградація ґрунтів як глобальна екологічна проблема 2017. Вип. 51. С. 9 (*VLNU_Geograf_2017_51_9.pdf*)
35. Ю. О. Зайченко. Сутність терміну «деградація» у сучасному землекористуванні 2016. № 4. С. 30. (*Zp_2016_4_30.pdf*)
36. О. Г. Гіндес. Глобальні ризики деградації навколишнього природного середовища (*ecde_2011_7_33.pdf*)
37. Н. С. Коваленко. Вплив деградації ґрунтів на продовольчу безпеку (*Агросвіт, 2020, № 19-20*)
38. О. М. Бурлака. Екологічні наслідки деградації ґрунтів та інноваційні шляхи її подолання (*Агросвіт, 2020, №7*)
39. Emmanuely Z. Nungula, Jayne Mugwe, Jamal Nasar та ін. Land degradation unmasked as the key constraint in sunflower production: Role of GIS in revitalizing this vital sector (*Cogent Food & Agriculture, 2023, Vol. 9, Issue 2*) DOI: 10.1080/23311932.2023.2267863
40. D. Lu, G. Li, G. S. Valladares, M. Batistella. Mapping soil erosion risk in Rondônia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS (*Land Degradation & Development, 2004, Vol. 15, Issue 5*) DOI:[10.1002/ldr.634](https://doi.org/10.1002/ldr.634)
41. Y. Zhang, J. Degroote, C. Wolter, R. Sugumaran. Integration of modified universal soil loss equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk (*Land Degradation & Development, 2009, Vol. 20, Issue 1*) DOI: 10.1002/ldr.893