

Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ «Інститут геології»  
Кафедра геоінформатики

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**  
**спеціальність 193 – Геодезія та землеустрій**  
**освітня програма «Оцінка землі та нерухомого майна»**

**ТЕМА: «Дослідження якісних та кількісних параметрів земельних угідь для  
забезпечення земельно-оціночних робіт засобами ГІС та ДЗЗ»**

Виконала:

студентка 2-го курсу магістратури  
кафедри геоінформатики

Науковий керівник:

Безгодкова Юлія Валентинівна  
доктор сільськогосподарських  
наук, доцент, професор кафедри  
геоінформатики  
Трофименко Петро Іванович

Робота рекомендується до захисту

(протокол № 8 засідання кафедри геоінформатики від 15.05.2023)

Завідувач кафедри

доктор технічних наук, професор  
Зацерковний Віталій Іванович

Київ - 2023

## **РЕФЕРАТ**

магістерської кваліфікаційної роботи

Безгодкової Юлії Валентинівни

на тему: «Дослідження якісних та кількісних параметрів земельних угідь для забезпечення земельно-оціночних робіт засобами ГІС та ДЗЗ»

Спеціальність **193 Геодезія та землеустрій**

Робота на 86 аркуша складається з 4 розділів і містить 8 таблиць, 44 рисунка, 1 додаток. При підготовці роботи використовувалися матеріали з 49 джерел.

### **Актуальність**

Дані про якісний та кількісний стан земельних угідь є надзвичайно важливими при виконанні земельно-оціночних робіт. В першу чергу актуальна інформація необхідна при розрахунку нормативно-грошової оцінки, що впливає на величину земельного податку, адже саме плата за землю є головним інструментом для збагачення державного та місцевих бюджетів, що в подальшому розподіляються на потреби держави, територіальних громад, землевласників та землекористувачів. Тому, зокрема, від правильності, достовірності та актуальності результатів нормативної грошової оцінки залежить добробут нашої країни.

Крім того, в результаті децентралізації сформувалися нові територіальні громади, це означає, що громади потребують оновлення інформації та формування її в межах вже ОТГ. Для цього необхідно провести актуалізацію картографічних та статистичних даних. Саме через це в даній роботі в якості території дослідження було обрано Дмитрівську територіальну громаду, Бучанського району, що була сформована в 2021 році.

### **Мета роботи**

Дослідження якісних та кількісних характеристик земельного фонду Дмитрівської ОТГ з використанням ГІС та ДЗЗ для забезпечення інформаційною базою земельно-оціночні роботи.

### **Розв'язувані в роботі задачі:**

- проведено аналіз літературних джерел в області земельно-оціночних робіт та визначено ряд існуючих прогалин щодо ступеня та якості наповнення даними;

- з використанням об'єктно-орієнтованого аналізу (OBIA) виконано сегментацію об'єктів знімку ДЗЗ з метою виділення меж земельних угідь для подальшої їх класифікації;

- проведено класифікацію земельних угідь в межах території дослідження з використанням модуля (SCP); здійснено оцінку точності розробленої класифікації; на основі результатів класифікації кількісно оцінено структуру земельного фонду, а також проведено аналіз його змін з 2016 по 2022 роки.

- оцінено якісний стан земельних угідь з використанням моделі RUSLE для ідентифікації водно-ерозійних процесів в межах території дослідження; підраховано площі ерозійно небезпечних земель.

### **Основний зміст**

Кваліфікаційна робота складається з 4 розділів: у першому розділі розглядаються всі аспекти пов'язані з проведенням земельно-оціночних робіт в Україні, визначаються прогалини та недоліки на основі робіт науковців у даній сфері, в другому розділі описуються напрямки застосування ГІС та ДЗЗ в земельно-оціночній сфері, третій розділ складається з опису методів ГІС для оцінки земель, в четвертому розділі проводиться якісна та кількісна оцінка земель в межах Дмитрівської територіальної громади, Бучанського району, Київської області засобами ГІС та ДЗЗ, робляться висновки.

### **Наукові результати**

- В результаті дослідження визначено, що землі забудови в межах Дмитрівської ОТГ, їх відсоткове співвідношення до загальної кількості земель,

- становить 35%, землі сільськогосподарського призначення 33,3%, ліси - 29,5%, водні об'єкти - 2,1%. Оцінка точності становить 77,8%. Також було порівняно виконані класифікації знімків за 2016 та за 2022 роки, в ході чого було виявлено певні кількісні зміни у структурі земель, а саме зросла кількість забудованих територій на 1,3 % за 6 років в більшій мірі за рахунок земель сільськогосподарського призначення та земель лісового фонду. За допомогою матриці помилок оцінено точність класифікації, що становить 77,76%;

- виявлено, що найвищі показники ерозійної небезпеки в межах Дмитрівської ОТГ зосереджені на землях сільськогосподарського призначення зі схилом більше 3 градусів на території сіл: Бузова, Горбовичі, Шпитьки та Дмитрівка. Для 74,4% земель (95 км<sup>2</sup>) характерний нормальний або незначний тип ерозії. На 15,6 % земель переважає помірний тип ерозії. 6,8% займають землі з сильною ерозією та 3,2 % з дуже сильною. Усереднений показник втррати ґрунту 0,211 т/га/рік.

### **Наукова новизна**

Вперше проведено якісну та кількісну оцінку земель в межах Дмитрівської ОТГ засобами ГІС та ДЗЗ.

### **Практичне значення**

Результати дослідження можна буде використовувати при земельно-оціночних роботах, а саме для врахування локальних факторів при розрахунку НГО, при бонітуванні ґрунтів з урахуванням їх ерозійності, для ідентифікації виду та складу земельних угідь з метою накопичення та оновлення статистичних даних у розрізі земельного фонду громади. Крім того запропоновані алгоритми та методи можна буде застосовувати в процесах: планування ведення сільського господарства, розробці заходів захисту ґрунтів, ведення землеустрою, встановлення сівозмін, реалізації принципу раціонального використання та охорони земель тощо.

## **Анотація**

В даній роботі було проведено кількісну та якісну оцінку земельного фонду Дмитрівської територіальної громади, Бучанського району, Київської області. За допомогою модулів з відкритим кодом SCP та OBIA завантаженим в середовище QGIS було проведено сегментацію та класифікацію земельних угідь на знімках ДЗЗ. В ході чого визначено, що землі забудови в межах Дмитрівської ОТГ, їх відсоткове співвідношення до загальної кількості земель, становить 35%, землі сільськогосподарського призначення 33,3%, ліси - 29,5%, водні об'єкти - 2,1%. Оцінка точності становить 77,8%. Використовуючи модель RUSLE для оцінки потенційно водно-ерозійних процесів було встановлено, що найвищі показники ерозійної небезпеки в межах Дмитрівської ОТГ зосереджені на землях сільськогосподарського призначення зі схилом більше 3 градусів на території сіл: Бузова, Горбовичі, Шпитьки та Дмитрівка. Для 74,4% земель (95 км<sup>2</sup>) характерний нормальний або незначний тип ерозії. На 15,6 % земель переважає помірний тип ерозії. 6,8% займають землі з сильною ерозією та 3,2 % з дуже сильною. Усереднений показник втррати ґрунту 0,211 т/га/рік.

**Ключові слова:** ГІС, ДЗЗ, OBIA, SCP, RUSLE, земельно-оціночні роботи.

Bezghodkova Yuliia Valentinovna

Research of qualitative and quantitative parameters of land for land evaluation using GIS and remote sensing.

## **Abstract**

Quantitative and qualitative assessment of the lands of the Dmitrivska Territorial Community, Buchansky District, Kyiv Region was carried out. With the help of SCP and OBIA open source modules loaded in QGIS, segmentation and classification of land areas on remote sensing images was carried out.

**Key words:** GIS, remote sensing, OBIA, SCP, RUSLE, land assessment, erosion model.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень.....	3
Вступ.....	4
1. Сучасний стан земельно-оціночних робіт та інтеграція в них ГІС та ДЗЗ.....	8
1.1. Проблематика нормативної грошової оцінки в Україні. Аналіз літературних джерел.....	9
1.1.1. Нормативна грошова оцінка у період воєнних дій.....	11
1.1.2. Залучення ГІС та ДЗЗ в процес оцінки земель.....	12
2. Застосування ГІС та ДЗЗ для цілей пов'язаних з веденням земельного кадастру.....	15
2.1. Застосування ГІС в ДЗК.....	15
2.2. Застосування ДЗЗ для визначення деяких показників нормативної грошової оцінки.....	17
2.3. ГІС та ДЗЗ у задачах моніторингу.....	20
3. Методи ГІС для дослідження якісних та кількісних параметрів земельних угідь.....	22
3.1. Дослідження кількісних параметрів. Визначення меж та виду угідь за допомогою ГІС та ДЗЗ.....	22
3.1.1. Об'єктно-орієнтований аналіз (ОВІА) в ГІС.....	24
3.1.3. Оцінка точності класифікації.....	26
3.2. Дослідження ерозійної небезпеки ґрунтів за допомогою ГІС та ДЗЗ.....	29
3.2.1. Оцінка ерозії ґрунту за моделлю RUSLE.....	33
3.2.2. Кліматичний фактор R.....	36
3.2.3. Топографічний фактор LS.....	37
3.2.4. Ґрунтовий фактор K.....	39

3.2.5. Фактори, що залежать від освоєння ґрунтів С та Р.....	40
4. Якісна та кількісна оцінка земельних угідь в межах Дмитрівської ОТГ методами ГІС та ДЗЗ.....	43
4.1. Характеристика території дослідження.....	43
4.2. Встановлення меж та виду угідь Дмитрівської ОТГ.....	44
4.2.1. Сегментація зображення.....	45
4.2.2. Класифікація об'єктів зображення.....	48
4.3. Якісна оцінка земель. Побудова моделі RUSLE.....	59
Висновки.....	77
Список використаних джерел.....	79
Додатки.....	85
Додаток А.....	86

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ

AGNPS	AGricultural Non-Point Source
ARVI	Atmospherically Resistant Vegetation Index
ATSAVI	Adjusted Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
LST	Land Surface Temperature
NDVI	Normalized difference vegetation index
OBIA	Object-based Image Analysis
NDWI	Normalized Difference Water Index
OSAVI	Optimized Soil Adjusted Vegetation Index
SAVI	Soil-adjusted vegetation index
SCP	Semi-Automatic Classification Plugin
TGI	Triangular Greenness Index
WEPP	Water Erosion Prediction Project
БД	База даних
БПЛА	Безпілотний літальний апарат
га	гектар
ГІС	Геоінформаційна система
ДЗЗ	Дистанційне зондування Землі
ДЗК	Державний земельний кадастр
ЗКУ	Земельний Кодекс України
км	кілометр
м	метр
мм	міліметр
НГО	Нормативна грошова оцінка
ОТГ	Об'єднана територіальна громада
ІПД	Інфраструктура просторових даних
т	тонна
ЦМР	Цифрова модель рельєфу
шт.	штука

## ВСТУП

Актуальні та достовірні дані про якісний та кількісний стан угідь є важливими при сільськогосподарському плануванні, встановленні сівозмін, моніторингу якісного та кількісного складу, для раціонального використання та охорони земель, а також у розрізі НГО, що впливає на розмір земельних податкових платежів.

Будь-яка земельна ділянка має чітко визначені межі, певне просторове місцеположення, а також права, якими наділяється її власник або користувач. Тому геопросторова інформація про неї є центральною та фундаментальною при проведенні землевпорядних робіт та здійсненні будь-якого управління земельними ресурсами. Геопросторова інформація в цьому випадку існує у виді меж та координат поворотних точок, що вимірюються в ході вишукувальних робіт на місцевості. В ідеалі, коли дані, що містяться в ДЗК та документації із землеустрою співпадають з дійсними даними на місцевості, однак на практиці цього може не відбуватися. Це може виникати через втрату актуальності картографічних та інших описових матеріалів, або якщо дані про земельну ділянку внесено до реєстру з помилками.

Якісна оцінка земельних угідь, зокрема характеристика їх природного стану, а саме: вміст гумусу, фізико-хімічна характеристика, підтопленість, заболоченість, еродованість, крутизна схилів тощо, визначають ефективність використання таких земель для відповідних цілей. Наприклад, наявність ерозійних процесів напряду впливає на урожайність, що в свою чергу формує капіталізований рентний дохід від використання таких земель. Саме тому якісна оцінка земель повинна бути врахована при всіх видах оцінки: в ході розрахунку нормативної грошової оцінки: як елемент локальних факторів, так і в експертній при застосуванні порівняльного підходу. Крім того, еродованість ґрунтів впливає на родючість, що виражається в балах бонітету,

врахування яких є невід'ємною частиною розрахунку НГО земель сільськогосподарського призначення.

Розвиток ГІС та прогрес у дистанційному зондуванні і фотограмметрії автоматизує та заощадить час вимірювань, знизить витрати, а висока роздільна здатність зображення та покращена деталізація вибірки дасть змогу проводити всебічний аналіз, що покращить якість управління земельними ресурсами (*Bennett, Oosterom, Lemmen, Koeva, 2020*). Це дає державним органам, фінансовим установам та іншим зацікавленим сторонам можливість приймати рішення на основі більш точної інформації, що сприяє підвищенню продуктивності, ефективності та прибутковості.

*Актуальність роботи.* Дані про якісний та кількісний стан земельних угідь є надзвичайно важливими при виконанні земельно-оціночних робіт. В першу чергу актуальна інформація необхідна при розрахунку нормативно-грошової оцінки, що впливає на величину земельного податку, адже саме плата за землю є головним інструментом для збагачення державного та місцевих бюджетів, що в подальшому розподіляються на потреби держави, територіальних громад, землевласників та землекористувачів. Тому, зокрема, від правильності, достовірності та актуальності результатів нормативної грошової оцінки залежить добробут нашої країни.

Крім того, в результаті децентралізації сформувалися нові територіальні громади, це означає, що громади потребують оновлення інформації та формування її в межах вже ОТГ. Для цього необхідно провести актуалізацію картографічних та статистичних даних. Саме через це в даній роботі в якості території дослідження було обрано Дмитрівську територіальну громаду, Бучанського району, що була сформована в 2021 році.

*Мета:* дослідження якісних та кількісних характеристик земельного фонду Дмитрівської ОТГ з використанням ГІС та ДЗЗ для забезпечення інформаційною базою земельно-оціночні роботи.

*Об'єкт дослідження:* якісні та кількісні параметри земельних угідь в межах Дмитрівської ОТГ, Бучанського району, Київської області.

*Предмет дослідження:* методологія визначення якісних та кількісних характеристик земельних угідь засобами ГІС та ДЗЗ.

В ході роботи було застосовано такі *методи*:

1. Об'єктно-орієнтований аналіз (OBIA) для розпізнавання, вибору та виділення фрагментів земельних угідь з космоснімків.

2. Контрольована класифікація (SCP), що задіяна з метою ідентифікації виду угідь.

3. Модель RUSLE для оцінки водо-ерозійної небезпеки земельних угідь.

*Матеріали дослідження:*

1. Знімки ДЗЗ на територію дослідження за різні періоди (2016-2022);

2. Генеральний план села Бузова в масштабі 1:5000 (ДОДАТОК А);

3. Дані зі світової растрової карти інтенсивності (ерозійності) опадів, розробленої Європейським центром ґрунтових даних [Електронний ресурс].

– Режим доступу: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-rainfall-erosivity>;

4. Дані з растрової світової ґрунтової карти, що розроблена Міжнародним інститутом прикладного системного аналізу, а також пов'язана з нею атрибутивна база даних [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://iiasa.ac.at/models-tools-data/hwsd>.

*Завдання:*

- провести аналіз літературних джерел в області земельно-оціночних робіт та визначити ряд існуючих прогалин щодо ступеня та якості наповнення даними;
- з використанням об'єктно-орієнтованого аналізу (OBIA) виконати сегментацію об'єктів знімку ДЗЗ з метою виділення меж земельних угідь для подальшої їх класифікації;

- провести класифікацію земельних угідь в межах території дослідження з використанням модуля (SCP); здійснити оцінку точності розробленої класифікації; на основі результатів класифікації кількісно оцінити структуру земельного фонду, а також провести моніторинг його змін з 2016 по 2022 роки.
- оцінити якісний стан земельних угідь з використанням моделі RUSLE для ідентифікації водно-ерозійних процесів в межах території дослідження; підрахувати площі ерозійно небезпечних земель.

Результати дослідження можна буде використовувати при земельно-оціночних роботах, а саме для врахування локальних факторів при розрахунку НГО, при бонітуванні ґрунтів з урахуванням їх ерозійності, для ідентифікації виду та складу земельних угідь з метою накопичення та оновлення статистичних даних у розрізі земельного фонду громади. Крім того запропоновані алгоритми та методи можна буде застосовувати в процесах: планування ведення сільського господарства, розробці заходів захисту ґрунтів, ведення землеустрою, встановлення сівозмін, реалізації принципу раціонального використання та охорони земель тощо.

Кваліфікаційна робота складається з 4 розділів: у першому розділі розглядаються питання пов'язані з проведенням земельно-оціночних робіт в Україні, визначаються недоліки в нормативно-правовій базі та застарілість вихідних даних, проводиться аналіз літературних джерел, в другому розділі описуються напрямки застосування ГІС та ДЗЗ в земельно-оціночній сфері, в третьому розділі міститься опис методів ГІС для оцінки земель, в заключному четвертому розділі проводиться якісна та кількісна оцінка земель в межах Дмитрівської територіальної громади, Бучанського району, Київської області засобами ГІС та ДЗЗ, робляться висновки.

## 1. СУЧАСНИЙ СТАН ЗЕМЕЛЬНО-ОЦІНОЧНИХ РОБІТ ТА ІНТЕГРАЦІЯ В НИХ ГІС ТА ДЗЗ

До листопада 2021 для НГО земель населених пунктів розробники документації із землеустрою керувалися трьома окремими методиками. Але, оскільки в процесі децентралізації окремі села та селища почали об'єднувати в територіальні громади, потреба в розробці технічної документації для кожного окремого населеного пункту відпала і на зміну прийшла єдина методика на територію всієї об'єднаної територіальної громади [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/11/23/680019/>.

Формально на законодавчому рівні вже відбувся перехід від старої методики НГО до нової, але фактично 2022-2023 роки є роками перебудови, оскільки процес формування нової документації та трансформації баз даних, є досить довготривалими та потребує чималого кошторису за рахунок бюджетів ОТГ.

На жаль, в реаліях сьогодення, велика кількість земель в межах території України не може використовуватися за цільовим призначенням через мінування, засмічення уламками, забруднення ґрунтів тощо (Трофименко, Забалуєв, Безгодкова, Трофименко, Степаненко, Могилко, 2023), тому з'явилася потреба у визначенні розміру шкоди, завданої земельним ділянкам внаслідок бойових дій під час дії воєнного стану, що регламентується «Методикою визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану, затвердженої наказом Міндовкілля від 04.04.2022 № 167», за якою розмір збитків розраховується з урахуванням вартості земельної ділянки, що визначається нормативною грошовою оцінкою (Методика «Визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок

надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану», 2022). Саме тому, навіть під час воєнних дій, актуальні, коректні та достовірні дані НГО є вкрай важливими, для захисту прав власників та користувачів земельних ділянок.

### **1.1. Проблематика нормативної грошової оцінки в Україні. Аналіз літературних джерел**

До моменту прийняття нової методики проведення нормативної грошової оцінки велика кількість науковців у своїх працях репрезентували недоліки існуючої методики, а також прогалини в законодавчих актах у сфері оцінки та необхідність уніфікації трьох існуючих методик НГО в одну. Проблематика методичних підходів НГО земель завжди було дискусійним питанням, адже нормативно-правове регулювання оцінки земель постійно повинно модифікуватися відповідно до соціально-економічних потреб суспільства і держави.

Аналізом методичного та нормативно-правового забезпечення проведення нормативно грошової оцінки займалися такі науковці: Борденюк О. В. у розрізі правових аспектів здійснення НГО (*Борденюк, 2022*), Жакун В. М. щодо питань необхідності розробки нових методичних підходів до оцінки земель (*Жакун, 2021*), Круглик О.І. та Міщенко Р.А. визначали проблематику діючої методики НГО (*Круглик та Міщенко, 2022*) та інші.

Круглик О. І. та Міщенко Р. А. у своїй роботі висвітлювали, що в результаті існування окремо трьох методик до оцінки земель на практиці виникало багато проблем. Ключовим недоліком стало те, що на велику кількість земель несільськогосподарського призначення за межами населених пунктів не проводилась НГО у відсотковому співвідношенні кількість таких земель більше ніж 70%. А це означає, що до державного та

місцевих бюджетів надходить майже в 3 рази менше коштів, ніж повинно бути. Це обумовлено тим, що на землі на яких не було проведено НГО земельний податок стягується у розмірі не більше 5% від НГО ріллі в області. Проте, після переходу до нової методики ситуація повинна докорінно змінитися, адже кожній категорії земель присвоюються відповідні коефіцієнти, незалежно від місця розташування земельної ділянки і без прив'язки до НГО ріллі (*Круглик та Міщенко, 2022*). Адже логічно, що податок на землі, наприклад транспорту, буде значно відрізнятися від податку на землі сільськогосподарського призначення.

Крім того, нерідко в літературі зазначалося, що при застосуванні старої методики виникала потреба в розробці окремо 3 технічних документацій, що викликало надмірні видатки місцевих бюджетів, оскільки законодавством встановлено вимогу поновлювати дані НГО кожних 5-7 років. Тому очевидно, що нова методика з точки зору економії бюджету є набагато вигіднішою для територіальних громад.

Не дивлячись на всі очевидні плюси нової методики науковці визначають низку недоліків. Так Третяк А. М, Третяк В. М., Вольська А. О. відмічають про необхідність врахування характерних функцій земель. Мається на увазі, що земельні ділянки одного цільового призначення можуть відноситись до різних підтипів землекористування. Наприклад, землі сільськогосподарського призначення можуть бути віднесені до польового та сінокосо-пасовищного підтипів і відповідно такі земельні ділянки будуть приносити різний дохід, тому і податок, що визначається з НГО, має бути відповідно різним. По-друге в новій методиці не було виконано перерахунок капіталізованого рентного доходу, замість цього пропонується брати до розрахунків вже існуючі дані, які було виконано за застарілими методиками. Тому, авторами пропонується здійснити коригування даних показників в новій редакції (*Третяк А., Третяк В., Вольська, 2022*).

### 1.1.1. Нормативна грошова оцінка у період воєнних дій

На сьогодні територію України можна умовно розділити на декілька зон – зона, де ведуться активні бойові дії, це землі, де відбувається оборона територій, боротьба з гуманітарною кризою, евакуація населення тощо. Друга зона – зона високого ризику, де відбувається релокація підприємств, евакуація, утримання економічної активності, тобто території, де головною задачею є забезпечення надійного тилу. І третя зона – це умовно безпечна зона, тут стовідсотково повинна працювати вся економіка для того, щоб виробляти продовольство, сплачувати податки, забезпечувати населення робочими місцями (*Вішка, 2022*). Тому зараз все нове законодавство спрямоване на активізацію та стимулювання роботи сільського господарства та всього агропромислового комплексу на всіх територіях де це є можливим та безпечним. На жаль, у теперішніх умовах всі кадастрові системи: реєстр речових прав на нерухоме майно, а також державний земельний кадастр закриті, що унеможлиблює видачу витягів з нормативно-грошової оцінки земель.

Тому в період фінансової нестабільності, як слушно зауважила Колотуха С. М. та Мельник К. М., земельні питання, що пов'язані з функціонуванням ринком землі, земельного оподаткування, земельної ренти як ніколи є актуальними, адже саме ці напрямки є гарантом підтримки економіки країни. Сільськогосподарська галузь, на даному етапі, є мабуть найбільш критично важливою для підтримки вітчизняної продовольчої безпеки, тому істотним питанням є розробка показників економічного стимулювання розвитку сільськогосподарського виробництва, що базується на показниках нормативно грошової оцінки, тому як саме аграрна галузь зможе покрити у короткостроковій перспективі фінансову кризу та забезпечити ріст економіки у післявоєнний період. Авторами статті наголошується, що умовою відтворення фінансових ресурсів є стабільне існування фінансової бази, що

забезпечується наявністю методів та систем регулювання стимулювання та заохочення виробничо-економічної діяльності у сфері сільського господарства (*Колотуха та Мельник, 2022*). Відповідно до вище наведеного викладу, стає очевидним, що наявність актуальних, достовірних та точних даних НГО є стратегічно важливим фактором для розвитку та підтримки економіки, особливо у воєнний та післявоєнні часи.

Також варто зауважити на питаннях відшкодування збитків завданих внаслідок воєнних дій на території України, оскільки основою для їх розрахунку є дані нормативно грошової оцінки земель. Це питання досліджували Чурилова Т.М. та Вергелес О.А. у своїх наукових роботах. Через мінування та засмічення уламками полів, загорання сухостоїв, забруднення ґрунтів викидами токсичних речовин та інших негативних явищ, спричинених воєнними діями на території України, агропромисловий комплекс зазнав значних втрат (*Чурилова, 2022*). На сьогодні вже є чітко регламентовані методи розрахунку збитків, але вони потребують певних корегувань. Як зауважує Вергелес О. А. головна проблема полягає у фіксуванні шкоди, особливо на тимчасово окупованих територіях (*Вергелес, 2022*). На думку дослідників вже зараз (станом на вересень 2022 року) більше ніж 5 млн. га сільськогосподарських угідь залишаються замінованими, на великий жаль, розв'язання задач розмінування полів є довготривалим та високовартісним. Проте вже зараз повинна створюватися точна база даних НГО для подальших розрахунків компенсації збитків землевласникам та землекористувачам.

### **1.1.2. Залучення ГІС та ДЗЗ в процес оцінки земель**

Безсумнівно, що для вирішення всіх вище зазначених питань землевпорядникам, суб'єктам оціночної діяльності, розробникам документації із землеустрою необхідно застосовувати геоінформаційні

технології. Про необхідність інтегрування ГІС в процедуру проведення НГО писали багато дослідників. Науковці зазначали, що тільки з використанням ГІС інструментарію можливо достовірно виконувати завдання з геопросторовим аналізом, що без сумніву є дуже важливим при роботі з просторовими даними. А також створювати гнучкі бази растрових та векторних даних, виконувати автоматичні розрахунки, моделювати процеси, явища тощо. Очевидними перевагами інтеграції ГІС є:

- заощадження часу та коштів. Швидке коригування та актуалізація вже існуючих в БД даних, що є особливо важливим при переході до нової методики;
- використання засобів штучного інтелекту для полегшення та удосконалення точності результатів;
- візуалізація, інтерактивність даних;
- можливість створення запитів тощо.

Маючи дані про земельні ділянки, що містяться в атрибутивній базі даних можна за допомогою ГІС створювати тематичні картосхеми (картосхеми вартості земельних ділянок, типу власності, цільового призначення) *(Трофименко, Безгодкова, Трофименко, Зацерковний, 2021)*.

Важливо зауважити, що з прийняттям нової методики у розробників технічної документації виникає необхідність у розробці плану зонування всієї території територіальної громади. Цей процес фактично є найбільш складним та потребує найбільше часу. Вочевидь, що застосування ГІС значно полегшить виконання таких робіт.

Лященко А. А. у своїх наукових роботах визначав потребу в застосуванні ГІС у розрізі моделювання дій локальних чинників на вартість земельних ділянок. Автором наголошувалось на важливості здійснення просторового аналізу оцінюваної території, зокрема із залученням аналітичного апарату ГІС – сіткової моделі та оверлейних операцій *(Лященко, Кравченко, Горковчук,*

2014). На мій погляд, виклад даного автора є надзвичайно важливим, адже методології застосування ГІС для НГО розглядалися багатьма науковцями, але завжди нівелювалося питання, що пов'язано з врахуванням часток площі земельних ділянок, на які діють різні локальні чинники. На практиці нерідко зустрічаються випадки коли лише частина земельної ділянки має певні обмеження, наприклад знаходиться в межах водоохоронної зон. При автоматизованому розрахунку НГО в середовищі ГІС діє алгоритм, що якщо хоча б якась частина земельної ділянки має певні обмеження, то відповідний коефіцієнт приймає вся площа земельної ділянки, очевидно, що такий підхід може значно спотворювати результати, особливо коли мова йде про великі за площею території. Автором запропоновано два підходи для вирішення цієї проблеми: застосування GRID моделей та оверлейних операцій. Застосування таких процедур дасть змогу повноцінно скоригувати результати НГО, та підвищити податкові платежі на 5-15%.

Отже, підсумовуючи результати наукових досліджень різних авторів, можна прийти до висновку, що навіть у період воєнного стану розробка автоматизованого розрахунку НГО земель є дуже актуальним питанням. Нова методика, з одного боку спрощує процедуру проведення нормативної грошової оцінки, з іншого базується на застарілих результатах попередніх оцінок, що значно викривлює остаточний показник вартості. Також авторами запропоновано удосконалені методи інтеграції ГІС в оцінку земель. Вже зараз важливо проводити перерахунок НГО на всі територіальні громади з метою збільшення надходжень податків у державний та місцеві бюджети задля підтримання економіки країни.

## 2. ЗАСТОСУВАННЯ ГІС ТА ДЗЗ ДЛЯ ЦІЛЕЙ ПОВ'ЯЗАНИХ З ВЕДЕННЯМ ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

### 2.1. Застосування ГІС в ДЗК

Інструментарії ГІС є важливими в різних галузях людської діяльності: сільське господарство, екологія, охорона здоров'я, транспорт, інфраструктура, воєнна справа, кадастри (земельний, лісовий, водний, корисних копалин) та в інших сферах, де площиною дослідження є геопросторова інформація.

В Україні на законодавчому рівні визначено питання застосування ГІС і супутніх технологій. З прийняттям ЗКУ «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» було встановлено напрямки, цілі, задачі створення НІГД в тому числі із використанням засобів геоінформаційних технологій (Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних», 2023).

Для роботи в ГІС необхідно мати вихідні дані, вони можуть бути у вигляді карт, знімків, набору координат або інших числових значень, атрибутивних даних, графіків, таблиць тощо. Основні джерела надходження геопросторових даних подальшої роботи з ними в ГІС на рис. 2.1.

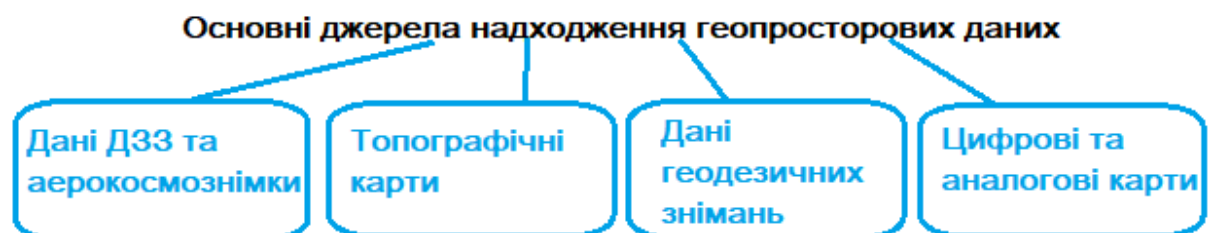


Рис.2.1 Джерела надходження геопросторових даних

Крім того, БД ГІС відіграють важливу роль в формуванні та діяльності оціночної сфери. База даних в ГІС містить в собі геопросторові та атрибутивні дані. До геопросторових даних можна віднести таку важливу інформацію як

місцеположення земельної ділянки, а до атрибутивної – опис такої земельної ділянки та пов'язаних з нею прав. База даних нормативної грошової оцінки містить дані по зонуванню території, інфраструктурній та дорожньо-транспортній мережі, коригувальним коефіцієнтам, зонам впливу локальних факторів тощо. Структуру компонентів ІПД в сфері оціночної діяльності показано на рис. 2.2.

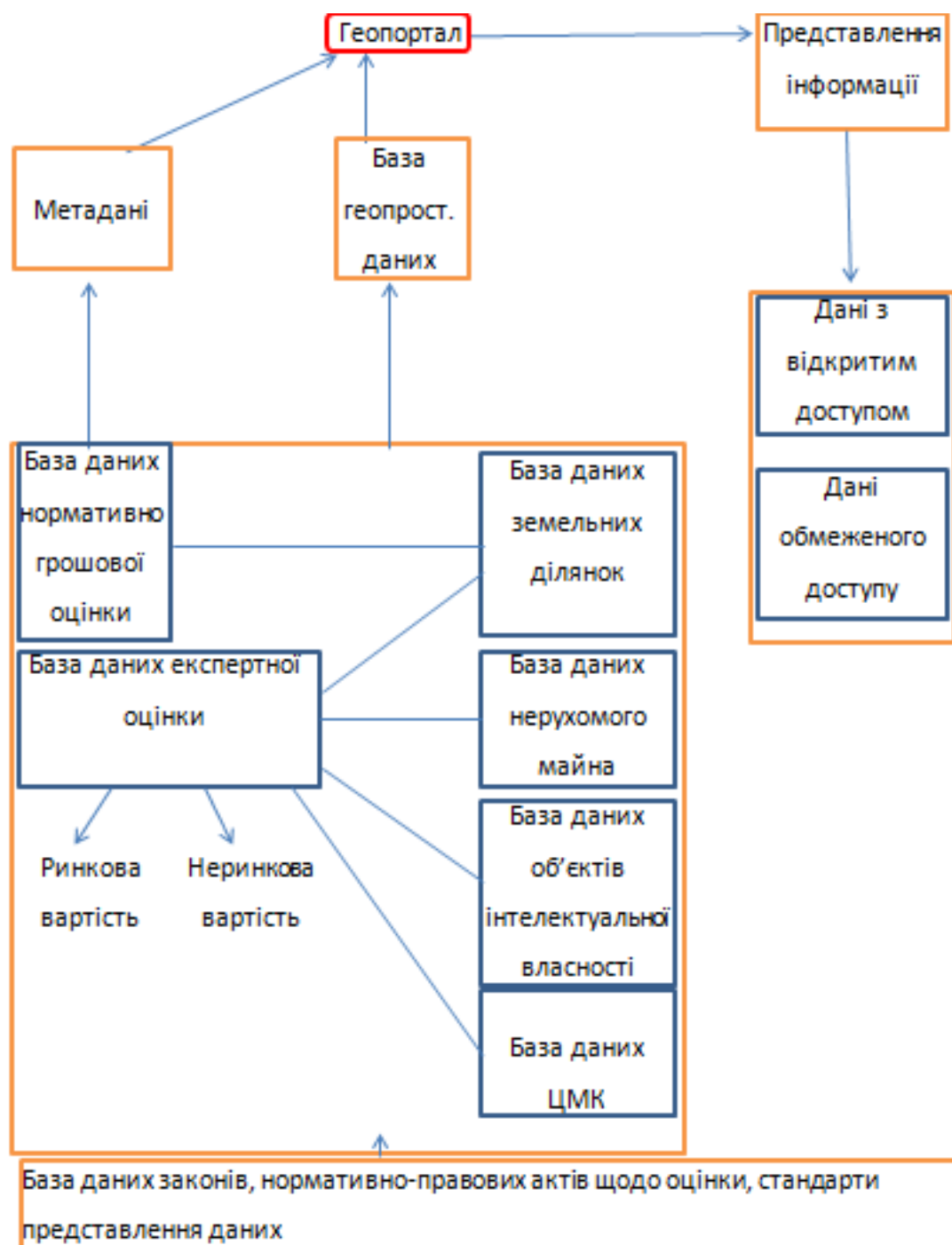


Рис. 2.2 Схема компонентів ІПД оціночної діяльності

Використання ГІС дозволяє вирішити ряд таких задач:

- створення БД;
- векторизація растрових даних;
- інвентаризація земель;
- автоматичний обрахунок лінійних промірів (площа, периметр, довжина лінії, відстань тощо);
- створення тематичних карт;
- виконання запитів;
- проведення моніторингу;
- створення кадастрового плану земельної ділянки;
- створення планів зонування території територіальних громад;
- пошарове збереження та візуалізація даних;
- використання аналітичних функцій;
- просторове планування території тощо.

Основними способами актуалізації геопросторових даних у розрізі земельних ресурсів є результати спостережень супутників ДЗЗ, а також дані отримані в результаті роботи безпілотних літальних апаратів.

Тож, ГІС допомагають вирішити завдання моніторингу, управління територіями, ведення якісного та кількісного обліку земель, підтримки прийняття рішень, територіального аналізу тощо. Геоінформаційні системи формують в собі просторові бази даних для роботи з шарами, їх аналізу та вивчення.

## **2.2. Застосування ДЗЗ для визначення деяких показників нормативної грошової оцінки**

Протягом останніх десятиліть методи отримання даних з просторовою прив'язкою у всьому світі стрімко зростає, це зумовлено перш за все важливістю такої інформації, а також широким діапазоном її застосування.

Одним із значущих джерел геопростових даних – дані дистанційного зондування Землі. Саме завдяки ДЗЗ спеціалісти в різних областях можуть оперувати актуальною інформацією з різних куточків земної поверхні. До переваг використання даних ДЗЗ можна віднести їх широке просторове охоплення, тобто можна вивчати масштабні процеси, об'єкти, явища, проста та зрозуміла форма представлення, спроможність інтеграції в ГІС, уникнення людського фактору, тому дані отримані таким способом є об'єктивними тощо (рис. 2.3).

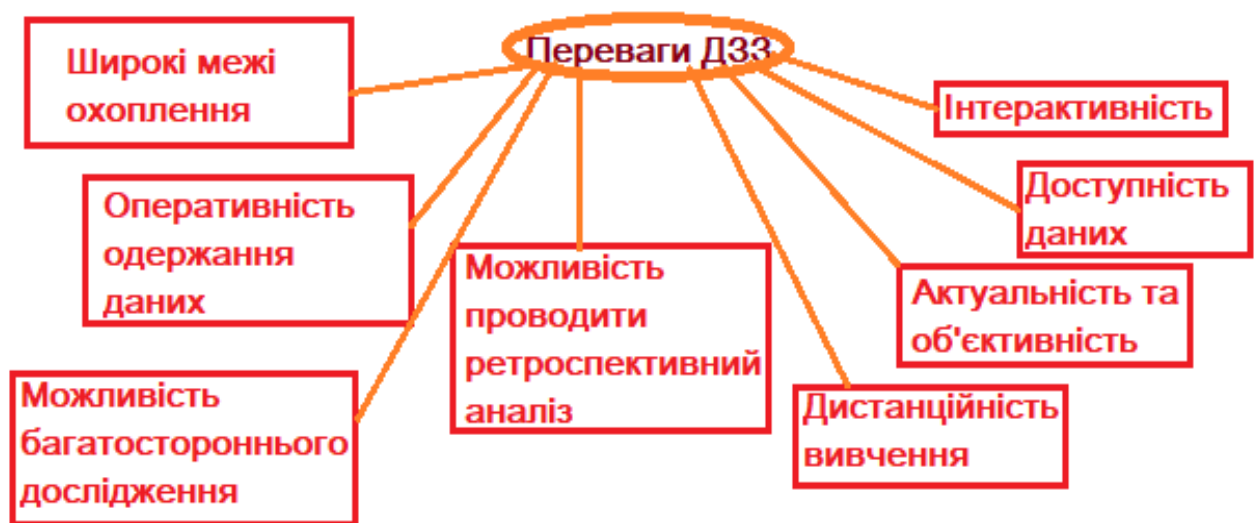


Рис. 2.3 Переваги застосування даних ДЗЗ

ДЗЗ має значні переваги при оцінці якості ґрунтів та стану земель, а також сприяє оптимізації планування в агропромисловому секторі. Крім того, важливими показниками при оцінці земель, їх економічної цінності є показник розораності земель, деградованості ґрунту, засолення, значення антропогенного навантаження, виділення екологічно нестійких районів, такі параметри значно впливають на цінність земель. Особливо важливим є дослідження сільськогосподарських земель, водного та лісового фонду, де визначальним параметром при оцінці є їх дохідність з одиниці площі.

Рентний дохід, який є базисним поняттям при проведенні НГО, формується за рахунок вирощування агрокультур на земельних ділянках, і подальшим їх збутом на ринках сільськогосподарської продукції. Саме тому є

важливим встановлення якості ґрунтів, в тому числі з використанням даних БПЛА.

Необхідність інтеграції засобів дистанційного зондування в оцінку земель, обумовлено потребою в уточненні та коригуванні певних оціночних параметрів нормативно-грошової оцінки. Методи наземних досліджень не завжди є достовірним джерелом даних, особливо у випадках визначення меж великих за площею лісових насаджень, водних об'єктів, встановлення виду угідь, ідентифікації якісних характеристик земель та ґрунтів тощо. За допомогою багатоспектральних супутникових знімків з різним просторовим розрізненням, а також їх комбінацій можна вирішити ряд вище наведених проблем.

Всебічний аналіз оціночної території може бути проведено шляхом застосування різних критеріїв: ухил місцевості, висота, температурні показники (LST), індекси рослинності (NDVI, SAVI, OSAVI, ARVI, TGI тощо), ґрунтові індекси (ATSAVI), індекси водного покриву (NDWI), індекси для визначення забрудненості повітря тощо.

Виходячи із результатів досліджень науковців у сфері природних ресурсів, не раз відмічалась проблема неактуальності даних інвентаризації земель різного цільового призначення. Коли на діючому плані населеного пункту було відображено став, але в дійсності, на місцевості на цьому місці виявлялося болото, така ж проблема і з самосійними лісами, особливо на землях сільськогосподарського призначення. Застарілість даних пов'язана з вартістю землевпорядних робіт, а також складністю і довгостроковим процесом їх виконання.

Враховуючи вище наведене, хочеться наголосити, що при визначенні вартості НГО земель обов'язково враховується цільове призначення та вид угідь. Наприклад земельна ділянка із цільовим призначенням для сільськогосподарського господарства 01.03 має коефіцієнт 1, а земельна

ділянка лісогосподарського призначення 09.03 – 0,5, така різниця в значеннях спроможна значно спотворити результати оцінки. Якщо уявити, що хоча б 1/10 частина земельних ділянок в межах населеного пункту внесена в реєстр з такими неточностями, то загальна сума надходжень податкових платежів до місцевих бюджетів може мати значне відхилення від дійсного значення.

Для уникнення таких проблем є потреба у застосуванні багатоспектральних знімків та їх обробки в ГІС для автоматизованого встановлення меж та виду земельних угідь.

Найчастіше для робіт у сфері агросектору застосовують знімки з супутника Landsat 8, оскільки цей супутник оснащений удосконаленим багатоспектральним сканером MSS, що дозволяє отримати зображення в семи спектральних діапазонах: 3 в області видимого спектру, 1 в ближньому інфрачервоному, 2 в середньому інфрачервоному, 1 в тепловому. Просторове розрізнення до 30 м. Такі знімки доцільно використовувати для моніторингу і ідентифікації посівів, виявлені проявів ерозійних процесів, плануванні сільського господарства, визначенні якості ґрунтів тощо.

### **2.3. ГІС та ДЗЗ у задачах моніторингу**

Стрімке підвищення вимог до якості інформації дало поштовх до розвитку сучасних засобів та методів її збору. Передове місце займають методи дистанційного зондування землі, що оперують геопросторовими даними, які є надзвичайно важливими у сільському господарстві, ландшафтознавстві, землеустрою, охороні природи тощо. Застосування передових ГІС та ДЗЗ значно полегшить процес збору, аналізу, зберігання, та перетворення вихідних даних.

З цього випливає необхідність залучення сучасних засобів ГІС та ДЗЗ для якісного та кількісного аналізу стану земельних угідь, що необхідно для

забезпечення даними процесів: бонітування, економічної та нормативно-грошової оцінки земель.

Як вже було зазначено вище, використання сучасних ГІС та ДЗЗ мають ряд переваг, що особливо важливо в землевпорядній справі: оперативність та великомасштабність одержаних даних, можливість ретроспективного аналізу та порівняння з сучасним станом для виявлення динаміки певних процесів (ерозія, вирубка, самозаліснення тощо), достовірність та об'єктивність даних на основі яких можна формувати регулюючі заходи та надавати певні управлінські рішення. Проте разом з тим є і ряд недоліків, що в першу чергу пов'язано з комерціалізацією даної сфери та монополією даних ДЗЗ. Крім того, за допомогою засобів ДЗЗ можна в короткий термін визначити площу, межі та приблизні координати земельних ділянок, за рахунок чого зберегти час на проведення наземних досліджень з метою актуалізації застарілих даних.

Тож, багатофункціональність даних супутникових знімків дають змогу проводити всебічний аналіз досліджуваної території, визначати мінливість процесів, проводити часовий аналіз, надавати якісну та кількісну інформацію. Головною їх перевагою є можливість моніторингу великої за площею території, перспектива фіксування явищ з метою моментального реагування. У сфері землеустрою ГІС та ДЗЗ є незамінними інструментами для роботи з геопросторовими даними, що дають змогу в автоматизованому режимі проводити ряд необхідних, для досягнення цілей, задач. Тому для оцінки земель супутникові знімки є надійним джерелом актуальних даних, а засоби ГІС дозволяють швидко та неупереджено обробляти ці дані.

### **3. МЕТОДИ ГІС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ ТА КІЛЬКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗЕМЕЛЬНИХ УГІДЬ**

#### **3.1. Дослідження кількісних параметрів. Визначення меж та виду угідь за допомогою ГІС та ДЗЗ**

Чіткі, об'єктивні, статистично послідовні дані про якісні та кількісні характеристики земель, стан навколишнього середовища, природні та антропогенні процеси, що призводять до змін у структурі землекористування є надзвичайно важливими при оцінці земель.

На практиці нерідко зустрічаються випадки коли межі земельних угідь на існуючих картах чи план не співпадають з реально існуючими, це пов'язано з застарілістю картографічних матеріалів, що потребують оновлення. Також існують прогалини в матеріалах лісо- та водо-впорядкування, в них можуть бути відсутні істотні дані про поточний стан об'єктів. Сучасні запити в інформаційному просторі землеуправління вимагають оперувати повною, достовірною та актуальною інформацією, саме тут важко обійтися без засобів ДЗЗ з підтримкою ГІС. Науковці часто зазначають ненадійність даних про гідрографічні характеристики річок, оскільки дослідження були проведені ще в 50-60х роках, така ж ситуація і з лісами. Неактуальність даних призводять до помилок гідрогеологічних розрахунків, помилок при проектуванні чи будівництві, неточності у плануванні, але головним чином у розрахунку вартості НГО земельних ділянок, що впливає на розмір податкових платежів.

Процеси, що вплинули на якісні та кількісні зміни природних ресурсів могли бути викликані як природними процесами, так і в результаті антропогенного впливу. Особливу роль має другий фактор – антропогенний вплив, що неминуче призводить до істотних змін у структурі земельного

фонду. З кожним роком величина антропогенного навантаження зростає, що проявляється в ряді негативних процесів: забруднення середовища, вирубка лісів, деградація ґрунтів тощо. Серед природних процесів слід відмітити: стихійні лиха (повені, пожежі, землетруси тощо). Всі вище згадані прояви можна фіксувати за допомогою даних ДЗЗ з підтримкою ГІС на основі чого формувати шляхи запобігання та подолання таких явищ. Саме тому постійний контроль, уточнення та моніторинг змін, а також їх фіксування є невід'ємною складовою надійного та якісного управління земельними ресурсами.

Щоб отримати точні дані для якісної та кількісної оцінки земель в першу чергу необхідно оперувати даними про межі таких земельних угідь. В останні роки дані супутникових зображень, зокрема дані Landsat-8 (оптичні), Sentinel-1 (RADAR) і Sentinel-2 (оптичні), використовуються для визначення розташування, форми та площі сільськогосподарських угідь [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cropin.com/blogs/land-boundary-detection-for-small-landholding-using-machine-learning>.

Найбільші проблеми виникають з ідентифікацією малих землеволодінь на супутникових знімках при їх обробці. Неможливість чітко встановити межі та вид угідь виникає в тому числі і через відсутність у відкритому доступі знімків з великим просторовим розрізненням. Тоді як для великих земельних угідь класифікація та цифрування меж не викликає особливих труднощів.

Найбільш важливою одиницею вивчення в земельному управлінні є межі земельних угідь, ідентифікуючи межі, надалі можна проводити класифікацію угідь та рослинного покриву, а із застосування машинного інтелекту проводити діагностику та продуктивність врожаю.

Ручний процес цифрування меж земельних угідь складний та трудомісткий процес, який окрім того ще й потребує практичних навичок у виконавця. Крім того, це потребує постійного оновлення даних з метою часового аналізу просторових змін. Автоматична демаркація меж значно

полегшила б цей процес, що потребував лише мінімальних людських виправлень.

Передові технології в сільському господарстві надзвичайно розвинулися за останні десятиліття і дали поштовх для подальшого технологічного прогресу. Проте, знімки ДЗЗ мають свої недоліки. Зазвичай вони мають не достатню розрізненість, високий рівень шуму та великий обсяг, який потребує значного об'єму пам'яті для зберігання растрових даних. Властивості цих зображень різко змінюються від одного регіону до іншого залежно від властивостей земельної ділянки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cropin.com/blogs/land-boundary-detection-for-small-landholding-using-machine-learning>.

Проте на практиці, навіть з використанням новітніх технологій можуть виникати певні труднощі, особливо коли земельні ділянки є неоднорідними та дезінтегрованими, а також коли вони є невеликого розміру та щільно розміщуються одна відносно одної. Гарного результату у визначенні меж можна спромогтися отримати, в тому випадку, коли дві земельні ділянки, що порівнюються мають різні кольори та текстурні особливості. Але якщо обидві земельні ділянки мають однаковий урожай/вид рослинного покриття, то виявлення меж залишається проблемним питанням.

В даному дослідженні буде представлено можливості застосування ГІС та ДЗЗ для моніторингу, уточнення меж і площ та фіксування динаміки змін земельних ресурсів на основі автоматичного цифрування їх меж на знімках дистанційного зондування Землі.

### **3.1.1. Об'єктно-орієнтований аналіз (OBIA) в ГІС**

Важливим етапом роботи зі знімками дистанційного зондування є їх обробка. Обробка може включати такий важливий процес як розпізнавання

певних об'єктів, процесі чи явищ, а також виділення визначених фрагментів відповідно до їх текстурних, топологічних чи спектральних ознак.

Дані на супутникових знімках можуть бути класифіковані двома шляхами: автоматично та вручну. Ручна класифікація зображень високої просторової розрізненості може забезпечити високу точність класифікації, але має недолік пов'язаний з часом виконання таких робіт. Автоматична класифікація може проводитися у два способи, а саме класифікація на основі пікселів зображення та на основі аналізу об'єктів (OBIA).

Сегментація відбувається, поєднуючи пікселі разом в один єдиний клас пікселів. OBIA дозволяє встановити просторові (топологічні), часові та позамасштабні зв'язки між об'єктами. Технологія дозволяє аналізувати зв'язки між окремими об'єктами. Як вихідний шар ми отримуємо векторне зображення до об'єктів якого згодом можна вносити атрибути (*Kelly, Blanchard, Kersten, Koy, 2011*).

Найбільшою проблемою даного методу є правильність вибору величини сегменту. Від цього залежить наскільки сегмент певного класу зможе перекрити обраний об'єкт. Так наприклад вибір сегменту, що буде значно більшим за об'єкт ідентифікації може призвести до процесу «пересегментації», тобто буде містити в собі пікселі іншого класу та навпаки, якщо буде обрано занадто малу область, то сегмент «захватить» пікселі іншого класу. В результаті отриманий результат класифікації буде містити погрішності.

Незважаючи на свої переваги, метод OBIA має кілька технічних проблем. Цей метод вимагає великого об'єму комп'ютерної пам'яті під час процесу сегментації зображення (*Whiteside, Boggs, Maier, 2011*), тривалого часу обробки методом проб і помилок для класифікації карт ґрунтового покриття (*Johnson and Jozdani, 2018*) та оптимальних параметрів для розмір навчальних

вибірок (Ma, Cheng, Li, Liu, Ma, 2015; Ma, Fu, Blaschke, Li, Tiede, Zhou et al., 2017; Zaki, Buchori, Sejati, Liu, 2022).

### **3.1.2. Контрольована класифікація (SCP)**

Для обробки та аналізу космознімків на велику територію варто застосовувати машинне навчання (ML) з метою автоматизації процесів. Одним із інструментів ML є напівавтоматична класифікація, що є інструментом обробки зображень за допомогою якої відбувається класифікація об'єктів зображень на основі їх спектральних сигнатур. Як результат застосування контрольованої класифікації (SCP) користувач одержує тематичну карту місцевості.

Для обробки зображень з цією метою необхідно завантажити пагін Semi-Automatic Classification Plugin в середовище ГІС.

На першому етапі користувачу необхідно визначити області інтересу, тобто окреслити полігонами на знімку - однорідні ділянки земельного покриття з однаковим діапазоном спектральних характеристик. Таким чином створюється шаблон яскравості пікселей що відповідає певним об'єктам місцевості відповідно до створених класів. На практиці слід робити декілька окреслених полігонів (3-4) для того, що максимально захватити всю можливу спектральну палітру яскравості пікселей обраного об'єкту. Класифікація зображення відбувається шляхом порівняння спектральних сигнатур кожного пікселя і спектральних сигнатур встановлених класів (Лагоднюк, 2021).

Існує декілька методів визначення подібності спектральних сигнатур об'єкта еталона та інших об'єктів місцевості. Метод відстані полягає у розрахунку Евклідової відстані між яскравістю еталонного пікселя та сигнатури інших пікселів зображення. Метод спектрального кута також є популярним методом, що застосовується для класифікації, він полягає у

розрахунку спектрального кута між еталонним пікелем та пікселями зображення. За методом паралелепіеда формується діапазон значень кожного каналу, на основі якого створюється багатовимірний паралелепіед, алгоритм полягає у порівнянні кожного пікселя з діапазоном значень паралелепіеда, відповідно якщо значення співпадають, то піксель відносять до класу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://semiautomaticclassificationmanual-v6.readthedocs.io/uk-UA/latest/remote\\_sensing.html](https://semiautomaticclassificationmanual-v6.readthedocs.io/uk-UA/latest/remote_sensing.html).

### 3.1.3. Оцінка точності класифікації

В будь-якому дослідженні необхідно проводити оцінку точності отриманих результатів для чистоти експерименту. Для оцінки точності виконаної класифікації використовують матрицю помилок. Матриця помилок в числовому значенні виявляє на скільки дані класифікації збігаються з реальними даними, яка кількість пікселів була правильно класифікована.

Тобто матриця показує наскільки збігаються дані з різних джерел. Як вихідні джерела можуть бути, наприклад растрові карти класифікації, що будуть перевірятися за опорним більш точним джерелом даних, наприклад знімки більш високої просторової розрізненості, базові карти, дані польових досліджень тощо.

Якщо в ході експерименту виявиться, що точність класифікації не відповідає бажаному значенню, то класифікацію необхідно буде переробити, змінивши при цьому, наприклад, кількість класів, максимальну ширину пікселю, обмеження по мінімальному розміру пікселя та інші параметри. Після чого повторити експеримент. Побудову матриці можна виконати автоматично із застосуванням вбудованих функцій в плагін SCP.

Дискусійним питанням залишається кількість опорних точок (пікселів), що беруться для перевірки та порівнюються за різними джерелами. На практиці розробник класифікації на власний розсуд обирає необхідне число, так щоб в повній мірі охопити всі класи.

Для побудови матриці можуть використовуватися всі комірки растру, або тільки вибірккові, що розміщені випадково. По одній з осей матриці записуються назви класів легенди класифікації набору даних, по другій — класи легенди даних, що використовуються для перевірки (табл. 3.1) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gis-lab.info/qa/error-matrix.html>.

Таблиця. 3.1 - Матриця помилок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gis-lab.info/qa/error-matrix.html>

	Реальні класи						
		A	B	C	D	E	$\Sigma$
Розрахункові класи	A	$n_{AA}$	$n_{AB}$	$n_{AC}$	$n_{AD}$	$n_{AE}$	$n_A$
	B	$n_{BA}$	$n_{BB}$	$n_{BC}$	$n_{BD}$	$n_{BE}$	$n_B$
	C	$n_{CA}$	$n_{CB}$	$n_{CC}$	$n_{CD}$	$n_{CE}$	$n_C$
	D	$n_{DA}$	$n_{DB}$	$n_{DC}$	$n_{DD}$	$n_{DE}$	$n_D$
	E	$n_{EA}$	$n_{EB}$	$n_{EC}$	$n_{ED}$	$n_{EE}$	$n_E$
	$\Sigma$	$n_A$	$n_B$	$n_C$	$n_D$	$n_E$	$N$

Сірим кольором відзначено головну діагональ матриці, що показує випадки, де розрахункові класи та реальні дані збігаються (правильна класифікація). Сума значень діагональних елементів показує загальну кількість правильно класифікованих пікселів по кожному з класів, а відношення цієї кількості до загальної кількості пікселів у матриці  $N$  називається загальною точністю класифікації і зазвичай виражається у

відсотках, що зазначено у формулі 3.1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gis-lab.info/qa/error-matrix.html>:

$$\text{overall accuracy} = \frac{n_{AA}}{N} + \frac{n_{BB}}{N} + \frac{n_{CC}}{N} + \frac{n_{DD}}{N} + \frac{n_{EE}}{N} \quad (3.1),$$

де: N – загальна точність класифікації;

$n_{AA}$ ,  $n_{BB}$ ,  $n_{CC}$ ,  $n_{DD}$ ,  $n_{EE}$  – кількість правильно класифікованих пікселів окремого класу.

Для визначення точності певного розрахункового класу необхідно розділити кількість правильно класифікованих пікселів цього класу на загальну кількість пікселів у цьому класі згідно з перевірочними даними. Цей показник також називають «точністю виробника» (producer's accuracy), оскільки він показує, наскільки добре результат класифікації цього класу збігається з перевірочними даними. Для класу A за формулою 3.2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gis-lab.info/qa/error-matrix.html>:

$$\text{producer accuracy } A = \frac{n_{AA}}{n_A} \quad (3.2),$$

де: A – точність окремого класу,

$n_{AA}$  – кількість правильно класифікованих пікселів окремого класу

$n_A$  – загальна кількість пікселів окремого класу.

В результаті перевірки розробник зможе оперувати інформацією про подібність, або відмінність результатів класифікації та опорних даних.

### 3.2. Дослідження ерозійної небезпеки ґрунтів за допомогою ГІС та ДЗЗ

В сучасних умовах інтенсивність сільськогосподарського освоєння територій, значне антропогенне навантаження призвело до руйнівних процесів в ґрунтовому покриві, що вимагає удосконалення управління земельними ресурсами, в тому числі проведенні постійних моніторингових спостережень на всіх рівнях за станом ґрунтів. Така необхідність вимагає

пошуку нових, сучасних та ефективних інструментів аналізу, обробки та інтерпретації значного об'єму просторових даних, все це знаходить відображення в необхідності залучення геоінформаційних систем.

Детальна оцінка ерозійної небезпеки ґрунтів необхідна для прогнозування їх можливої подальшої деградації, а також з метою розробки методів гальмування або усунення таких негативних процесів.

Деградація ґрунту – сукупність природних та антропогенних процесів, що змінюють якісний стан ґрунтів, погіршує їх природну-сільськогосподарську цінність (Гаськевич, 2013). Як відомо, найбільш інтенсивно потерпають землі сільськогосподарського призначення саме від водної та вітрової ерозії. В даний час тенденція погіршення якісних властивостей ґрунтів щороку зростає, ґрунти страждають від забруднення та деградації. Серед головних причин зниження родючості в Україні є: інтенсивний розвиток водної та вітрової ерозії, заболочення, засолення, опустелювання, знеліснення та підтоплення. Щорічна втрата ґрунту сягає значення – 700 млн. тон ґрунту. Головними причинами виникнення ерозії є: нераціональне використання земель, ігнорування протиерозійних заходів, відсутність необхідних на всіх рівнях управління програм захисту та охорони ґрунтів від ерозії.

Така статистика свідчить про невідкладну потребу у захисті ґрунтів, розробки методів та методологій для миттєвого фіксування проблем на початкових етапах їх формування.

В Міжнародній програмі ООН по захисту навколишнього середовища ступінь ерозійного впливу прийнято рахувати за наступними критеріями:

- загальний стан: відсоток розповсюдження ерозії її площа, вид ерозії, потужність гумусу тощо;
- ступінь прояву: об'єм втрат на рік в т/га, збільшення площ еродованих земель, переведення угідь до класу ерозійно-небезпечних в %;
- ризики прояву: ухил місцевості, потенційні втрати ґрунту на рік.

Вище наведені показники необхідні на стадії вивчення стану та проявів ерозії, проте для подальшого аналізу та оцінки є потреба в розробці кількісних критеріїв оцінки та порівняння ситуації, динаміки змін, щоб визначити ступінь ризику та впливу можливих небезпек. З іншого боку необхідним є прийняття заходів з метою оцінки стану та ступеню небезпеки в даний момент часу.

Методи ДЗЗ та ГІС широко застосовуються в Україні, цифрові технології використовуються для ідентифікації ерозії та аналізу залежності водної та вітрової ерозій від головних факторів їх формування, в першу чергу рельєф, а також її вплив на ґрунти та ґрунтовий покрив їх картографуванні, морфологічному аналізу рельєфу. Методика вивчення ерозії за допомогою дистанційних методів полягає в наступних етапах:

- збір первинного матеріалу (знімки ДЗЗ);
- обробка та дешифрування;
- векторизація матеріалів;
- порівняння з еталонними даними наземних спостережень;
- побудова моделей, картосхем, графіків тощо;
- створення та оновлення бази даних.

Перші спроби аналізу ерозійного впливу на ґрунти були започатковані ще в 1984 році в США. Тоді це була перша спроба проведення моделювання водної ерозії і математичної оцінки ґрунтових втрат. На сьогодні сучасні технології найбільш широко використовують в області просторово-часових змін і інтенсивності ерозії, її вплив на агроландшафти, моделювання причинно-наслідкових залежностей, оцінки ерозійного потенціалу територій, агроекологічної ситуація регіону, картографуванні земель, їх типізації, розробка проектів раціонального використання та охорони земель, захисту їх від негативного антропогенного навантаження.

Україна є аграрною країною, головною продукцією на експорт – зернові культури, тому якість та родючість ґрунтів є головною умовою стабільної економіки країни. Проте Україна характеризується великою кількістю розораних земель, майже 50% земель знаходяться в нестабільному стані. Розораність значно посилює вплив ерозійних процесів, що в свою чергу може призвести до негативного циклу: погіршення якості земель – зменшення урожайності – бідність населення.

В умовах інтенсивного сільського господарства слід пам'ятати про те, що в результаті нераціонального використання землі змінюється її фізико-хімічний склад, що призводить до зменшення родючості. Для повернення ґрунтів у попередній родючий стан знадобиться багато років, а то і десятки років. Тому в основі сільськогосподарського освоєння повинні лежати принципи розумної експлуатації земель.

В ході водної ерозії відбувається винесення не тільки твердих часток ґрунту, а й розчинних речовин, в тому числі і забруднюючих, разом з поверхневим стоком вони накопичуються в понижених частинах рельєфу, така міграція призводить до характерних змін в ландшафтах екосистем. В місцях сильної дії ерозії ґрунти значно збіднюються, а постійне надходження ґрунтового матеріалу та розчинних речовин призводить до їх накопичення в глибинних контурах рельєфу.

Відповідно до інтерактивної карти еродованості ґрунтів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://superagronom.com/karty/erodovanist-gruntiv-ukrainy>, найбільш еродованими в Київській області є північно-східний напрямок, там ступінь еродованості сягає 31-40%, що пов'язано з активним веденням сільського господарства. Найменш еродованими є північні території, величина ерозії до 1%. В межах Дмитрівської територіальної громади загальний ступінь еродованості – 10-20 %. Проте такі дані є дуже генералізованими та не

можуть бути використані для детального вивчення процесів деградації земель. Саме тому є потреба в розробці методів та залученні ГІС та ДЗЗ у процеси моніторингу ерозійних впливів для розробки науково обґрунтованих рішень щодо захисту ґрунтового покриву.

Ефективним засобом в боротьбі з ерозією є найбільш точні засоби прогнозу, що можуть визначати не тільки сам факт можливої ерозії, а й давати змогу робити висновки щодо переносу речовин, особливо забруднюючих, тому актуальні засоби прогнозу ерозії повинні відповідати наступним критеріям:

- передбачення точного об'єму втрати ґрунту в будь-якій точці місця дослідження;
- прогноз ступеня зміни форми рельєфу;
- крім того, вони повинні враховувати розмір та інтенсивність процесу ерозії ґрунту, поверхневий стік.

На сьогодні існують такі моделі для визначення масштабу ерозії ґрунту: USLE, RUSLE, WEPP 97, AGNPS та інші. В даному дослідженні буде використано рівняння RUSLE, що найбільш точно підходить для вирішення поставлених задач.

### **3.2.1. Оцінка ерозії ґрунту за моделлю RUSLE**

На сьогодні модель RUSLE найбільш широко використовується у всьому світі для дослідження та оцінки ерозії ґрунтів. RUSLE – це універсальне рівняння втрати ґрунту. Емпіричне рівняння ерозії RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) є виправленим та дещо переглянутим попередньою версією загального рівняння ерозії ґрунту USLE, що замінило його з середини 90-х років (*Renard, Foster, Weesies, McCool, Yoder, 1997; Wischmeier and Smith, 1978*).

Науковці виділяють два типи рівнянь дослідження ерозії: фізичні та емпіричні. Фізичні моделі враховують всі фактори та процеси, що беруть участь в ерозійних процесах та їх взаємодію між собою. Емпіричні моделі є значно спрощеними, тому що вони є результатом розрахунків статистичної регресії, що беруть за взірець попередні дослідження.

З урахуванням цього емпіричні моделі USLE/RUSLE є наближеними до реальних умов протікання ерозії. Якщо вивчати ерозію за допомогою цих моделей, то сам процес слід вважати «Чорною скринькою» через ігнорування додаткових факторів зовнішнього середовища та взаємодії факторів між собою.

Саме тому в даній роботі буде розглянуто не саму модель ерозійного процесу, а потенціал ерозії ґрунтів та її осередки. Моделювання можливо з використанням фізичних моделей, що орієнтовані на реальні процеси.

Обидва рівняння (USLE/RUSLE) мають однакову структуру та складаються з наступних елементів (*Wischmeier and Smith, 1965; Schäuble, 1999*):

- кількість опадів (кліматичний фактор R);
- характер рельєфу (коефіцієнт довжини L та крутизни схилу S);
- ґрунтоутворюючий фактор (коефіцієнт ерозійності ґрунту K);
- фактор типу рослинного покриву та його обробітку C;
- фактор, що залежить від типу використання земель P.

Кожен з цих факторів більшою чи меншою мірою впливають на формування та протікання ерозійних процесів. Добуток цих коефіцієнтів дає змогу оцінити річну втрату ґрунту за формулою (3.3) (*Wischmeier and Smith, 1965; Schäuble, 1999*):

$$A = R * L * S * K * C * P \quad (3.3),$$

де:

A - багаторічна середня ерозія ґрунту;

R - кліматичний фактор, що вказує на ерозійну енергію опадів.

K - коефіцієнт еродованості ґрунту;

LS - топографічні фактори, де S – градієнт схилу, а L – коефіцієнт довжини схилу;

C - коефіцієнт покриття, який вказує вплив рослинності на ерозію.

P - коефіцієнт захисту від ерозії, який вказує вплив певних методів обробки на ерозію (використання контуру, смуговий посів тощо) (Schäuble, 1999).

LS, C і P є безрозмірними величинами.

Кожен з факторів розраховується окремо. На даний час дослідники розробили по декілька варіантів формул для розрахунку кожного фактора, що пов'язано з відмінностями формування ерозійних процесів через різні кліматичні зони, властивості ґрунту, рельєфу, типу культур тощо. В цій роботі буде описано найбільш узагальнюючий варіант. Узагальнюючий порядок побудови моделі RUSLE на рис. 3.1.

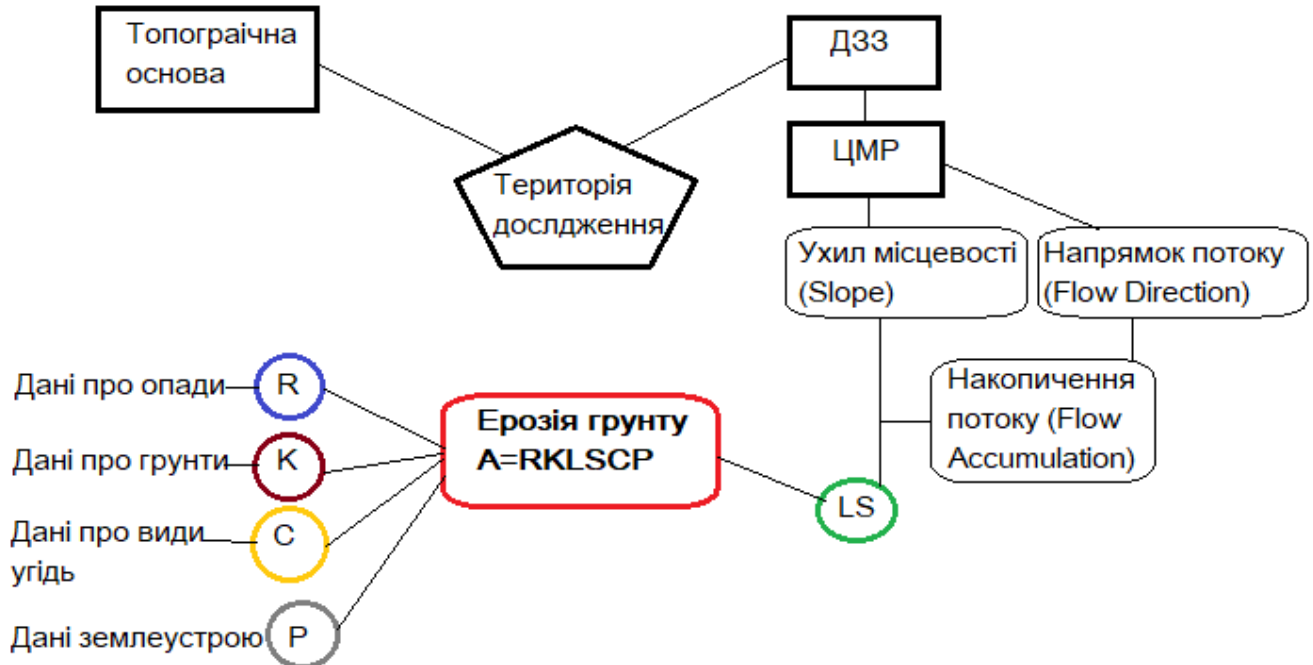


Рис. 3.1 Порядок побудови моделі RUSLE

Отже, модель RUSLE є універсальним рівнянням для визначення втрат ґрунту спричиненою ерозією та є корисним для картографування ґрунтів,

розробки меліоративних та протиерозійних систем, визначення напрямку сільськогосподарського освоєння та підготовки проектів захисту та охорони земель.

Важливим недоліком даного рівняння є те що воно є дійсним лише для оцінки середньої втрати ґрунту на суцільному, прямому схилі, тобто якщо на схилі є опуклі або увігнуті ділянки то їх вплив на втрату ґрунту ігнорується.

### 3.2.2. Кліматичний фактор R

Ерозійність опадів є функцією здатності опадів викликати ерозію ґрунту шляхом відокремлення та переміщення часток ґрунту (*Ganasri and Ramesh, 2016*).

Ерозійність опадів — це кінетична енергія удару дощової краплі та швидкість пов'язаного стоку. R-фактор — це багаторічний середній індекс, який вимірює кінетичну енергію та інтенсивність опадів, щоб описати вплив опадів на ерозію. Точна оцінка ерозійності опадів вимагає реєстрації опадів через короткі проміжки часу (1-60 хвилин) протягом принаймні кількох років. Ерозійність опадів розраховується шляхом множення кінетичної енергії на максимальну інтенсивність опадів протягом 30-хвилинного періоду. R-фактор накопичує ерозійність опадів окремих зливових подій і усереднює це значення за кілька років [*Електронний ресурс*]. – Режим доступу: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/rainfall-erosivity-europe>.

Кліматичний фактор вміщує в собі три аспекта, що впливають на величину ерозії:

- кількість опадів за рік у мм;
- середня інтенсивність опадів у мм за рік;
- найбільш активна фаза опадів у мм за рік.

Загальна формула для розрахунку R фактора (3.4-3.7) (*Schäuble, 1999*):

$$R = 1/t * \sum R_i \quad (3.4),$$

де:

R – кліматичний фактор;

t - кількість років;

R<sub>i</sub> – ерозійність окремого випадання опадів I<sub>max</sub> 30.

$$R_i = E * I_{max} 30 \quad (3.5),$$

де:

E – сила кінетичної енергії дощу;

I – інтенсивність дощу в мм/год.

$$E = \sum E_i \quad (3.6),$$

$$E_i = (11,89 + 8,73 \log I) * N * 10^{-3} \quad (3.7),$$

де:

N – абсолютна кількість опадів на певній ділянці в мм;

E<sub>i</sub> – сила кінетичної енергії дощу на певній ділянці в КДж/м<sup>2</sup> (Schäuble, 1999).

Кінетична енергія залежить від сили та від кількості опадів. Значення R є загальним значенням енергії ерозії опадів. Формула (3.4) є універсальною та справедливою для будь-якого типу клімату.

Через відсутність даних опадоміру на територію дослідження було використано матеріали сайту EUROPEAN SOIL DATA CENTRE (ESDAC) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-rainfall-erosivity>, де було завантажено растрову карту ерозійності опадів з розрізненням 1 км.

### 3.2.3. Топографічний фактор LS

LS фактор є одним із найголовніших при дослідженні ерозійних процесів за моделлю RUSLE. Елемент S кількісно визначає як градієнт схилу впливає на

ерозію ґрунту, а величина  $L$  витікає з довжини схилу. Обидва фактори вказують на потенційну енергетичну силу поверхневого стоку, що формує ерозію. Закономірність є очевидною: чим крутіший та довший схил, тим сильнішим буде проявлятися потенційна ерозія. Зі збільшенням величини схилу, збільшується швидкість та турбулентність водного потоку.

У 1978 році Wischmeier та Smith визначили довжину схилу  $L$  як горизонтальну відстань від вихідного поверхневого потоку до точки, де градієнт схилу зменшується.  $L$  фактор це відношення втрати ґрунту від довжини схилу місцевості до втрати ґрунту на довжині схилу 22,13 м на тому самому типі ґрунту та місцевості (*Khassaf and Al Rammahi, 2018*).

$L$  фактор розраховується за формулами (3.8 – 3.10) (*McCool, Brown, Foster, 1987; McCool, Foster, Weesies, 1997; Renard, Foster, Weesies, McCool, Yoder, 1997*):

$$L = (\lambda / 22.13)^m \quad (3.8),$$

де:

$\lambda$  – довжина ерозійного схилу в метрах. Це місце від вододілу до точки, де ерозія припиняється і відбувається накопичення наносів;

$m$  – показник довжини схилу.

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (3.9),$$

де:

$\beta$  – схильність до ерозії. Збільшується зі збільшенням кута нахилу.

$$\beta = (\sin \theta / 0.0896) / [3 * (\sin \theta)^{0.8} + 0.56] \quad (3.10),$$

де:

$\theta$  – кут нахилу.

$S$  фактор розраховується відношенням ерозії втрати ґрунту від схилу місцевості за формулою (3.11) (*McCool, Brown, Foster, 1987; McCool, Foster, Weesies, 1997; Renard, Foster, Weesies, McCool, Yoder, 1997*):

$$S = 10.8 * \sin \theta + 0.03, \text{ якщо } s < 9\%,$$

$$S = 16.8 * \sin \theta - 0.5, \text{ якщо } s \geq 9\% \quad (3.11),$$

де:

S – градієнт схилу.

Кінцева формула має вигляд (3.12) (McCool, Brown, Foster, 1987; McCool, Foster, Weesies, 1997; Renard, Foster, Weesies, McCool, Yoder, 1997):

$$LS = L * S \quad (3.12),$$

де:

L – фактор довжини схилу;

S – фактор градієнту схилу.

#### 3.2.4. Ґрунтовий фактор K

K фактор описує стійкість ґрунту до ерозійних процесів.

Стійкість ґрунту залежить від наступних факторів:

- тип ґрунту;
- кількість органічних речовин у верхньому шарі ґрунту;
- водопроникність ґрунтового профілю;
- структурно-агрегатний стан ґрунту.

Ерозійність ґрунту напряму залежить від цих показників: на скільки ґрунт може чинити опір зовнішнім силам, переноситися, інфільтраційна здатність тощо. Діапазон значень K фактора коливається від 0 до 1, чим вище значення, тим менша стійкість ґрунтів до ерозії і навпаки. Нещільні, пористі, піщані та дрібно-піщані ґрунти найбільш сильно піддаються ерозійним процесам, так само як і ґрунти з великим вмістом мулу, значення коефіцієнта K для них в середньому варіюється від 0,4 до 1. Тоді як ґрунти з високим вмістом глини та органічних речовин є найменш уразливими до ерозії.

Отже, K фактор розраховується за формулою (3.13) (Wischmeier and Smith, 1978; Renard, Foster, Weesies, McCool, Yoder, 1997):

$$K = [(2,1 \times 10^{-4} M^{1,14} (12 - OM) + 3,25 (s - 2) + 2,5 (p - 3)) / 100] * 0,1317 \quad (3.13),$$

де:

$M$  : текстурний фактор з  $M = (m_{\text{silt}} + m_{\text{vfs}}) * (100 - m_c)$  ;

$m_c$  : вміст глинистої фракції (<0,002 мм);

$m_{\text{silt}}$  : вміст фракції мулу (0,002 – 0,05 мм);

$m_{\text{vfs}}$  : вміст фракції дуже дрібного піску (0,05 – 0,1 мм);

$OM$  : вміст органічної речовини;

$s$ : клас структури ґрунту ( $s=1$ : дуже дрібнозернистий,  $s=2$ : дрібнозернистий,  $s=3$ , середньо- або крупнозернистий,  $s=4$ : блоковий, плитчастий або масивний);

$p$ : клас проникності ( $p=1$ : дуже швидко, ...,  $p=6$ : дуже повільно) (*Wischmeier and Smith, 1978; Renard, Foster, Weesies, McCool, Yoder, 1997*).

### 3.2.5. Фактори, що залежать від освоєння ґрунтів С та Р

$C$  – коефіцієнт, що характеризує рівень освоєності сільськогосподарськими культурами та характер управління землями, що впливає на ерозійність. Це коефіцієнт покриття, він кількісно визначає захисну дію рослинного покриву на певній території (*Van der Knijff, Jones, Montanarella, 2000*). Коефіцієнт керування покриттям моделі RUSLE вказує на зв'язок між втратою ґрунту на території з типовим на даній ділянці рослинним покривом, а також залежністю від управління територією в порівнянні із оголеними ділянками (паром). Він відображає вплив методів господарювання та змін у землекористуванні на ерозію ґрунтів. Рослинний покрив захищає ґрунт від енергії бризок дощових капель, тим самим зменшуючи силу ерозії. Захисний ефект залежить від виду рослинності, а також стадії їх розвитку (*Durigon, Carvalho, Antunes, Oliveira, Fernandes, 2014*).

Під час сільськогосподарського управління змінюються текстурні особливості ґрунтів, наприклад розпушення ґрунту або навпаки ущільнення, що також помітно впливає на протікання ерозії. Значення С-фактора варіюються від 0 до 1, де 0 означає повністю захищений ґрунт і густий рослинний покрив, а 1 означає оголений ґрунт.

На сьогодні С фактор визначається з використанням даних ДЗЗ. За допомогою ГІС з використанням модулів контрольованої класифікації (SCP), описаної в попередньому розділі, можна провести класифікацію об'єктів знімків дистанційного зондування, з призначенням кожному класу відповідного коефіцієнта С згідно з табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Значення С фактора відповідно до класу об'єктів

Клас	Назва	С фактор
1	Водні об'єкти	0
2	Деревна рослинність	0,025
3	Рілля	0,5
4	Чагарникова рослинність	0,02
5	Забудована територія	1
6	Без рослинного покриву (пар)	1
7	Сніг/лід/хмари	0
8	Ліс	0,025
9	Луки	0,02

Крім того зараз науковці часто визначають С-фактор за допомогою дистанційного зондування використовуючи індекси рослинності NDVI.

Фактор заходів захисту Р визначає ефективність протиерозійних заходів і виражається у відношенні втрати ґрунту при контурній або смуговій системах обробітку земель до втрат при традиційному обробітку (зверху до низу по схилу). На величину Р фактора найбільше впливають тип землекористування

та ухил місцевості. Чим меншим буде коефіцієнт, тим краще дія заходів захисту від ерозії ґрунтів. Як і попередній фактор градація Р фактора від 0 до 1. Обидва фактори є змінними в часі, оскільки залежать від господарської діяльності людей, на відмінну від попередніх факторів, що напряду не залежать від антропогенного впливу.

Значення Р фактора в залежності від ухилу місцевості табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Значення Р фактора в залежності від ухилу місцевості (Kumar and Kushwaha, 2013)

Ухил місцевості %	Р фактор
0 - 7	0,55
7 – 11,3	0,60
11,3 – 17,6	0,80
17,6 – 26,8	0,95
>26,8	1

Отже, виконуючи вище наведені алгоритми можна визначити ерозійну небезпеку для певної території і ступінь деградації земельних угідь.

Отримані дані за моделлю RUSLE, або однією з його модифікацій не можна сприймати як абсолютно точні величини, емпірична модель дає лише прогнозовані величини середньорічної ерозії ґрунту. Точність моделі залежить напряду від точності результатів та вихідних даних для розрахунку кожного фактору. Важливою проблемою даної моделі залишається неврахування дії водної ерозії під час танення снігу чи льоду навесні. Як на особистий погляд, саме танення снігу викликає виникнення потічків, що спричиняє винесення ґрунту та формування від'ємних форм рельєфу (яр, балка тощо), що значно підвищує ерозійну небезпеку території.

## 4. ЯКІСНА ТА КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ЗЕМЕЛЬНИХ УГІДЬ В МЕЖАХ ДМИТРІВСЬКОЇ ОТГ МЕТОДАМИ ГІС ТА ДЗЗ

### 4.1. Характеристика території дослідження

Територією дослідження є Дмитрівська об'єднана територіальна громада. Знаходиться у Київській області, Бучанському районі. Була сформована у 2020 році в ході децентралізації і об'єднання 14 сіл: Бузова, Шпитьки, Горбовичі, Мрія, Личанка, Петрушки, Хмільна, Капітанівка, Дмитрівка, Гуровщина, Буча, Лісне, Любимівка, Мила. Колишні чотири старостинські округи: Личанка, Шпитьки, Петрушки, Бузова [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org> (рис. 4.1).

Кількість населення (станом на 2022 рік) – 16000 осіб.

Площа територіальної громади - 138,9 км<sup>2</sup>.

КОАТУУ: 3222484401

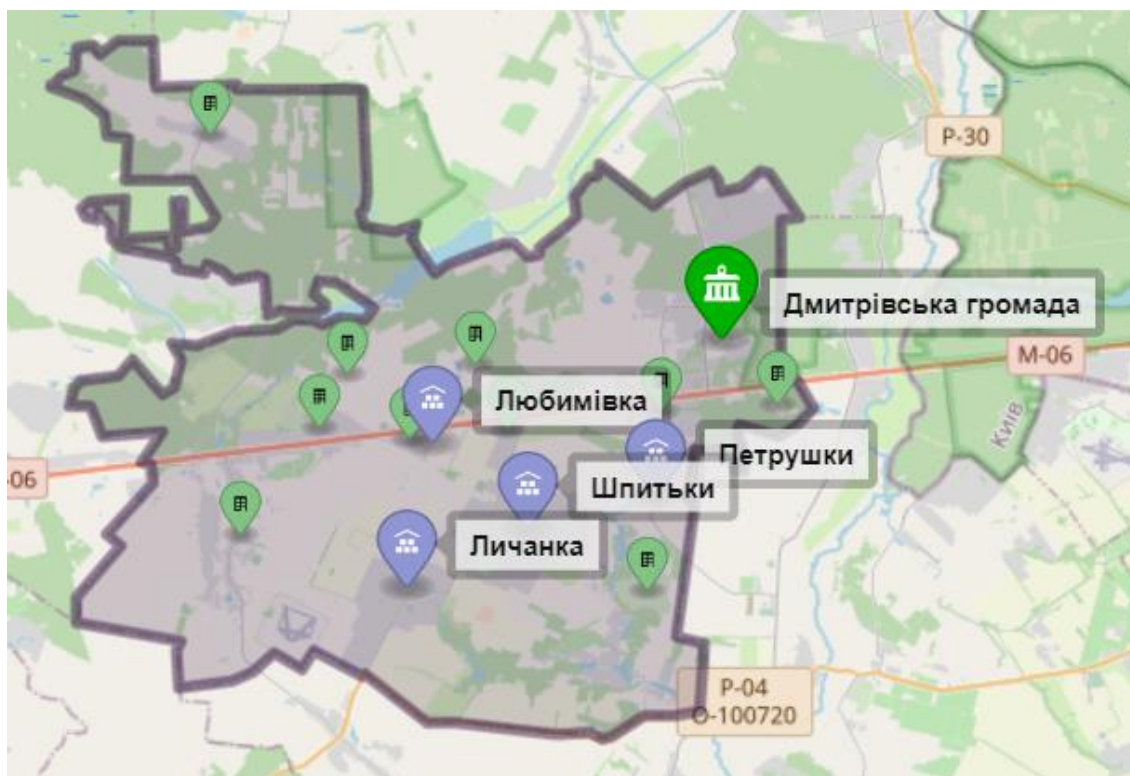


Рис. 4.1 Межі Дмитрівської територіальної громади [Електронний ресурс] -

Режим доступу: <https://www.openstreetmap.org/>

Рельєф рівнинний. Клімат помірно-континентальний. Середня кількість опадів 430 мм на рік (*Екологічний паспорт Київської області, 2020*).

Дмитрівська ОТГ входить до приміської зони міста Києва. Адміністративний центр Дмитрівської громади знаходиться на відстані 30 км від центру м. Києва по напрямку Київ-Чоп. Дмитрівська ОТГ не входить до зон радіоактивного забруднення, села не мають статусу курорту. Малоповерхова забудова є переважаючим типом, також є поодинокі багатоповерхові будинки. Природно-кліматична ситуація сприятлива для ведення сільського господарства.

В межах Дмитрівської ОТГ знаходиться заказник ботанічний «Дмитрівський», площа якого 16,6 га та заказник лісовий «Гореницький» з загальною площею 230,6 га.

На території ОТГ налічується 9 лікарень, 2 медичні амбулаторії, 10 церков, 12 шкіл та 14 садочків. В селі Бузова є етно-музей «Українське село».

Всі села, що входять до складу Дмитрівської громади газифіковані та електрифіковані. Проходить автомагістраль Київ-Чоп.

В якості планово-картографічної основи було взято проект землеустрою щодо встановлення (зміни) меж с. Дмитрівка, с. Капітанівка, с. Мила, а також проект землеустрою щодо встановлення (зміни) меж с. Личанка, с. Шпитьки, с. Бузова. Як додаткові матеріали було використано доступні генеральні плани на населені пункти.

#### **4.2. Встановлення меж та виду угідь Дмитрівської ОТГ**

Для поставлених задач було обрано знімки супутника Sentinel 2, оскільки вони є безкоштовними та мають непогану просторову розрізненість – 10 м. Важливим також є те що Sentinel 2 робить знімки в каналах спектра від видимого до короткохвильового інфрачервоного.

Інформація про знімки:

назва: L1C\_T35UQR\_A027818\_20220404T091058.

дата зйомки: 2022-04-04.

час: 10:52:13.

Завантажено з сайту Геологічної служби США USGS <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Перш за все виконується геопросторова прив'язка всіх растрових картографічних і фотографічних матеріалів в системі координат WGS 84 за методом зіставлення опорних точок з відомими координатами та введення їх значень.

#### **4.2.1. Сегментація зображення**

На першому етапі дослідження проведено об'єктний аналіз зображення. Об'єктний аналіз зображень містить два основні кроки: сегментацію зображення та класифікацію. Сегментація представляє собою поділ зображення (космознімку) на однорідні/подібні об'єкти, що визначаються такими за текстурними, морфологічними ознаками та відповідно до яскравості пікселів.

Результати сегментації об'єкта залежать від визначення значення розміру сегмента. Сегментація з занадто великими значеннями як результат дасть великі об'єкти, тобто будуть захоплені «зайві області» і навпаки, що в кінцевому результаті може призвести до таких явищ – «пересигментація» та «недосигментація» (рис. 4.2-4.4). Тому визначення правильного значення розміру сегменту є важливим для досягнення успіху при роботі з OBIA.

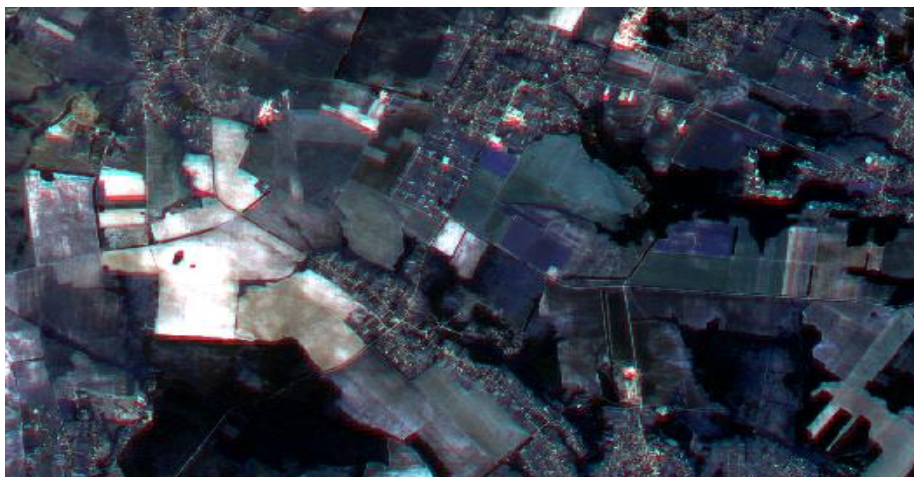


Рис. 4.2 Фрагмент  
композитного  
знімку Sentinel 2

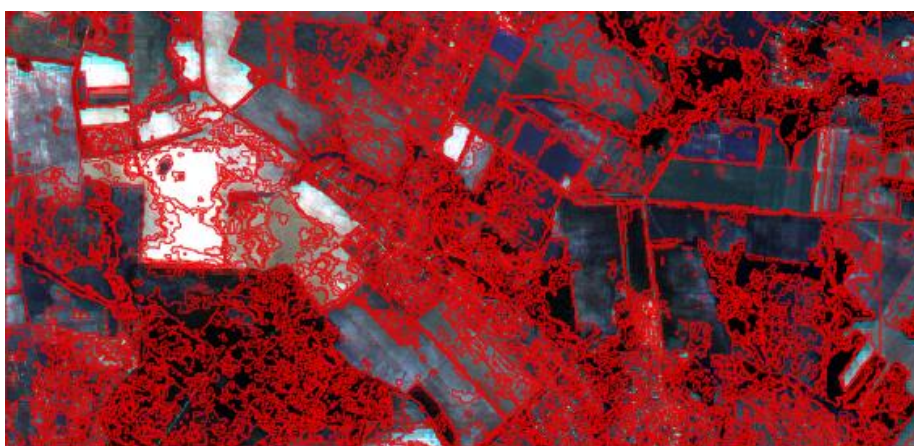


Рис. 4.3 Фрагмент  
сегментації з  
параметром  
розміру сегменту  
50

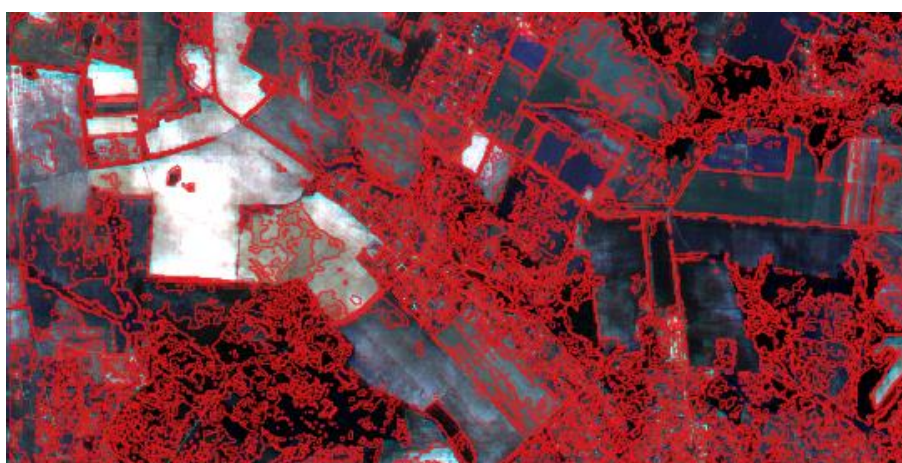


Рис. 4.4 Фрагмент  
сегментації з  
параметром  
розміру сегменту  
70

В ході дослідження встановлено, що для даної території дослідження оптимальними розміром сегменту є 70. Визначені параметри сегментації можна використовувати як шаблон – еталон для подальших досліджень.

Для просторового радіуса обрано значення 0,001.

Детальна візуалізація результату сегментації показано на рис. 4.5.

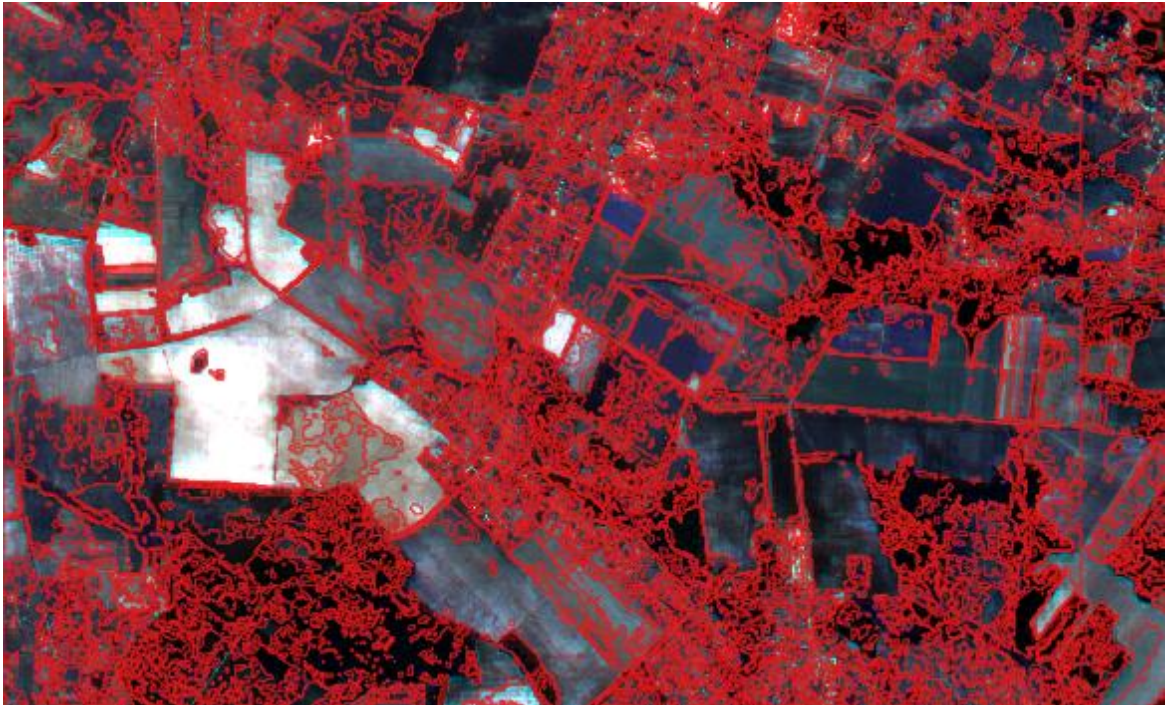


Рис. 4.5 Фрагмент сегментації об'єктів зображення

Найкраще було сегментовано землі, що мають чітко окреслені межі, найгірше піддалися процесу сегментації неоднорідні за кольором та текстурою угіддя, наприклад ліси та забудовані території. Крім того проблемними місцями є земельні угіддя з різною якістю рослинного покриву, що мають не однакий колір (місця з більш густою рослинністю та прорідженою), за алгоритмами програма розпізнає їх як різні об'єкти, що насправді є помилковим.

Для більш точної сегментації рекомендовано обирати космознімки з більш високою просторовою розрізненістю (від 5 м), адже при збільшенні розрізненості збільшується спектральний діапазон, що дає змогу більш детально оперувати інформацією про спектральні характеристики та текстурні особливості об'єктів місцевості на космознімках.

При цьому оцінку точності було проведено експертним, більш точно та в числовому виразі можна проводити оцінку на наступному етапі, в ході класифікації об'єктів зображення.

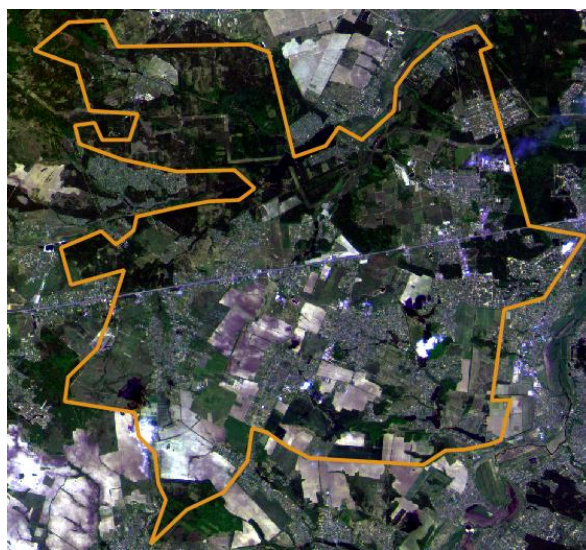
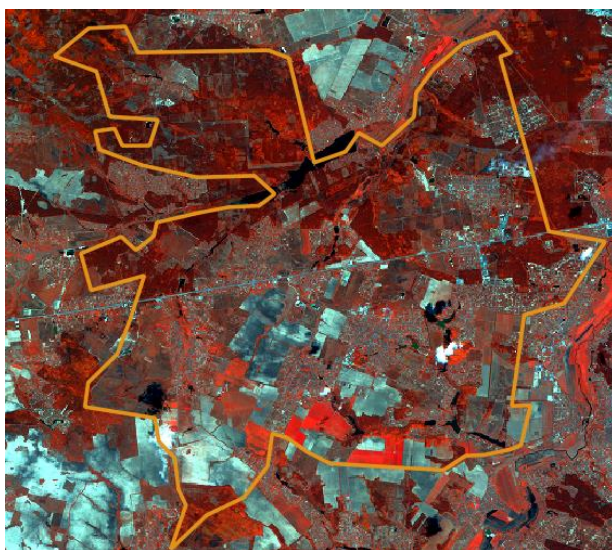
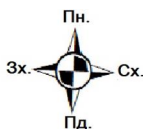
#### 4.2.2. Класифікація об'єктів зображення

Класифікація об'єктів зображення необхідна для встановлення виду угідь, ідентифікації посівів, стану рослинного покриву тощо.

З метою кращого дешифрування знімків було виконано синтез багатоспектральних знімків різних каналів. Для цього було виконано кольоровий композит на основі трьох монохромних космознімків: 7-3-2, 4-5-1 (рис. 4.6-4.7).

Це необхідно, оскільки класифікація є напівавтоматичною, тобто частину роботи виконує людина, а саме визначає які області або об'єкти зображення будуть віднесені до певного класу, саме тому для кращого розпізнавання було застосовано методи синтезу каналів космознімків.

Процедуру синтезу було виконано в програмному продукті QGIS з використанням вбудованих інструментів поєднання каналів. За допомогою композиту користувач може краще ідентифікувати: водні об'єкти, забудову, ліси, сільськогосподарські угіддя, земельний покрив тощо.



0 10 км

Рис. 4.6 Композит каналів 7-3-2

Рис. 4.7 Композит каналів 4-5-1

Завдяки синтезу каналів 7-3-2 ми можемо краще ідентифікувати рослинність – хвойні ліси відображаються темно-червоним кольором, світло-червоним кольором відображається чагарники або різнотрав'я, синім кольором – забудова. Композит каналів 4-5-1 застосовується для дешифрування водних та антропогенних об'єктів.

Як видно з рис. 5.6–5.7 в північній частині територіальної громади знаходяться хвойні ліси, через всю територію проходить траса Чоп-Київ, вона виділена синім кольором. Сільськогосподарські угіддя, їх найбільша кількість зосереджена за межами населених пунктів, що відображаються синім кольором. Оскільки знімки взято за весняний період велика кількість угідь є ще без рослинного покриву, або знаходиться в стані пару. Найбільший водний об'єкт це річка Буча, що протікає в північно-західному напрямку. Також є невеликі поодинокі водні об'єкти (озера, ставки) на південному-сході та заході Дмитрівської територіальної громади.

Також виконано розрахунок NDVI, що також є важливим орієнтиром при класифікації земельних угідь (рис. 4.8).

Усереднений показник NDVI по Дмитрівській ОТГ – 0,33, що є характерним для відносно здорової рослинності.

На основі синтезованих зображень виконується подальша класифікація. Для цього в середовище QGIS 3.26.3 було завантажено пагін Semi-Automatic Classification (SCP) 3.22. Основною перевагою QGIS є відкритість його системи і можливість завантаження додаткових безкоштовних модулів.

Класифікація проводилась за методом KNN (k-найближчих сусідів) за яким відбувається аналіз точки (пікселю) і віднесення її до відповідного класу на основі переважаючих класів сусідніх точок. Також відбувається обов'язкове коригування додаткових параметрів: найменша відстань, ширина тощо.

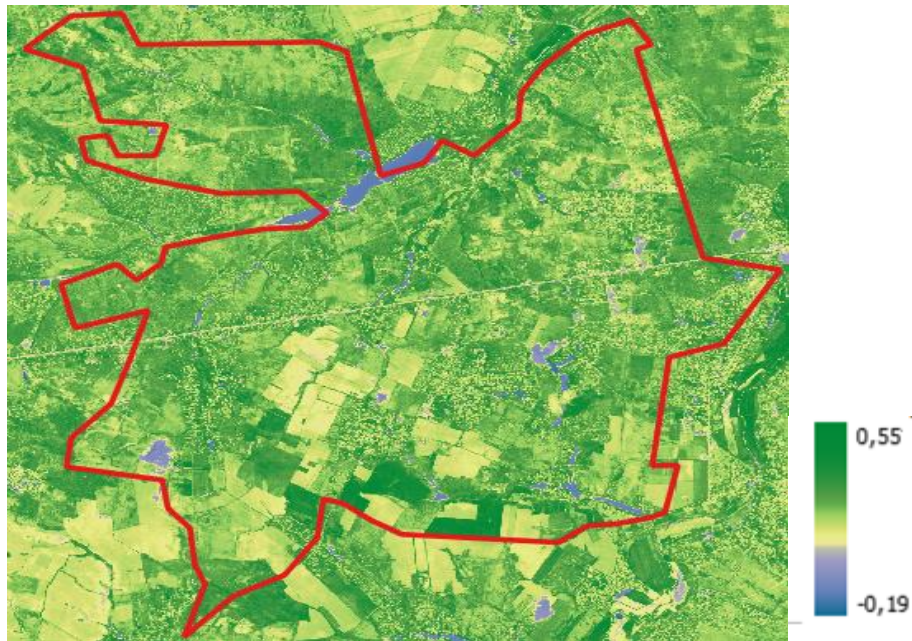


Рис. 4.8 Карта NDVI на територію Дмитрівської ОТГ

За допомогою інструменту ROI в SCP окреслено еталонні полігони та віднесено їх до визначених класів (рис. 4.9):

- забудована територія (zabydov);
- ліси (lis);
- луки: пасовища, сіножаті, перелоги (lyki);
- водні об'єкти (voda);
- пар - рілля без рослинності (rilla\_ochischena);
- рілля з рослинним покривом (rilla\_z\_rosl).

Після створення класів та підкласів об'єктів, необхідно побудувати робочі області (ROI) – ділянки, що є ідентифікатором певного класу та його спектральні характеристики будуть сприйматися як еталонне значення. Створити ROI можна двома шляхами, в першому випадку ділянку окреслюють (оцифровують) вручну у вигляді полігонального об'єкта, іншим способом є метод нарощування області. Для класифікації об'єктів забудови було застосовано метод нарощування області, що полягає в урахуванні спектральної подібності сусідніх пікселів. Для цього за допомогою

вбудованого інструменту обирається один піксель як еталонний, задається відстань. В даному випадку значення відстані = 0,1.

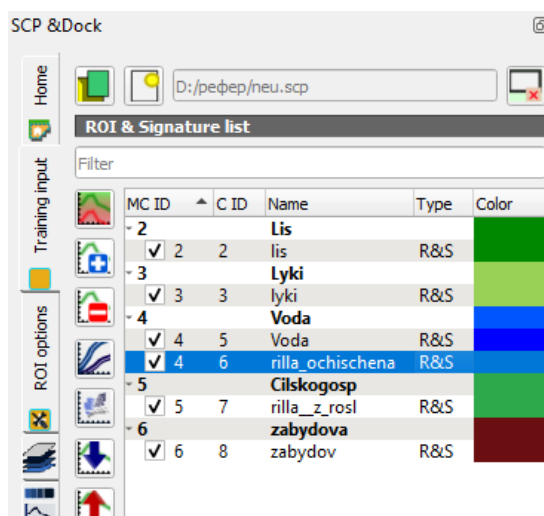


Рис. 4.9 Перелік класів

Результат класифікації показано на рис. 4.10.

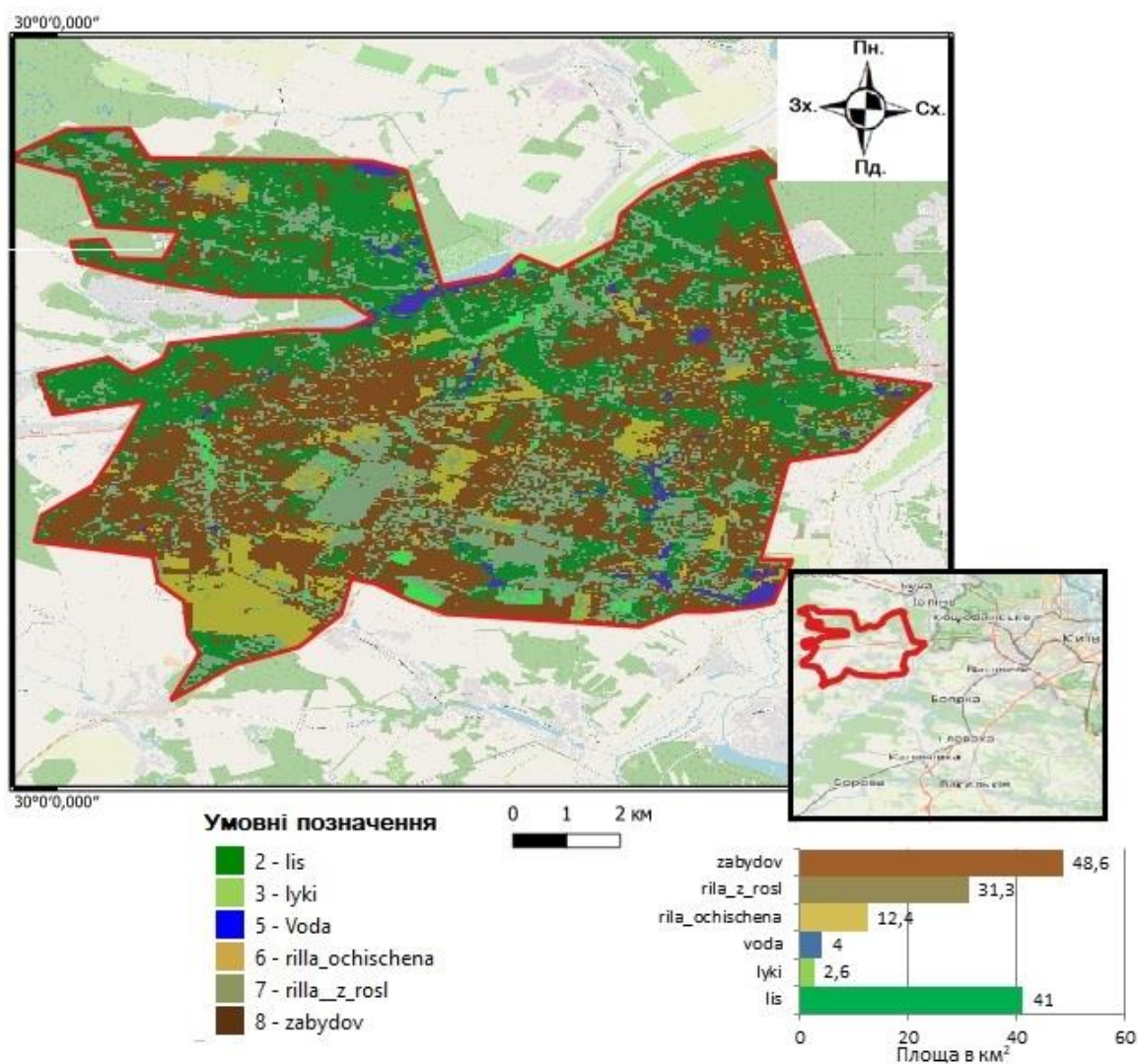
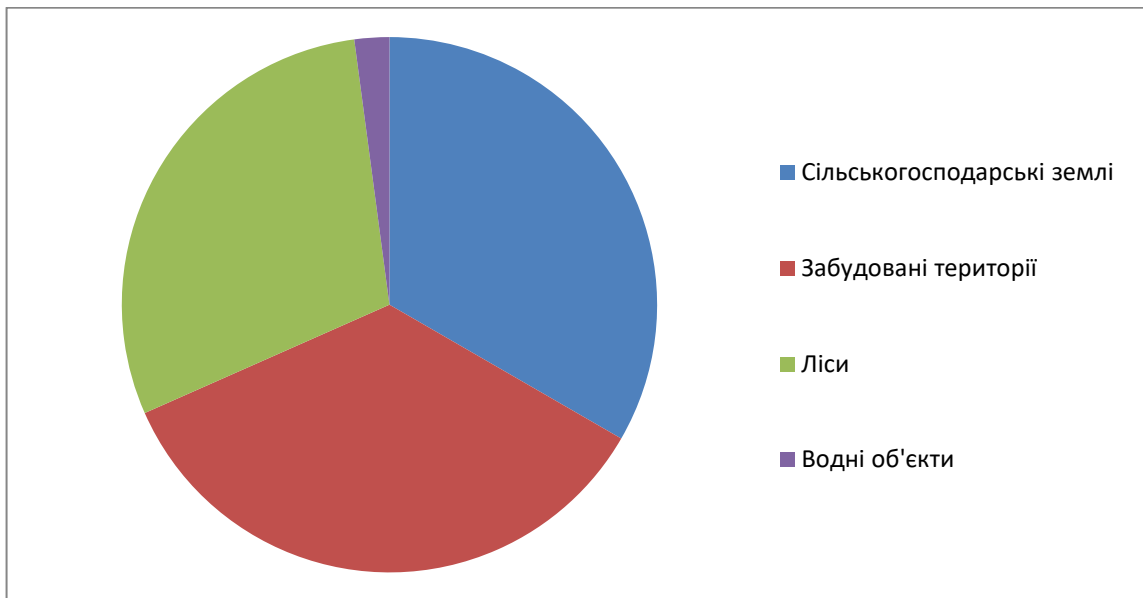


Рис. 4.10 Класифікація угідь в межах Дмитрівської ОТГ

Виходячи з результатів дослідження було виявлено, що найбільші площі займають землі забудови, їх відсоткове співвідношення до загальної кількості земель становить 35%, на другому місті – землі сільськогосподарського призначення 33,3%, ліси - 29,5%, водні об'єкти - 2,1% (рис. 4.11). Можна прийти до висновку що в межах Дмитрівської ОТГ переважають забудовані території (діаграма 4.1).

Class	PixelSum	Percentage %
2	18416	29.4656
3	1194	1.9103999999999999
5	1303	2.0848
6	5582	8.9312
7	14055	22.488
8	21950	35.120000000000005

Рис. 4.11 Розподіл кількості угідь



Діаграма 4.1 Структура земельного фонду Дмитрівської ОТГ відповідно до проведеної класифікації

Також завантаживши графік спектральних кривих (рис. 4.12) можемо проаналізувати спектральну відбивну здатність всіх класифікованих об'єктів. Таким чином найбільших проблем з класифікацією мають забудовані землі (рис. 4.13), оскільки цей клас перетинається з класом сільськогосподарських угідь, що пов'язано з тим що територією дослідження є сільська місцевість і з недостатньою високою просторовою розрізненістю базових космоснімків.

Найкраще піддаються класифікації водні об'єкти, оскільки вони мають найнижчий показник спектральної відбивної здатності, порівняно з іншими об'єктами класифікації.

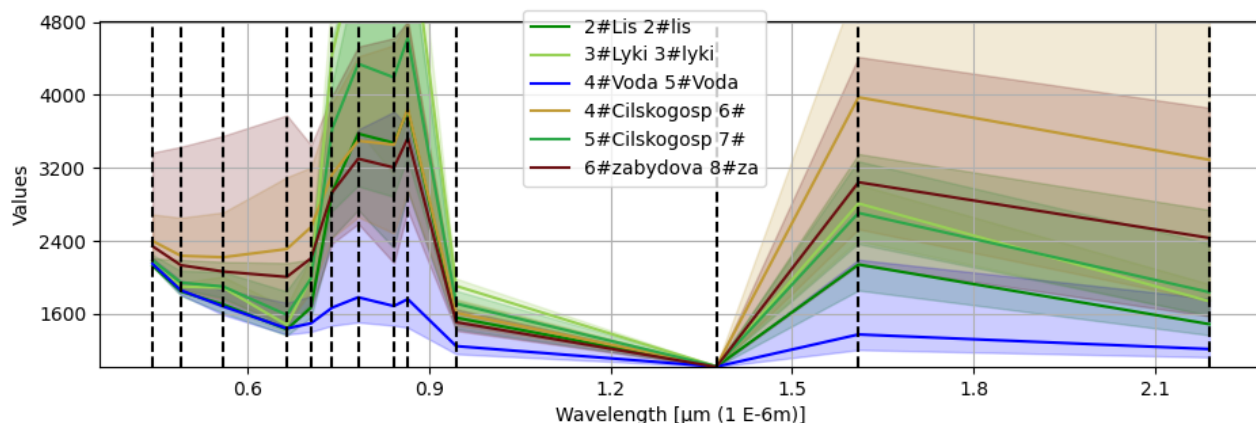


Рис. 4.12 Графік спектральних кривих для всіх класів об'єктів

Як видно з графіку на рис. 4.12 найвищу відбивну здатність мають землі сільськогосподарського призначення в видимій червоній зоні (довжина хвилі 0,6 – 0,7  $\lambda$ ). Найменшу - водні об'єкти, пік відбиття у видимій синій зоні, довжина хвилі 0,4 – 0,5  $\lambda$ .

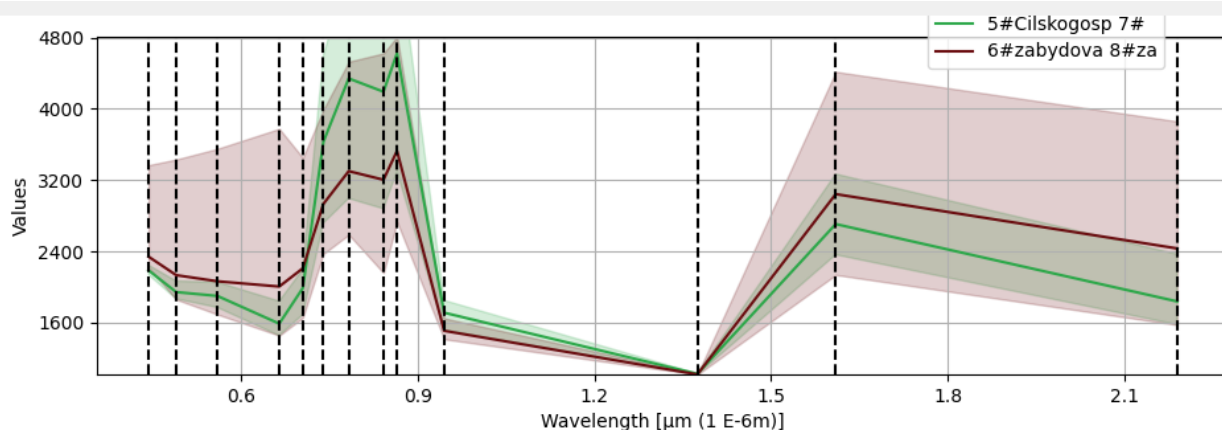
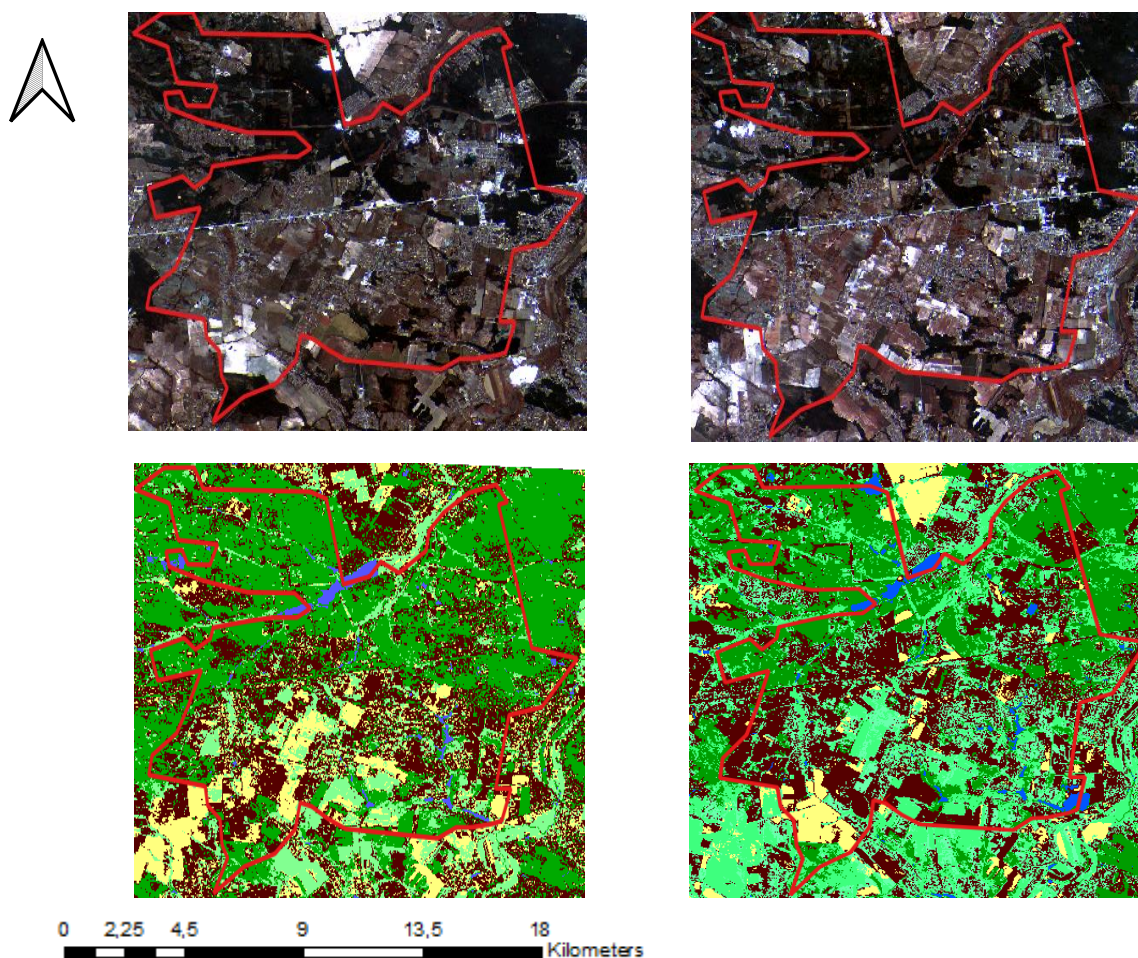


Рис. 4.13 Графік спектральних кривих класу сільськогосподарських земель та забудови

За допомогою розробленої класифікації можна виконувати ретроспективний аналіз використання земель, визначати динаміку та зміни різних процесів з метою управління земельними ресурсами.

Для фіксування змін у структурі земель було використано архівний багатоспектральний знімок Sentinel 2 на дату 06.04.2016. Назва L1C\_T35UQR\_A000576\_20160406T090006.

З метою кращого дешифрування знімків було виконано їх композит, аналогічно до того, як описано вище. Виконано класифікацію архівного знімку та порівняно з класифікацією знімку на дату дослідження (рис. 4.14 - 4.15).



Умовні позначення:

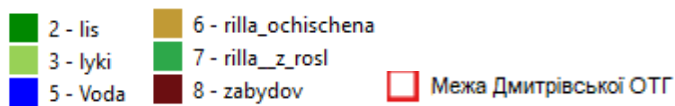


Рис. 4.14 Класифікація земель на період 06.04.2016

Рис. 4.15 Класифікація земель на період 08.04.2022

За результатами порівнянь класифікації знімків за 2016 рік та знімків за 2022 рік було виявлено певні кількісні зміни у структурі земель, а саме зросла

кількість забудованих територій на 1,3 % за 6 років в більшій мірі за рахунок земель сільськогосподарського призначення та земель лісового фонду, що пов'язано з процесом урбанізації. Стрімкий процес зменшення кількості земель сільськогосподарського призначення (переведення їх до інших категорій земель) може спричинити низку негативних економічних та екологічних явищ, саме тому є потреба в постійному моніторингу таких процесів, а запропонована схема класифікації земель за даними ДЗЗ з використанням ГІС значно полегшує та автоматизує роботу спеціалістів в даній області.

Ще однією перевагою використання такої класифікація є можливість моніторингу сівозмін. Із рисунку 4.15 можна побачити як змінився розподіл пару на полях (зорана рілля без рослинності).

Для перевірки точності класифікації було побудовано матрицю помилок та розраховано показник точності проведеної класифікації.

Як вихідний шар було взято растровий файл виконаної класифікації, як опорне більш точне джерело даних в середовище QGIS завантажено базову мапу OpenStreetMap.

За допомогою інструменту Multiple ROI creation, вбудованого в модуль SCP, було автоматично побудовано 50 випадкових точок в межах класифікованого растру (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Фрагмент таблиці з координатами випадкових точок

№	X	Y	MC ID
1	726836.0628634071	5597054.351813084	1
2	722998.0136568346	5584307.627037947	1
3	727839.7646093058	5592558.303336697	1
4	724508.3548361883	5581849.7152953325	1
5	733713.8916524823	5593457.146588331	1
6	706883.7139910839	5571926.648778647	1



***Загальна точність класифікації за видом угідь становить 77.76%***

Як видно з матриці, помилки були допущені при класифікації земель сільськогосподарського призначення, що були віднесені до земель забудови, це пояснюється сільською місцевістю території дослідження, найкраще було класифіковано ліси (класифікація 16 точок з 17 пройшла успішно). Також помилка виникла при класифікації водного об'єкта, що пов'язано з його лінійною формою, малою шириною та недостатньо високою просторовою розрізненістю супутникового знімку.

Проте, хочеться зазначити, що достатньо високий відсоток достовірності результатів може бути пояснений відносно малою кількістю випадкових точок, що були прийняті опорними для дослідження (50 шт.). Тому при подальших дослідженнях рекомендується встановлювати більшу кількість опорних точок, з метою чистоти експерименту.

Тож в результаті дослідження було проведено аналіз мультиспектральних знімків Sentinel 2 на територію дослідження, виконано їх синтез з метою підвищення результатів дешифрування, виконано сегментацію растрового знімку для автоматично визначення меж угідь, проведено класифікацію земель в межах Дмитрівської ОТГ, розраховано точність класифікації. Як результат отримано карту сегментації у векторному форматі та растрову карту класифікації, що можуть бути об'єднані в один шар для подальших досліджень земельного фонду Дмитрівської об'єднаної територіальної громади (рис. 4.17).

Отримані дані в подальшому можуть бути використані в цілях землеустрою, кадастрових цілях, моніторингу та охороні земель, для контролю дотримання сівозмін, при нераціональному та протиправному використанні земельних ділянок не за цільовим призначенням, а також у розрізі земельно-оціночних робіт, оскільки кількісний склад та види угідь є важливими даними при розрахунку нормативної грошової оцінки земель.

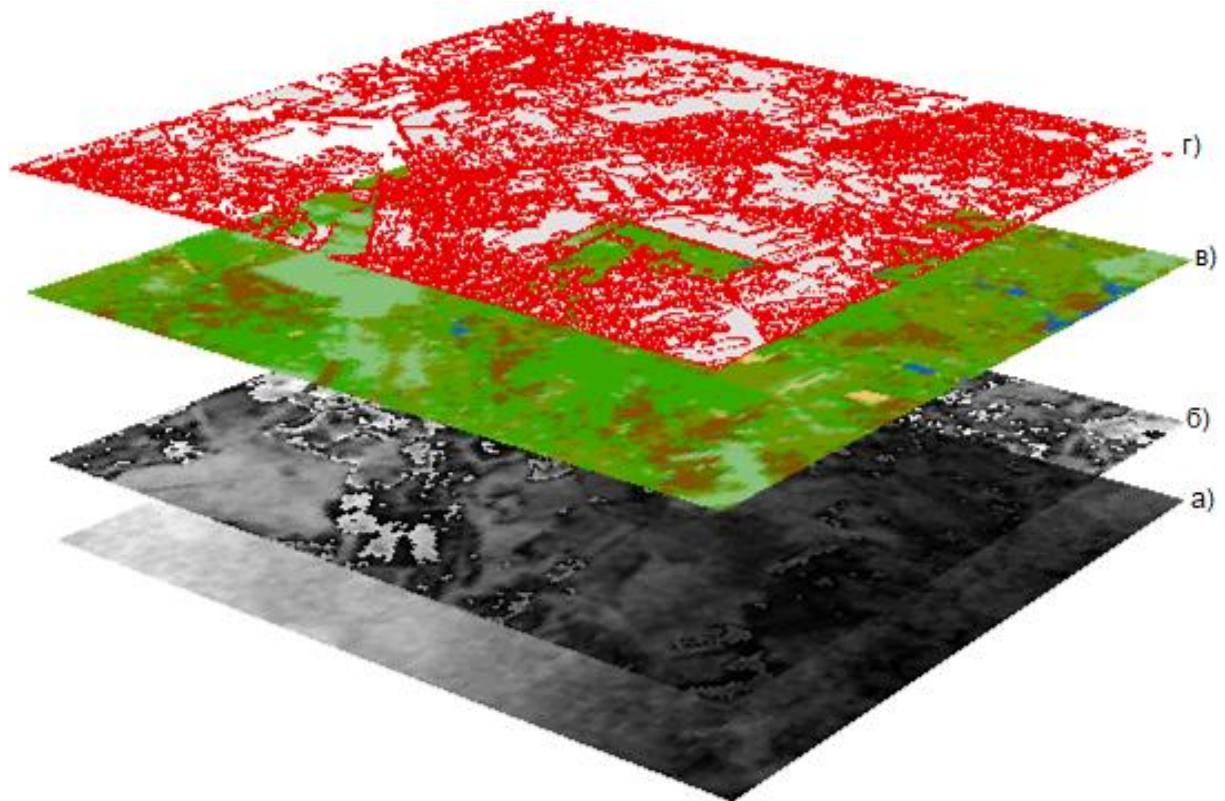


Рис. 4.17 Результуючі шари: а) космоснімок; б) оброблений космоснімок; в) класифікація угідь на космоснімку; г) сегментація об'єктів космоснімку.

*Висновки:* в даному підрозділі було розглянуто впровадження методу OBIA як одного з доступних плагінів в QGIS, що застосовується для дослідження планування території, в тому числі при проведенні землеустрою, веденні сільського господарства та в інших сферах, що оперують просторовою інформацією.

Використовуючи дані ДЗЗ та ГІС можна в автоматичному режимі проводити класифікацію угідь та встановлювати їх межі.

В ході роботи визначено оптимальні параметри для виконання класифікації та сегментації космоснімків, в межах території дослідження.

Дослідження показало, що відповідно до проведеної класифікації найбільшу площу займає забудована територія (35%), на другому місті – землі сільськогосподарського призначення (33,3%), ліси - 29,5%, водні об'єкти - 2,1%. Точність класифікації становить 77,8%.

Використання плагіну OBIA та інструментів Orfeo значно полегшують та спрощують процеси моніторингу та планування землеустрою, що є безумовно важливим для раціонального використання земель.

#### 4.3. Якісна оцінка земель. Побудова моделі RUSLE

Територією дослідження та практичного застосування моделі RUSLE було обрано Дмитрівську об'єднану територіальну громаду та село Бузова, що знаходиться в її межах (рис. 4.18).

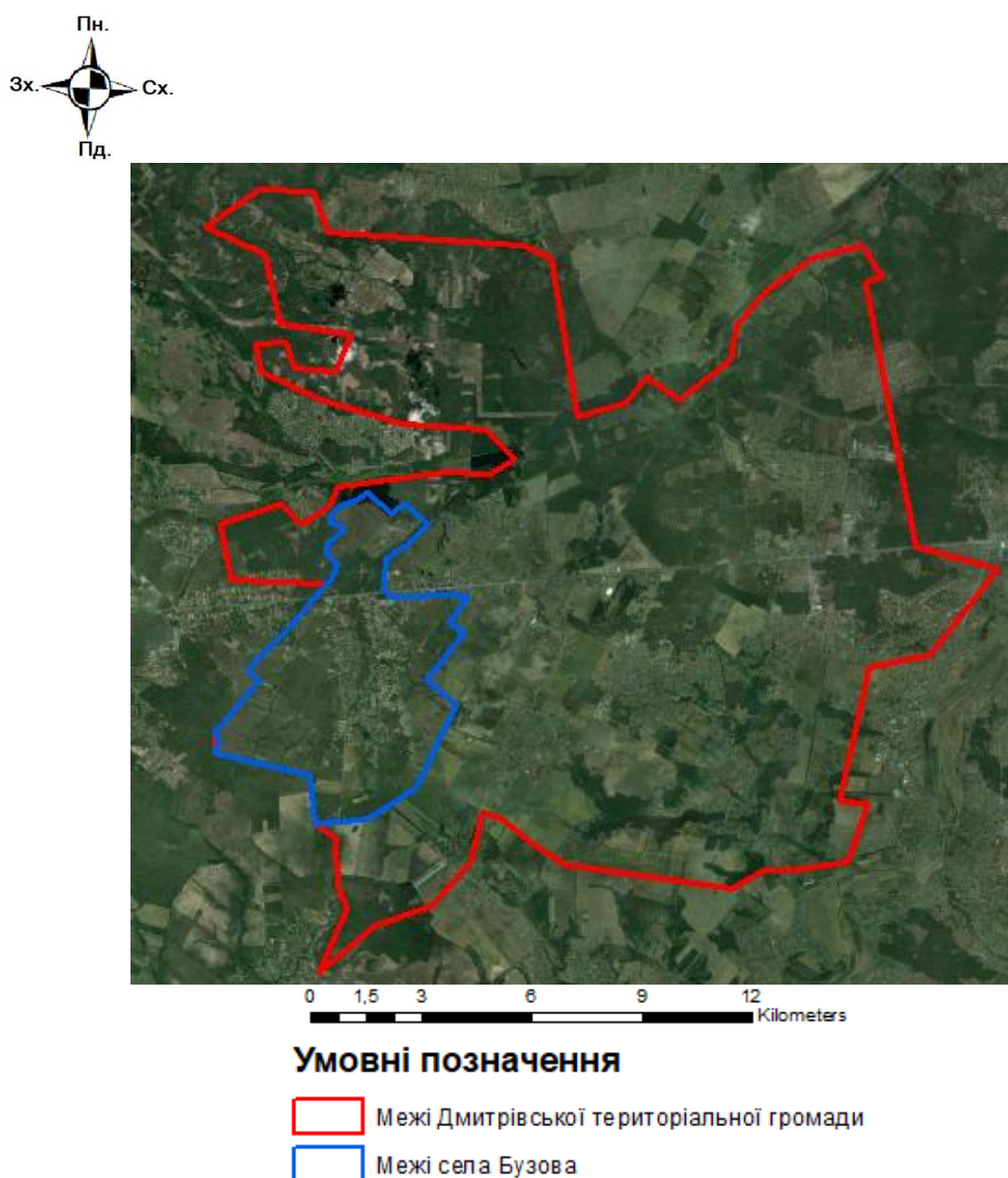


Рис. 4.18 Межі Дмитрівської територіальної громади та села Бузова

Матеріали дослідження:

- генеральний план села Бузова в масштабі 1:5000 (Додаток А);
- світова ґрунтова карта. Розрізненість карти 1 км;
- карта ерозії від опадів. Просторова розрізненість карти 1 км.
- попередні матеріали класифікації об'єктів знімку ДЗЗ на територію Дмитрівської ОТГ.

На першому етапі для розрахунку LS фактору на основі Генерального плану села Бузова Дмитрівської ОТГ було оцифровано горизонталі. Дата затвердження генерального плану 2016 рік. Масштаб 1:5000. Основні горизонталі проведено через 5 м. Фрагмент оцифрованих горизонталей відображено на рис. 4.19.

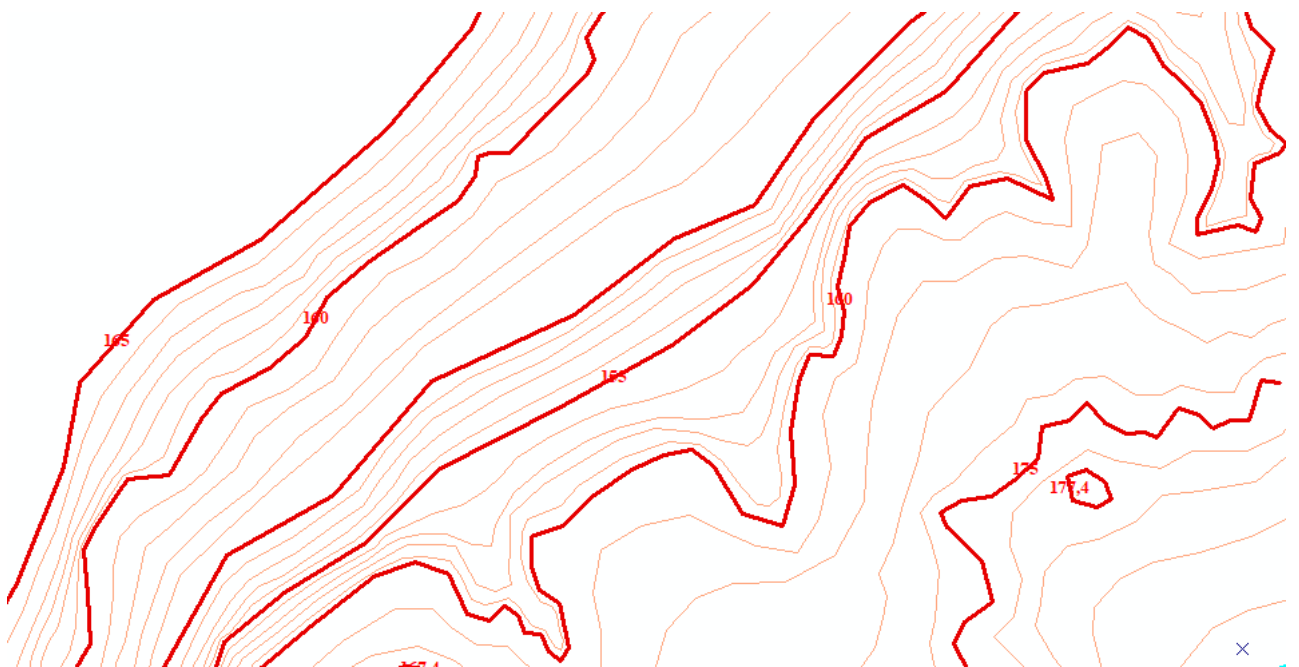


Рис. 4.19 Фрагмент оцифрованих горизонталей

Було оцифровано основні та допоміжні горизонталі. В атрибутивну базу даних внесено значення висот. Як допоміжний засіб, при цифруванні горизонталей було використано інструмент «Contour» та «Contour List». З метою наступної обробки використано додатковий модуль в ArcGIS «Spatial Analyst extension». Для подальшої роботи виконано трансформацію векторного формату в растровий за допомогою функції «Toro to Rastr»

(рис. 4.20). Перетворення в растр необхідний для побудови цифрової моделі рельєфу (рис. 4.21).

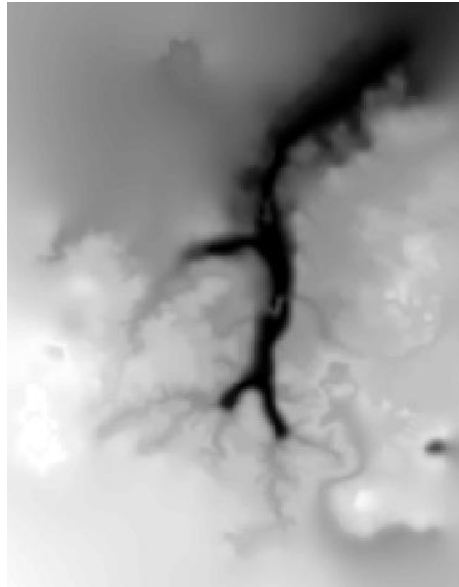


Рис. 4.20 Растрове зображення рельєфу села Бузова

В ArcScene було завантажено растрове зображення та побудовано 3D модель рельєфу села Бузова (рис. 4.21).

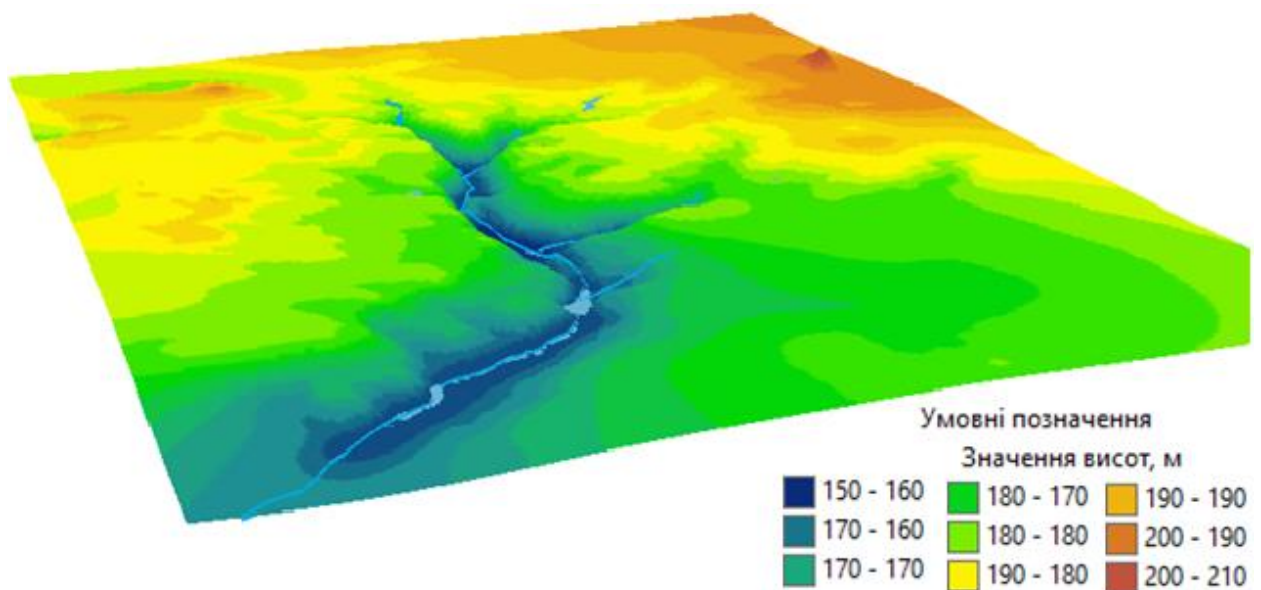


Рис. 4.21 3D модель рельєфу села Бузова

Згідно з побудованою моделлю рельєф села Бузова характеризується помітними перепадами висот від 150 до 210 м. Це пов'язано з тим, що в межах населеного пункту протікає річка Буча, що є лівою притокою р. Ірпінь. На південному-заході є підвищення у вигляді пагорба з висотою 210 м. Саме

через таку форму рельєфу, а саме помітні перепади висот, було обрано село Бузова як об'єкт дослідження.

Для подальшого дослідження було використано інструмент «Fill» (Spatial Analyst), що використовується для заповнення прогалів даних в вихідному растрі. На основі отриманого результату визначаємо напрямок потоку з кожного пікселя для гідрогеологічних характеристик, для цього використовуємо функцію «Flow Direction» за результатом формуємо растр накопичення потоку «Flow Accumulation». Також для розрахунку LS фактора необхідно побудувати растрову картосхему ухилу для цього використано інструмент «Slope». Використовуючи функцію «Map Algebra» вводимо формулу (3.8-3.12), що описана в розділі 3.2.3. (рис. 4.22).

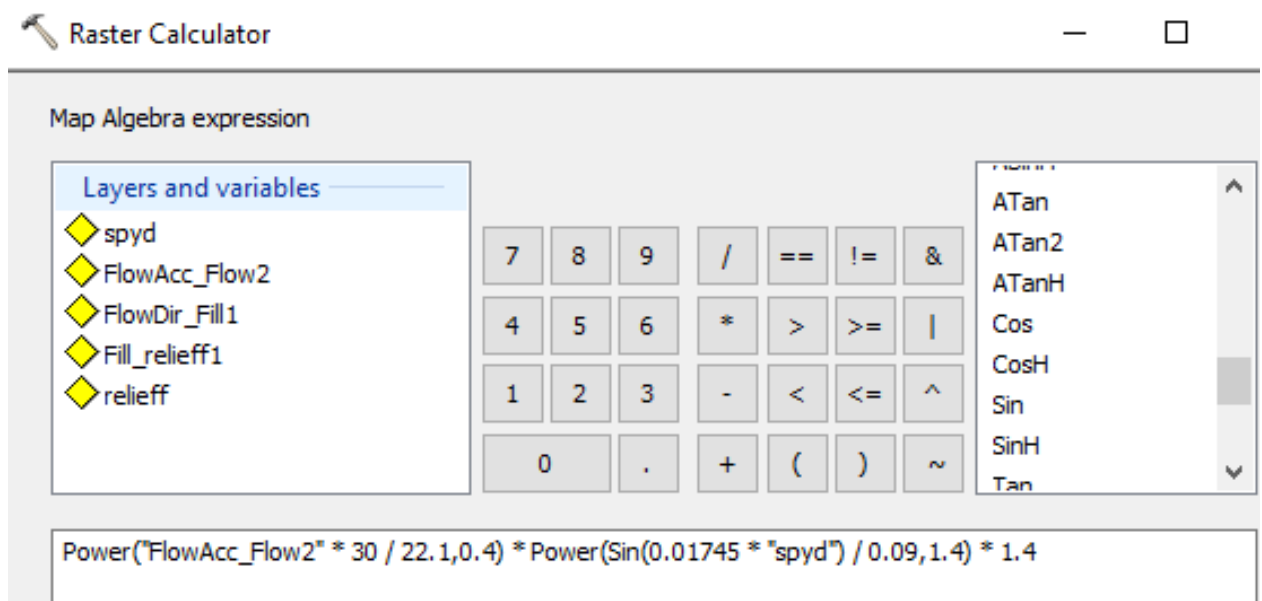


Рис. 4.22 Формула для розрахунку LS фактора

Як результат отримуємо растрову картосхему (рис. 4.23). Найвищі показники LS фактору характерні для схилів річки. Ухил місцевості відіграє найважливішу роль в формуванні ерозійних процесів. Чим більше ухил, тим швидше буде протікати процес стоку та зменшуватися інфільтрація. Такі місця, підвищеної ерозійної небезпеки потребують певних мір захисту,

наприклад, закріплення та заліснення таких територій, а також терасування схилів у сільському господарстві.

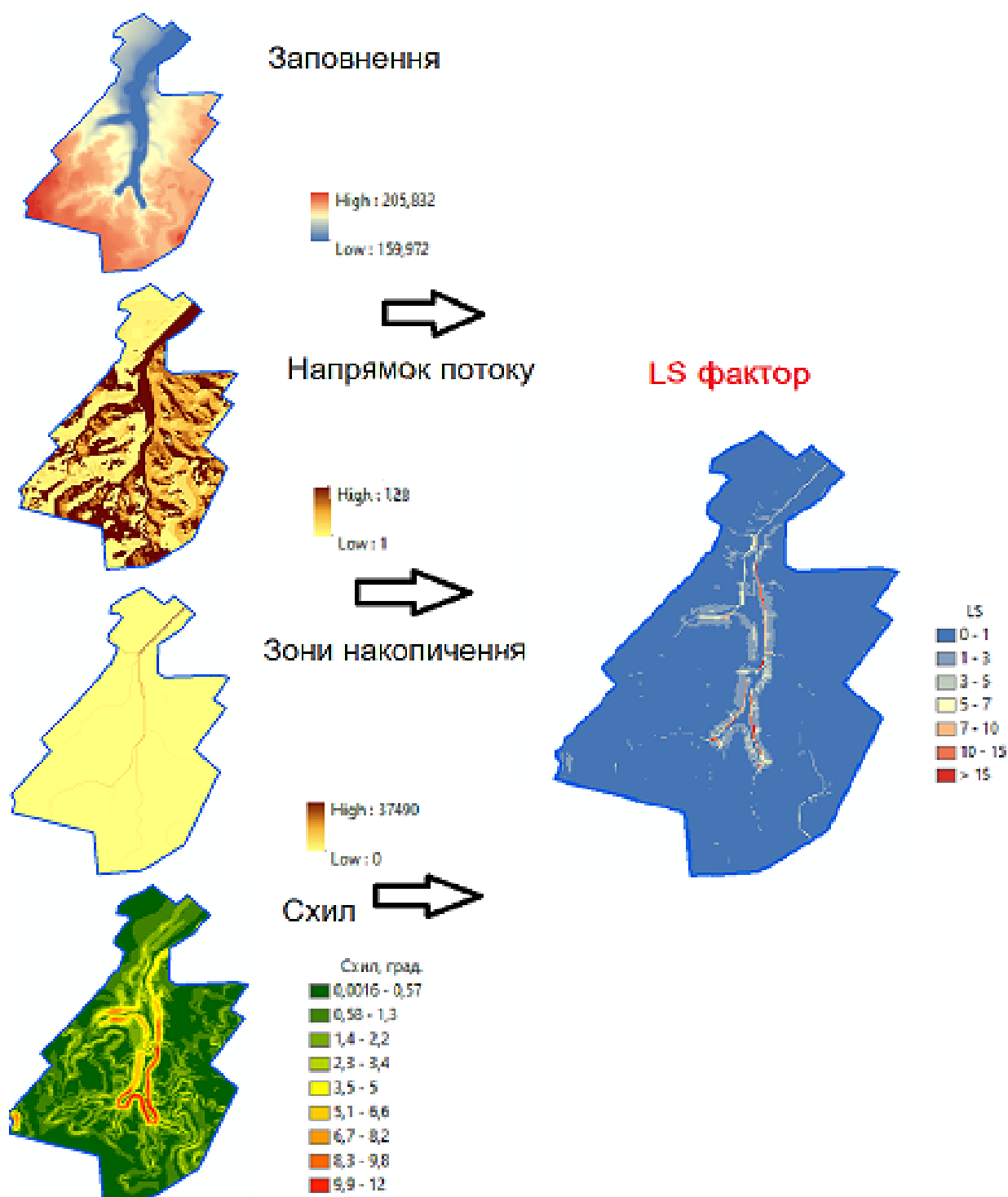


Рис. 4.23 Картосхеми розрахунку LS фактору

Для розрахунку К фактору було завантажено растрову світову ґрунтову карту розроблену Міжнародним інститутом прикладного системного аналізу. Розрізненість карти 1 км. Пов'язана таблиця містить дані про органічний

вуглець, рН, глибину ґрунту, ємність катіонного обміну ґрунту, вміст глинистої фракції, загальну кількість обмінних поживних речовин, вміст вапна та гіпсу, обмінний натрій, солоність, текстурний клас і гранулометрію.

Беручи дані з пов'язаної таблиці, а саме дані про вміст глинистої фракції (T\_CLAY), вміст мулу (T\_SILT), вміст фракції дрібного піску (T\_SAND), та вміст органічної речовини (T\_OC), попередньо визначивши тип ґрунту, що залягає на даній території, підставляємо значення у формулу (3.13), що зазначена у розділі 3.2.4. Результати розрахунків рис. 4.24.

OBJECTID *	SHAPE *	silttopsoil	sandtopsoil	claytopsoil	occtopsoil	Fsand	Fclay	ForgC	Fsilt	Kfactor
1	Polygon	54	35	11	1,2	0,20486	0,94589	0,98718	0,99996	0,025193
2	Polygon	54	25	21	1,6	0,21579	0,90614	0,90614	0,99999	0,025217

Рис. 4.24 Фрагмент атрибутивної таблиці розрахунку К фактора

Результат розрахунку К фактора рис. 4.25.

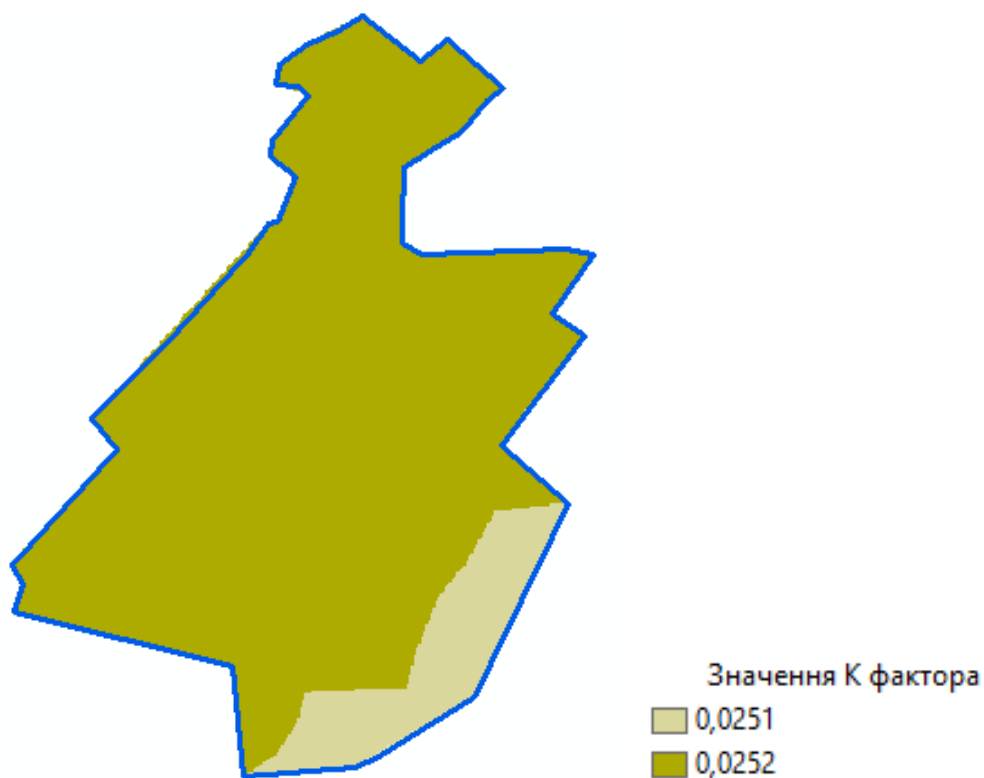


Рис. 4.25 Картошхема розрахунку К фактора

Відносно низькі значення К фактора говорять про високу стійкість ґрунтів даної території до ерозійних процесів. Основними ґрунтами на даній території є дерново-підзолисті на супіщаних відкладах, ясно-сірі та сірі опідзолені супіщані.

Для побудови картосхеми кліматичного фактору R було завантажено глобальну карту ерозії від опадів з ресурсу Європейського центру ґрунтових даних (ESDAC): [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-rainfall-erosivity>. Просторова розрізненість растрової карти 1 км. Часове покриття 30-40 років. Ерозійність опадів визначено в МДж мм год·м<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>.

Після завантаження глобальної растрової карти було вирізано область села Бузова, використовуючи функцію «Extraction by Mask». Результуюча картосхема на рис. 4.26.

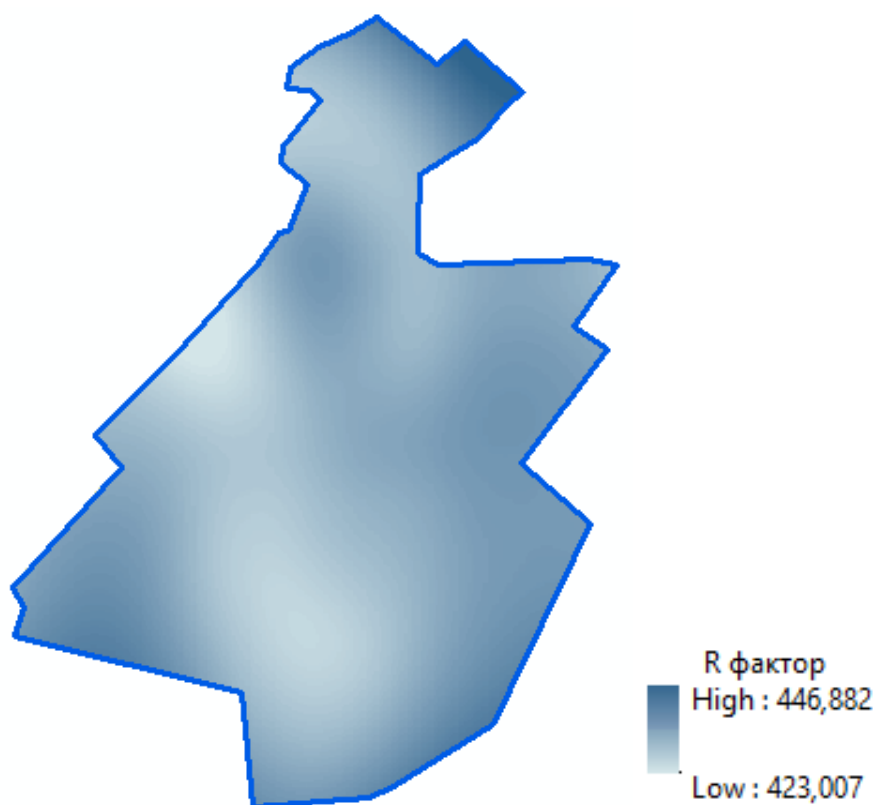


Рис. 4.26 Картосхема відображення R фактора

Найвищі значення R фактора знаходяться в пд.-сх. частині села Бузова (447 МДж·мм/(га·год))

Наступним етапом було розраховано P фактор. Для цього виконано перекласифікацію растрової карти ухилу згідно з табл. 3.1 (розділ 3.2.5.), використано інструмент Reclass (Reclassify), таким чином було отримано 3 класи (gridcode). Після цього перетворено пере класифікований растр у

полігон, в атрибутивній таблиці об'єднано полігони, використовуючи інструмент «Select by attribute» обираємо клас після чого в редакторі обираємо функцію «Merge», яка об'єднує всі векторні об'єкти певного класу в один. Відповідно до вище згаданої таблиці присвоєно значення Р фактора кожному класу (рис. 4.27).

	OBJECTID *	Shape *	Id	gridcode	Shape Length	Shape Area	Pfactor
▶	1	Polygon	1	2	119342,179053	4815844,143774	0,6
	5	Polygon	5	1	133714,813704	38753395,7177	0,55
	17	Polygon	17	3	12927,36535	481260,138511	0,8

Рис. 4.27 Атрибутивна таблиця значень Р фактора

Найбільші площі займають землі з найнижчим значенням Р фактору – 0,55. Отже, лише невелика частина земель в межах села Бузова потребують додаткових протиерозійних заходів землекористування, а саме контурного обробітку на схилах.

На рис. 4.28 відображено результат розрахунку Р фактора.

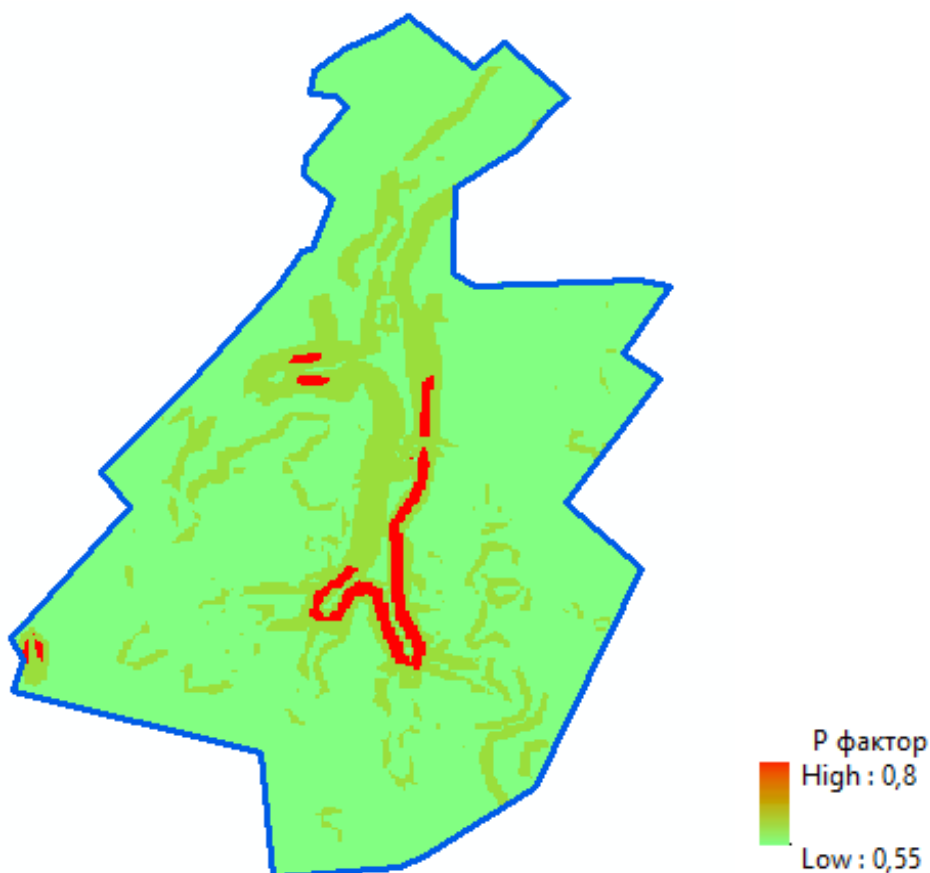


Рис. 4.28 Картосхема відображення Р фактора

Для розрахунку останнього С фактора було використано розроблену класифікацію об'єктів знімку дистанційного зондування на населений пункт, що описано у розділі 1.2.4. Для цієї ж цілі можна використати растрові дані, завантаживши світову карту землекористування Sentinel 2 станом на 2021 рік (рис. 4.29).

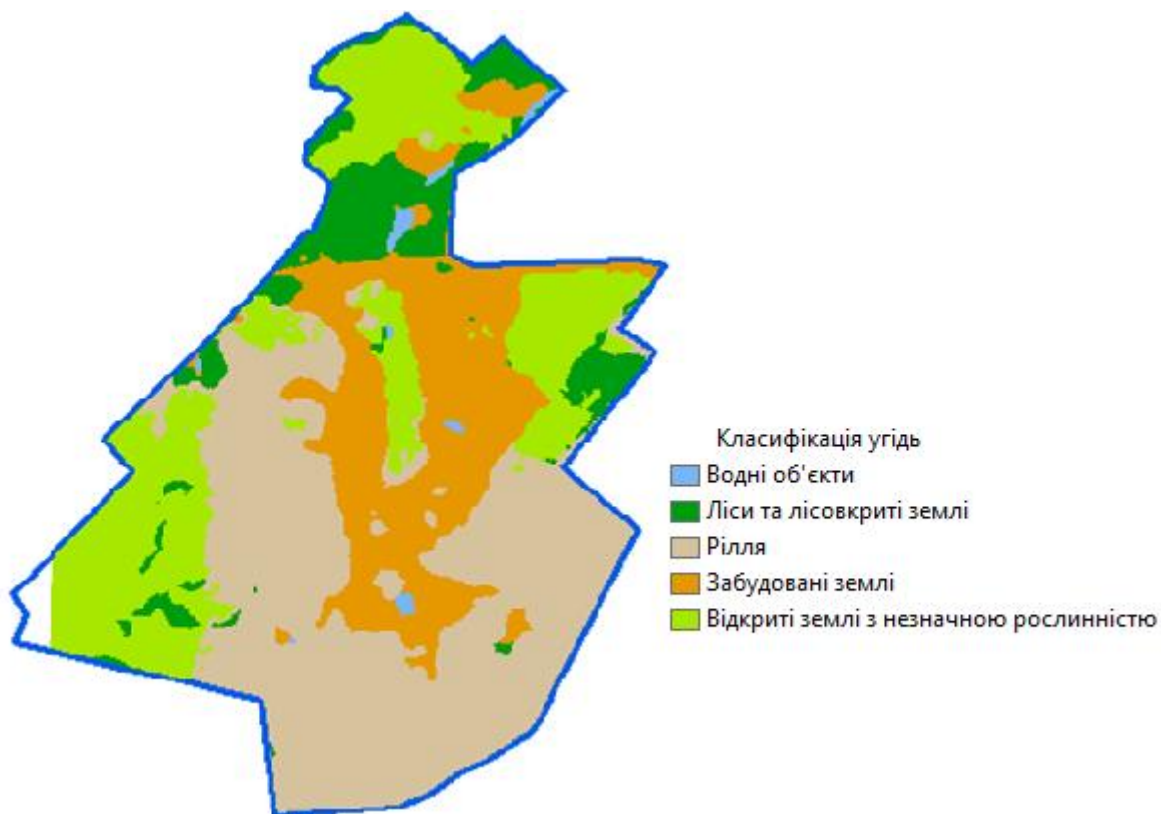


Рис. 4.29 Картосхема відображення класифікації угідь

Виконано класифікацію С фактора відповідно до виду угідь згідно з табл. 4.3. Для цього спочатку проведено перетворення растру у полігони з подальшим присвоєнням кожному полігону значення С фактора.

Таблиця 4.3 - Присвоєння С фактора залежно від класу об'єктів

Назва угідь	С фактор
Водні об'єкти	0
Ліси та лісовкриті землі	0,02
Відкриті землі з незначною рослинністю	0,025
Рілля	0,5
Забудовані території	1

## Результат відображення С фактора рис. 4.30.

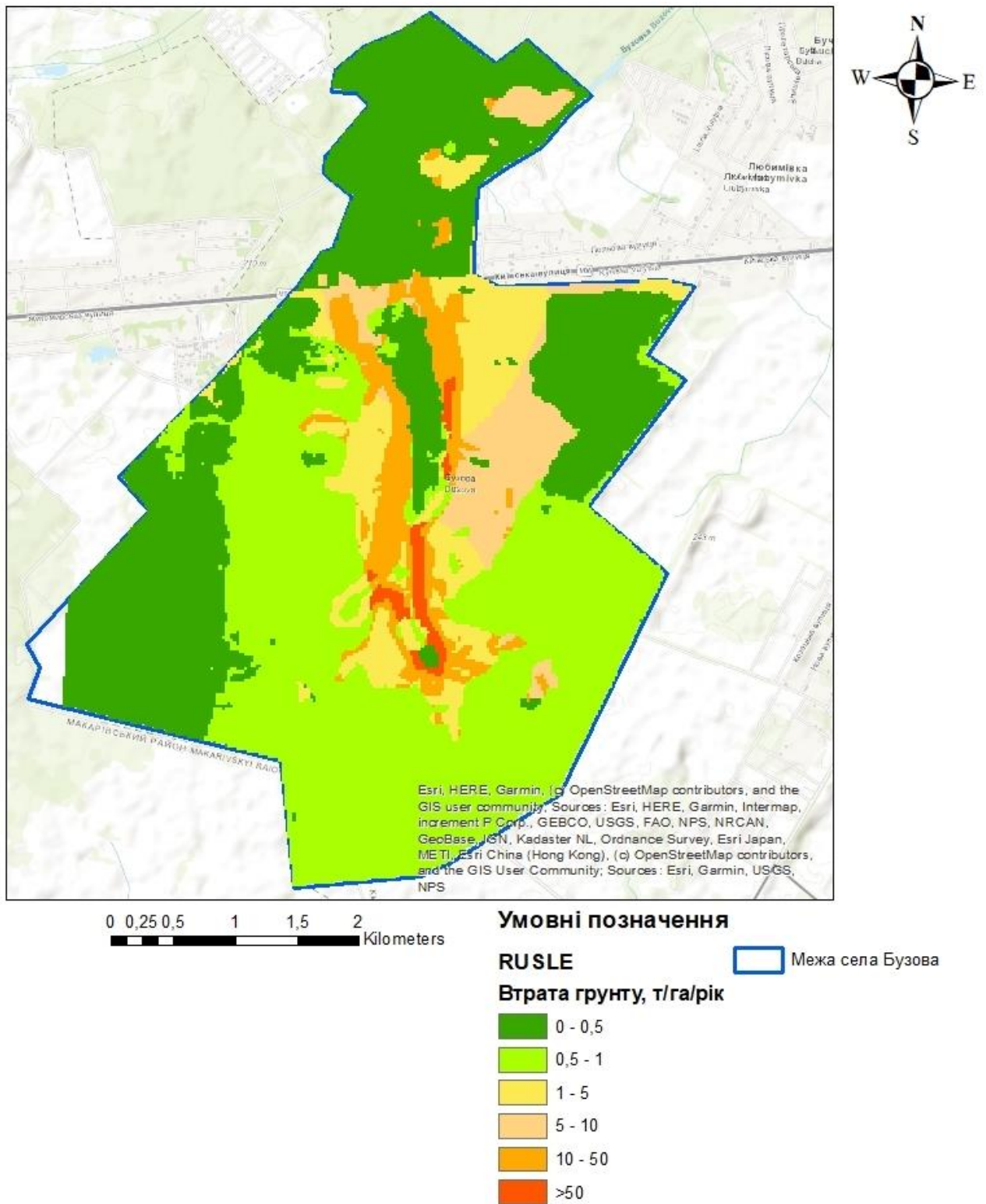


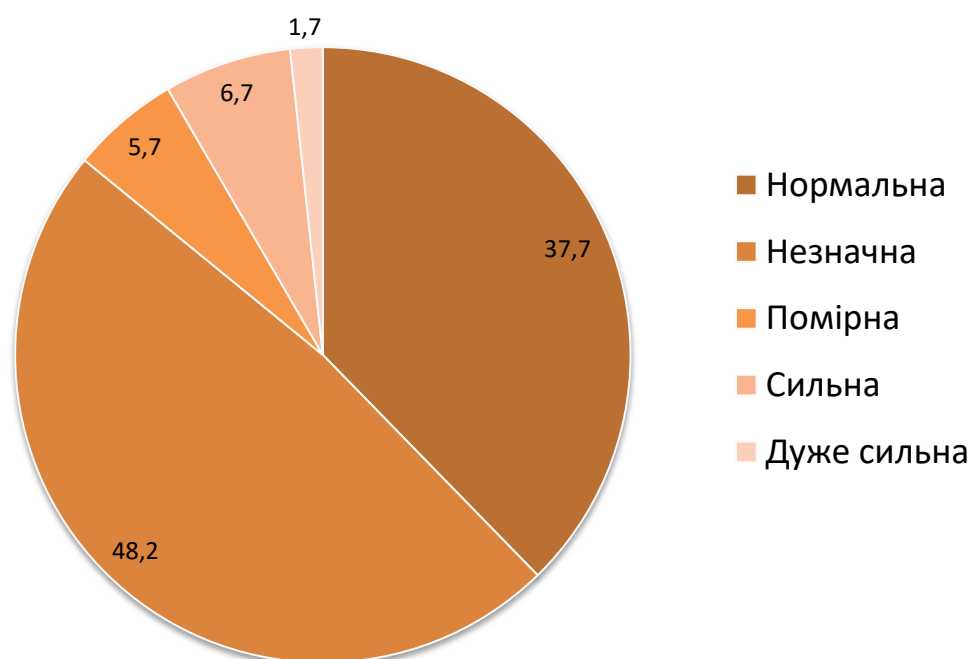
Рис. 4.30 Картосхема відображення моделі RUSLE для села Бузова

Для підрахунку еродованих площ було виконано конвертацію растрового зображення в полігони, відповідно до значень ерозії виконано об'єднання полігонів із однаковими показниками (рис. 4.31).

rusle				
	OBJECTID *	SHAPE *	erosia	s_ha
	1	Polygon	0,5	75,4397
	8	Polygon	1	76,29365
	9	Polygon	5	20,56945
	14	Polygon	10	11,63616
	19	Polygon	80	3,37822
	20	Polygon	50	13,58584

Рис. 4.31 Розподіл площ відповідно до значень ерозії

Відповідно до класифікації ступеня ерозії було побудовано діаграму розподілу виду ерозії та її площі у відсотках (діаграма 4.2).



Діаграма 4.2 Розподіл потенційної ерозії у відсотках

Найвищі показники ерозії спостерігаються в східній частині долини річки – яружна ерозія, площа еродованих земель незначна 3,4 га, що становить лише 1,7 % від загальної площі населеного пункту. Такі території потребують додаткових заходів захисту від негативних процесів, наприклад заліснення, або терасування. Найбільша площа земель (151,7 га) з показником втрати

ґрунту 0 – 1, що є нормальним відповідно до класифікації FAO (FAO, 1980) (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 - Рівні ерозії

Рівень	Втрата ґрунту (т/га/рік)	Тип ерозії
1	< 0,5	Нормальна
2	0,5 - 5	Незначна
3	5 - 15	Помірна
4	15 - 50	Сильна
5	50 - 200	Дуже сильна
6	> 200	Катастрофічна

Помірний рівень ерозії характерний для 23,1 га земель, такі території також потребують механізмів запобігання подальшого розростання та збільшення показників втрат ґрунту: будівництво дренажу, оптимізація іригації, зміцнення поверхні ґрунту, насадження рослин тощо.

Для узагальнення результатів за аналогічною процедурою було побудовано модель RUSLE для території всієї Дмитрівської ОТГ.

Важливою відмінністю стало лише те, що для розрахунку LS фактора за основу було взято ЦМР з сайту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dwtkns.com/srtm30m/>. Просторова розрізненість 30 м. LS фактор є відображенням місць накопичення виносу. Винос може накопичуватися у від'ємних формах рельєфу, або у підніжжя, де транспортна швидкість потоку зменшується. Розрахунок LS фактору є найбільш довготривалим процесом, адже для його розрахунку необхідно побудувати ще додатково 4 растрові картосхеми.

3D модель рельєфу відображено на рис. 4.32.

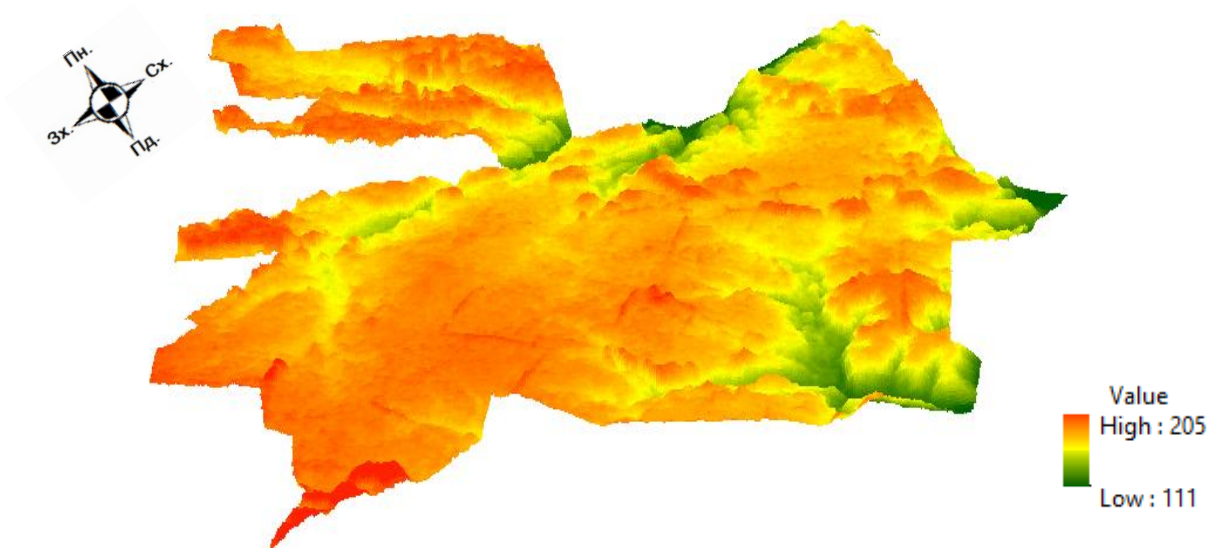


Рис. 4.32 3D модель рельєфу Дмитрівської ОТГ

Значення висот в межах Дмитрівської територіальної громади варіюється від 111 до 205 м. Загалом рельєф місцевості рівнинний з незначною кількістю мезорельєфу (пагорби, долини річки, кургани, яри тощо). Послідовність розрахунку всіх факторів графічно подано на рис. 4.33-4.38.

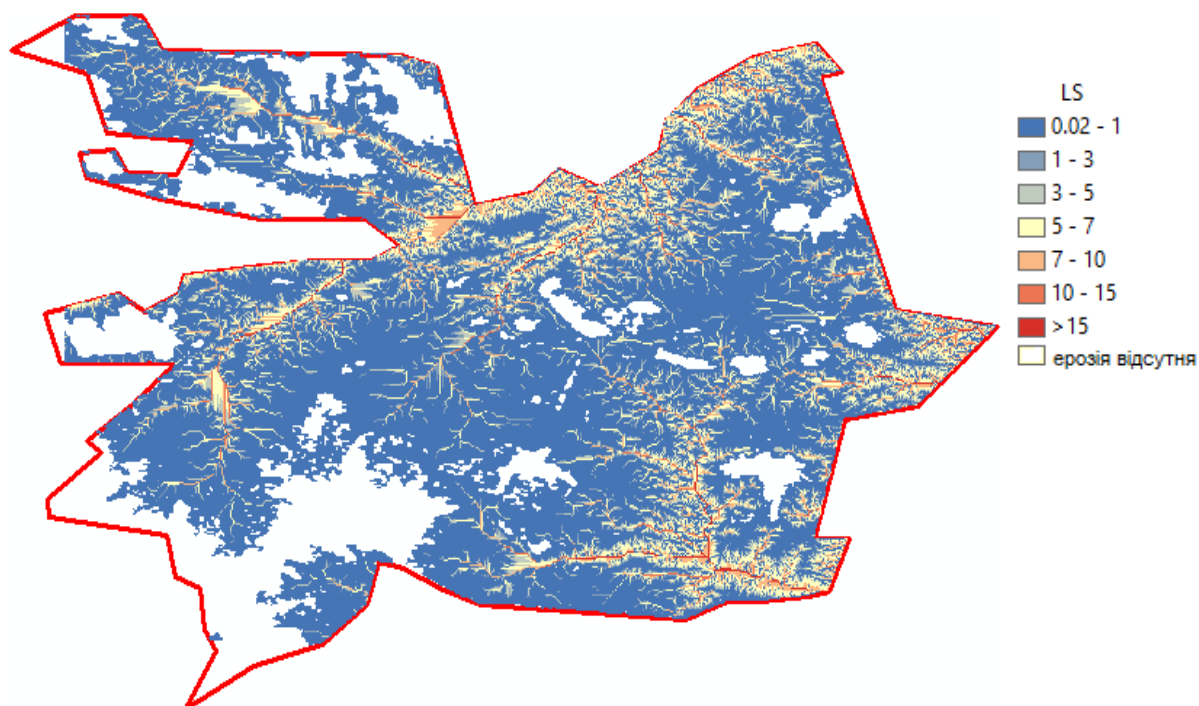


Рис. 4.33 LS фактор

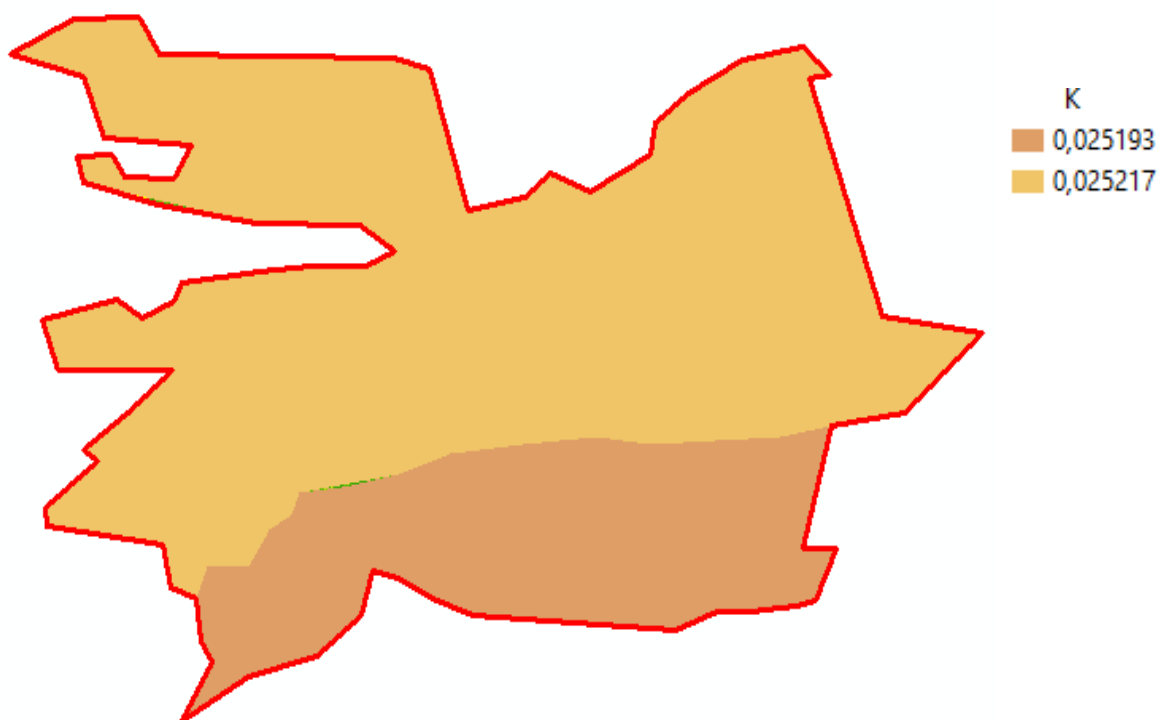


Рис. 4.34 K фактор

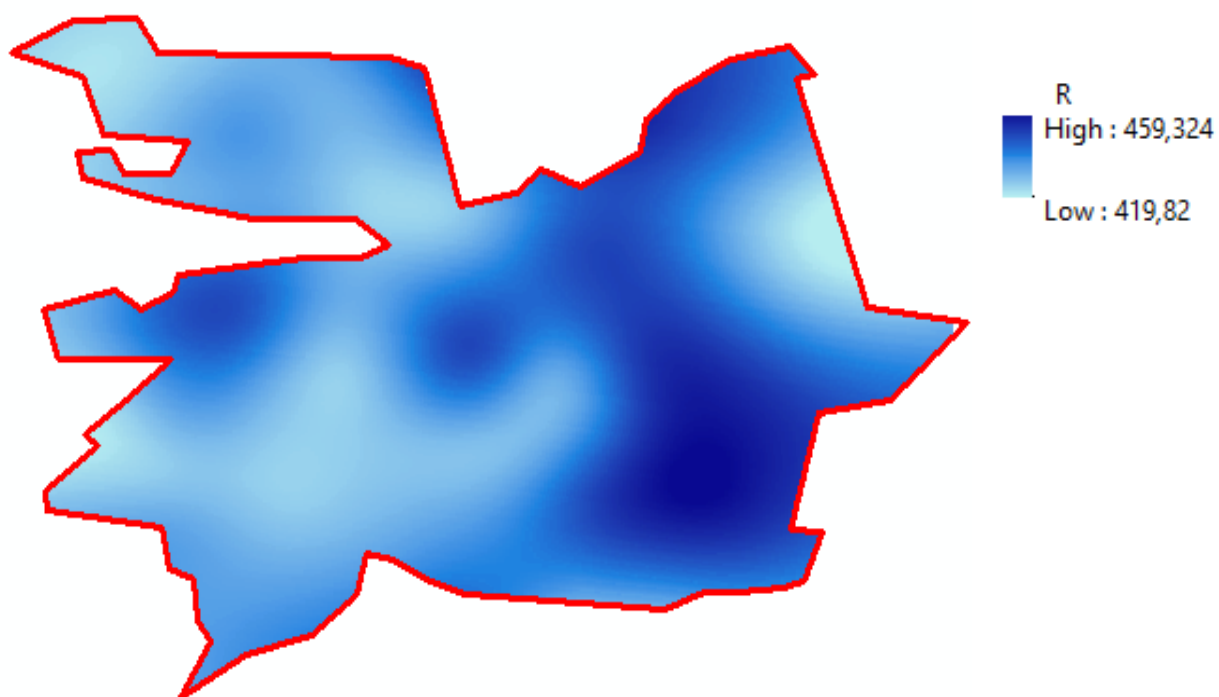


Рис. 4.35 R фактор



Рис. 4.36 P фактор

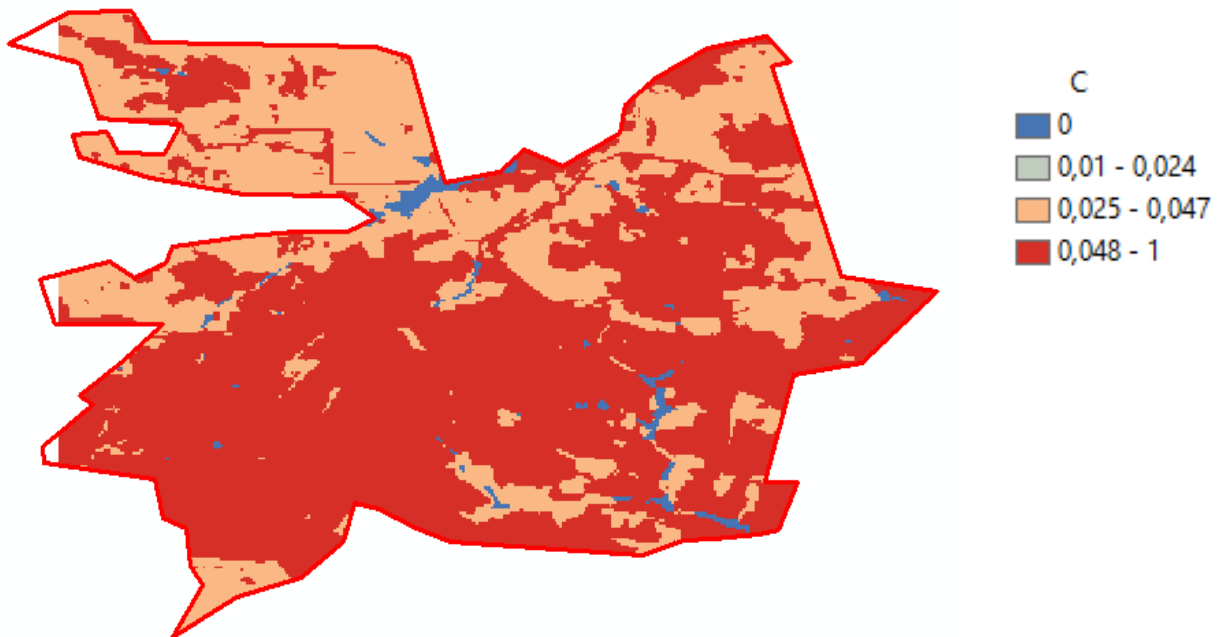


Рис. 4.37 C фактор

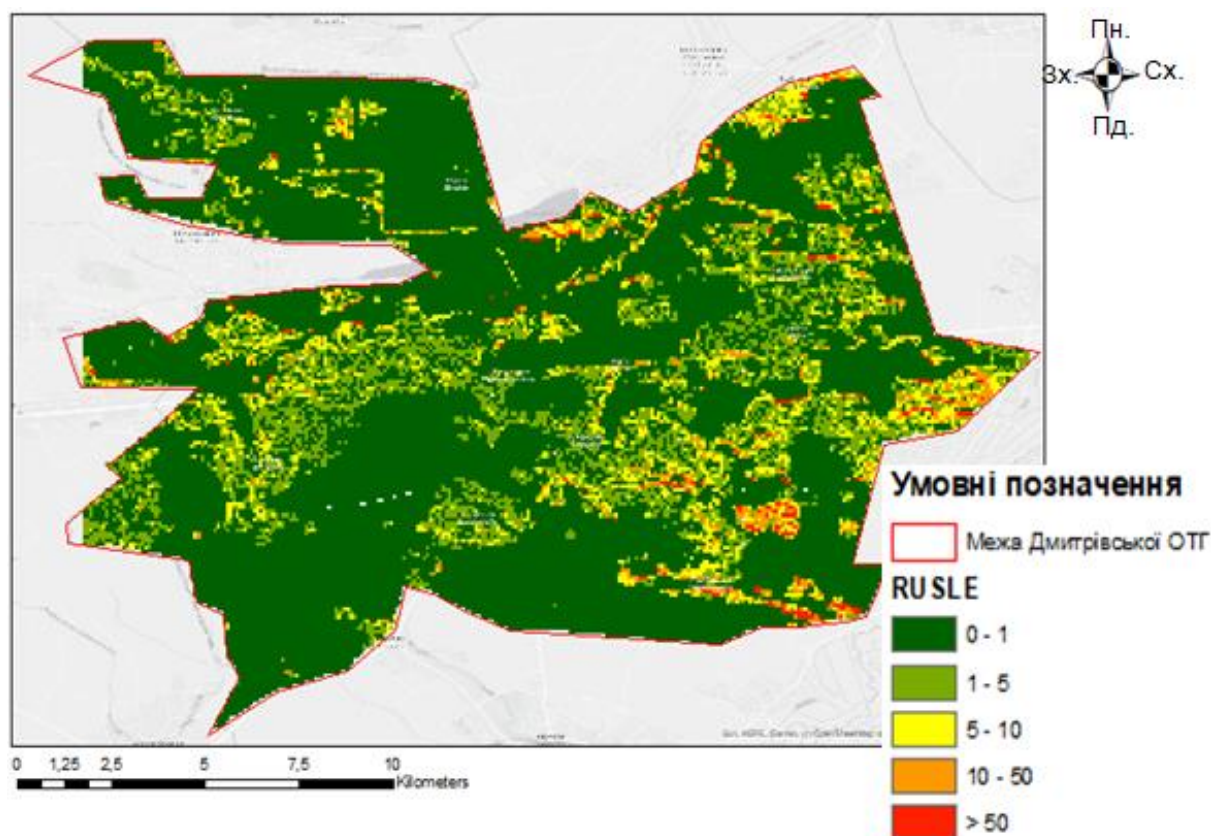


Рис. 4.38 Картосхема відображення моделі RUSLE

Загалом територія Дмитрівської ОТГ характеризується відносно невеликим ступенем ерозійності: 74,4% земель (95 км<sup>2</sup>) характерний нормальний або незначний тип ерозії (рис. 5.38). На 15,6 % земель переважає помірний тип ерозії. 6,8% займають землі з сильною ерозією та 3,2 % з дуже сильною (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 - Втрата ґрунту в межах Дмитрівської ОТГ

Втрата ґрунту (т/га/рік)	Тип ерозії	Площа	
		в км <sup>2</sup>	в %
0 - 5	Незначна	103,34	74,4
5 - 15	Помірна	21,67	15,6
15 - 50	Сильна	9,45	6,8
50 - 200	Дуже сильна	4,44	3,2

Найбільш ерозійно нестабільними є території в межах населених пунктів: Бузова, Гуровщина, Шпитьки та Горбовичі, Дмитрівка (рис. 39).

Найуразливішими є сільськогосподарські землі та землі в межах річкових долин. Правильний підбір культур та методи обробітку земель дадуть змогу значно знизити загальний ступінь втрати ґрунту в межах Дмитрівської ОТГ, як наприклад, зміна типу обробітку з плугової оранки на зональний метод. Перехід до терасування або контурний обробіток здатен зменшити фактор  $R$ , значення якого напряму залежить від людської підтримки захисту ґрунтів від ерозії.

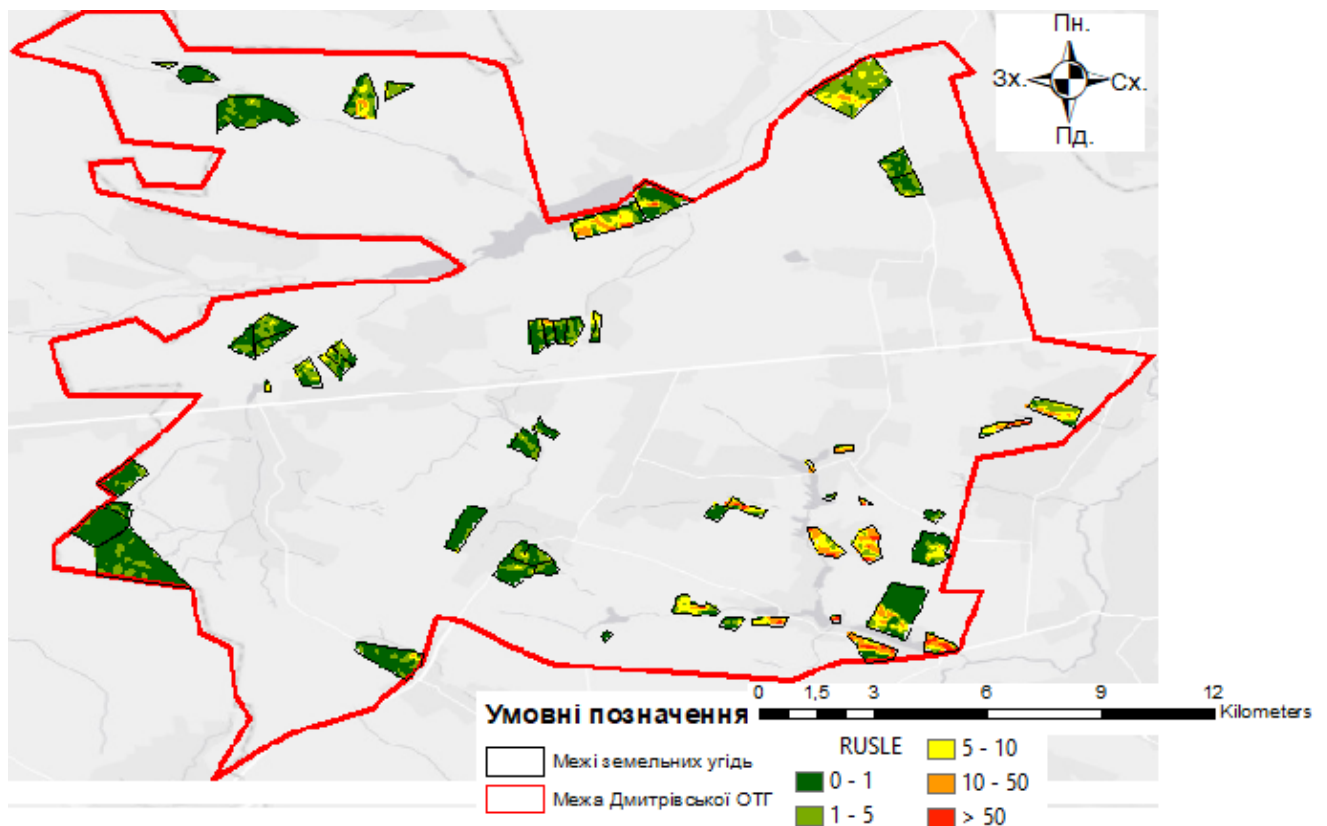


Рис. 4.39 Межі земельних угідь з підвищеним рівнем ерозійної небезпеки

В ході дослідження було порівняно результати розрахунку фактора  $LS$  на основі оцифрованих горизонталей з плану масштабу 1:5000 (село Бузова) та ЦМР з розрізненістю 30 м (територія Дмитрівської ОТГ). В результаті чого зроблено висновок, що 30 м розрізненості достатньо для того, щоб з достатньою точністю оцінити топографічний фактор. Результати побудови  $LS$  фактора за різними віхиними даними є однаковими.

Маючи точні дані про сівозміну та способи управління, метод побудови моделі RUSLE міг би з більшою точністю відображати реальну картину ерозії ґрунту. Дані про сівозміни можна отримати у фермерів, адже моделювання ерозії також відповідає їх інтересам, тому така співпраця буде корисною для обох сторін. Разом з результатами моделювання фермерам можна було б надавати рекомендації щодо захисту ґрунтів та правил їх обробітку. За допомогою ГІС та даних дистанційного зондування можна в короткий термін отримати необхідні дані та обробити їх. Оперуючи даними за певний період часу можна прогнозувати можливі зміни та слідкувати за динамікою ерозійних процесів.

Варто відмітити, що стрімкі зміни кліматичних умов, також впливають на ерозію. Окрім температури та опадів, можуть змінюватися такі показники ґрунту як: вологоємність або вміст органічної речовини, що також визначають швидкість та умови протікання ерозійних процесів. При подальших модифікаціях моделі RUSLE необхідно враховувати окремі події сильних дощових злив, що призводять до екстремальної ерозії ґрунту. Крім того, важливим недоліком даної моделі є неврахування процесів, що пов'язані з таненням снігу чи льоду навесні, що також прискорює формування ерозійності ґрунтів.

Отримані результати моделювання в подальшому можна буде використовувати для уточнення за допомогою фізичної моделі, маючи вже чітко окреслені місця підвищеної ерозійної небезпеки на яких потрібно буде зосередитися в першу чергу.

З метою мінімізації ерозійних процесів на території дослідження рекомендується вжиття таких заходів: рослинне засадження (наприклад заліснення або насадження багаторічних рослин), культивування (терасування, контурна оранка, щільна оранка), впровадження сівозмін тощо.

## ВИСНОВКИ

Актуальні та достовірні дані про земельні ділянки, що відображають їх якісні та кількісні характеристики є важливою складовою ведення державного земельного кадастру, основою для сплати податкових платежів та є необхідними для забезпечення охорони і раціонального використання земель. Використання ГІС та даних ДЗЗ значно полегшує процес збору, обробки та аналізу геопросторової інформації.

В ході дослідження було:

- проведено аналіз літературних джерел в області земельно-оціночних робіт та визначено, що основними прогалинами існуючих методик оцінки є використання застарілих картографічних та статистичних даних, а також наявність невизначеностей та недосконалість в діючій нормативно-правовій базі;
- за допомогою використання об'єктно-орієнтованого аналізу OBIA було виконано сегментацію та виділено межі земельних угідь для подальшої їх класифікації;
- залучено алгоритми об'єктно-орієнтованого аналізу в середовищі ГІС з метою класифікації виду угідь. Визначено оптимальні параметри класифікації в межах досліджуваної території. В результаті дослідження визначено, що землі забудови, їх відсоткове співвідношення до загальної кількості земель становить 35%, землі сільськогосподарського призначення 33,3%, ліси - 29,5%, водні об'єкти - 2,1%. Оцінка точності становить 77,8%. Також було порівняно виконані класифікації знімків за 2016 та за 2022 роки, в ході чого було виявлено певні кількісні зміни у структурі земель, а саме зросла кількість забудованих територій на 1,3 % за 6 років в більшій мірі за рахунок земель сільськогосподарського призначення та земель

лісового фонду. За допомогою матриці помилок оцінено точність класифікації, що становить 77,76%;

- застосовано емпіричну модель ерозійності ґрунту RUSLE. Виявлено, що найвищі показники ерозійної небезпеки в межах Дмитрівської ОТГ зосереджені на землях сільськогосподарського призначення зі схилом більше 3 градусів на території сіл: Бузова, Горбовичі, Шпитьки та Дмитрівка. Для 74,4% земель (95 км<sup>2</sup>) характерний нормальний або незначний тип ерозії. На 15,6 % земель переважає помірний тип ерозії. 6,8% займають землі з сильною ерозією та 3,2 % з дуже сильною. Усереднений показник втрти ґрунту 0,211 т/га/рік.

Застосування емпіричної моделі RUSLE для оцінки і прогнозу потенційного ґрунтового змиву з використанням ГІС може бути успішно використана в багатьох сферах управління земельними ресурсами, в тому числі і при оцінці земель. Території з найвищим показником ерозійної небезпеки повині бути враховані при нормативно грошовій та еспертній оцінці земель. Оскільки ерозія значно впливає на фізико-хімічні властивості ґрунтів, зокрема на його родючість від якої напряду залежить капіталізований рентний дохід від використання земельних ділянок, що формує їх вартість.

Завчасне виявлення ерозійно-небезпечних територій дасть змогу коригувати напряду ведення сільського господарства та попереджати прояв негативних процесів пов'язаних з ерозією.

Таким чином можна сказати про ефективність застосування ДЗЗ з інтеграцією в ГІС з метою якісного та кількісного аналізу земельного фонду, в тому числі і для цілей пов'язаних з земельно-оціночними роботами.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- 30-Meter SRTM Tile Downloader [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dwtkns.com/srtm30m/> - Загол. з екрану (дата звернення: 20.02.2022)
- Bennett, R., Oosterom, P. van, Lemmen, C., & Koeva, M. (2020). Remote Sensing for Land Administration. *Remote Sensing*, 12(15), 2497. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/rs12152497>
- Durigon, V., Carvalho, D., Antunes, M., Oliveira, P., Fernandes, M. (2014). NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *Int. J. Remote*, 35, 441–453.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (1980). *Metodologia provisional para evaluación de la degradación de los suelos*. Roma, IT: FAO/PNUMA; UNEP; Unesco.
- Ganasri, B.P., Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS—A case study of Nethravathi Basin. *Geosci. Front.* 7, 953–961.
- Ghosal, K. Das Bhattacharya, S. (2022). A review of RUSLE model. *J. Indian Soc. Remote*, 48, 689–707.
- Global Rainfall Erosivity [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-rainfall-erosivity> - Загол. з екрану (дата звернення: 17.02.2022)
- Harmonized World Soil Database (HWSD) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://iiasa.ac.at/models-tools-data/hwswd> - Загол. з екрану (дата звернення: 17.02.2022)
- Johnson, B., Jozdani, S. (2018). Identifying Generalizable Image Segmentation Parameters for Urban Land Cover Mapping through Meta-Analysis and

Regression Tree Modeling Remote Sens., 10 (2), p. 73, URL: [10.3390/rs10010073](https://doi.org/10.3390/rs10010073)

Kelly, M., Blanchard, S. D., Kersten, E., & Koy, K. (2011). Terrestrial remotely sensed imagery in support of public health: New avenues of research using object-based image analysis. *Remote Sensing*, 3(11), 2321-2345.

Khassaf, S. & Al Rammahi, A. (2018). Estimation of Slope Length Factor (L) and Slope Steepness Factor (S) of Rusle Equation in the Euphrates River Watershed By Gis Modeling. *Kufa Journal of Engineering*, 9(3), 81-91.

Kumar, S., Kushwaha, S. P. S. (2013). Modelling soil erosion risk based on RUSLE-3D using GIS in a Shivalik sub-watershed, *J.Earth Syst. Sci.*, vol. 122, no. 2, pp. 389–398.

Land Boundary Detection for Small Landholding Using Machine Learning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cropin.com/blogs/land-boundary-detection-for-small-landholding-using-machine-learning> - Загол. з екрану (дата звернення: 25.02.2023)

Ma, L., Fu T., Blaschke, T., Li, M., Tiede, D., Zhou, Z., Ma, X., Chen, D. (2017) Evaluation of Feature Selection Methods for Object-Based Land Cover Mapping of Unmanned Aerial Vehicle Imagery Using Random Forest and Support Vector Machine Classifiers *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 6 (2), p. 51, URL: [10.3390/ijgi6020051](https://doi.org/10.3390/ijgi6020051)

Ma, L., Cheng, L., Li, M., Liu, Y., Ma, X. (2015) Training Set Size, Scale, and Features in Geographic Object-Based Image Analysis of Very High Resolution Unmanned Aerial Vehicle Imagery *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 102 pp. 14-27, URL: [10.1016/j.isprsjprs.2014.12.026](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.12.026)

McCool, D.K., Brown, L.C., Foster, G.R. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 30: 1387-1396.

- McCool, D.K., Foster, G.R., Weesies, G.A. (1997). Slope length and steepness factors (LS)
- OpenStreetMap [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.openstreetmap.org/> (дата звернення: 06.01.2023)
- Rainfall Erosivity in Europe [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/rainfall-erosivity-europe> - Загол. з екрану (дата звернення: 17.02.2022)
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., and Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultural Handbook No. 703. <http://doi.org/DC0-16-048938-565-100>.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultural Handbook No. 703. <http://doi.org/DC0-16-048938-565-100>.
- Schäuble H. (1999). Erosionsprognose mit GIS und EDV. Geographisches Institut, Tübingen, 150.
- USGS Earth Explorer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov/> - Загол. з екрану (дата звернення: 17.02.2022)
- Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A. & Montanarella, L. (2000). Soil erosion risk assessment in Italy. European Soil Bureau, Joint Research Center of the European Commission. In press.
- Whiteside, T.G., Boggs, G.S., Maier, S.W. (2011). Comparing Object-Based and Pixel-Based Classifications for Mapping Savannas Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., 13 (6), pp. 884-893, URL: [10.1016/j.jag.2011.06.008](https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.06.008)

- Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1965). Predicting rainfall erosion losses from cropland east of Rocky Mountains”, Agriculture Handbook No.282, U.S. Dept. of Agri., Washington.
- Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook No. 537, (537), 285–291.  
<http://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>
- Zaki, A., Buchori, I., Sejati, A. W., Liu, Y. (2022). An object-based image analysis in QGIS for image classification and assessment of coastal spatial planning. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 25(2), 349-359.
- Борденюк, О. В., & Борденюк, О. В. (2022). Нормативна грошова оцінка земель сільськогосподарського призначення.
- Вергелес, О. А. (2022). Проблеми відшкодування збитків, які були завдані земельним ділянкам внаслідок воєнних дій на території України. In The 4th International scientific and practical conference—Modern research in world science (July 10-12, 2022) SPC—Sci-conf. com. ua, Lviv, Ukraine. 2022. 1161 p. (p. 1064).
- Вішка, І. (2022). Аудит землі територіальних громад у довоєнний та воєнний періоди, концептуальні зміни. Наукові перспективи (Naukovì perspektivi), (6 (24)).
- Гаськевич, О. (2013). Фізична деградація ґрунтів Гологоро-Кременецького горбогір'я. Вісник Львівського університету. Серія географічна, (46), 85-92.
- Дмитрівська сільська громада (Київська область) [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org> (дата звернення: 06.01.2023)
- Екологічний паспорт Київської області (2020). [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://ecology-kievoblast.com.ua/page/stan-dovkillya-kyyivskoyi-oblasti> (дата звернення: 06.01.2023)

- Еродованість ґрунтів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://superagronom.com/karty/erodovanist-gruntiv-ukrainy> - Загол. з екрану (дата звернення: 17.02.2022)
- Жакун, В. М. (2021). Удосконалення системи організації ведення земельно-оціночних робіт на території населеного пункту Попівка Полтавської області.
- Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» від 01.03.2023 (2023) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text> (дата звернення: 27.01.2023)
- Колотуха, С. М., & Мельник, К. М. (2022). Розвиток земельного ринку аграрного сектора економіки в умовах фінансової нестабільності.
- Короткий вступ до дистанційного зондування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://semiautomaticclassificationmanual-v6.readthedocs.io/uk\\_UA/latest/remote\\_sensing.html](https://semiautomaticclassificationmanual-v6.readthedocs.io/uk_UA/latest/remote_sensing.html) - Загол. з екрану (дата звернення: 17.02.2022)
- Круглик, О. І., & Міщенко, Р. А. (2022). Особливості нової методики розрахунку нормативно-грошової оцінки землі
- Лагоднюк, А. М. (2021). Силабус освітньої компоненти навчальної дисципліни «Дистанційне зондування Землі» для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр», які навчаються за освітньо-професійною програмою «Конструктивна географія, управління водними та мінеральними ресурсами» спеціальності 106" Географія".
- Лященко, А. А., Кравченко, Ю. В., & Горковчук, Д. В. (2014). Геоінформаційне моделювання впливу локальних факторів на нормативну грошову оцінку земельних ділянок в населених пунктах.

Методика визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану, затверджена наказом Міндовкілля від 04.04.2022 № 167

Нова методика визначення нормативної грошової оцінки земель та її вплив на бізнес [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://www.epravda.com.ua/columns/2021/11/23/680019/> -  
Загол. з екрану (дата звернення: 06.03.2023)

Третяк, А., Третяк, В., & Вольська, А. (2022). Наукові проблеми методики нормативної грошової оцінки земельних ділянок в Україні. Наукові перспективи (Naukovì perspektivi), (3 (21))

Трофименко, П.І., Безгодкова, Ю.В., Трофименко, Н.В., Зацерковний, В.І. (2021). Розробка та використання бази даних ГІС для завдань нормативної грошової оцінки земель населених пунктів. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель, НУБІП.

Трофименко, П.І., Забалуєв, В.О., Безгодкова, Ю. В., Трофименко, Н.В., Степаненко, Д.О., Могилко, М.Ю. (2023). Наслідки негативного впливу військової агресії на ґрунти України та шляхи їхньої реабілітації. Міжнародна науково-практична конференція «Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України і світу»

Чурилова, Т. М. (2022). До питання відшкодування шкоди довкіллю України, завданої збройною агресією РФ (Doctoral dissertation, Сумський державний університет).

## **ДОДАТКИ**

