

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему:

### ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ СЕКВЕСТРАЦІЇ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ АТМОСФЕРИ ЕРОДОВАНИМИ ҐРУНТАМИ

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕ-41  
спеціальності: 101 «Екологія»  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пі автора \_\_\_\_\_ / Георгій МАЗУРЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник \_\_\_\_\_ / Андрій АЧАСОВ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я та прізвище)

*«До захисту допущено»*

В.о. завідувача кафедри \_\_\_\_\_ / Андрій АЧАСОВ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК \_\_\_\_\_ / Світлана БУРЧЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік



#### 4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд літературних джерел з тематики дослідження.
2	Написання теоретичного розділу роботи.
3	Підбір методів проведення дослідження. Підготовка відповідного розділу.
4	Проведення розрахунків.
5	Аналіз та узагальнення результатів.
6	Формування висновків відповідно до завдань дипломної роботи.
7	Підготовка та оформлення списку інформаційних джерел відповідно до вимог норм контролю.
8	Редагування оформлення тексту роботи та проходження норм контролю.

5. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Студент

\_\_\_\_\_

підпис

і

**Георгій МАЗУРЕНКО**

м'я і прізвище

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

підпис

**Андрій АЧАСОВ**

посада, ім'я і прізвище

## АНОТАЦІЯ

# ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ СЕКВЕСТРАЦІЇ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ АТМОСФЕРИ ЕРОДОВАНИМИ ҐРУНТАМИ

Георгій МАЗУРЕНКО

Кваліфікаційна робота «Оцінка потенціалу секвестрації органічного вуглецю атмосфери еродованими ґрунтами» містить сторінок, 3 розділи, 1 таблицю, 18 рисунків, 8 використаних джерел.

*Мета роботи:* Ознайомитися з літературними даними щодо секвестрації вуглецю. За допомогою супутникових знімків провести дослідження площі еродованих сільськогосподарських земель та оцінити їх секвестраційний потенціал.

*Актуальність теми.* В наслідок інтенсивного та не ощадливого використання ґрунтів на них можуть посилюватися ерозійні процеси, через що в атмосферу може вивільнятися вуглець. Секвестрація вуглецю може стати способом вирішення цієї проблеми.

*Завдання:* Ознайомитись з теоретичними відомостями щодо ґрунтового вуглецю, ерозії та секвестрації вуглецю.

*Методи.* Літературне дослідження. Геоінформаційний аналіз.

*Результати.* Для дослідження обрано знімки території Роганської ОТГ за 2021, 2023 та 2024 роки. Проведено геоінформаційний аналіз знімків та встановлено що площа еродованих ґрунтів на сільськогосподарських землях складає 19,1 га. Секвестраційний потенціал 1222,4 тон.

ҐРУНТИ, ВУГЛЕЦЬ, СЕКВЕСТРАЦІЯ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ,  
КЛІМАТИЧНИЙ ЕФЕКТ

## ABSTRACT

# ESTIMATION OF THE POTENTIAL OF ATMOSPHERIC ORGANIC CARBON SEQUESTRATION BY ERODED SOILS

Heorgii MAZURENKO

Qualification work "Assessment of the potential of atmospheric organic carbon sequestration by eroded soils" contains pages, 3 chapters, 1 table, 18 figures, 8 references.

Purpose of the work: To review the literature on carbon sequestration. Using satellite imagery, to study the area of eroded agricultural land and assess its sequestration potential.

Relevance of the topic. As a result of intensive and uneconomical use of soils, erosion processes can intensify, which can release carbon into the atmosphere. Carbon sequestration can be a way to solve this problem.

Objectives: To get acquainted with theoretical information on soil carbon, erosion and carbon sequestration.

Methods. Literature research. Geoinformation analysis.

Results. For the study, we selected images of the territory of the Rohan UTC for 2021, 2023 and 2024. The geoinformation analysis of the images was carried out and it was found that the area of eroded soils on agricultural land is 19.1 hectares. The sequestration potential is 1222.4 tonnes.

SOILS. CARBON. SEQUESTRATION. GEOINFORMATICS ANALYSIS

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1 Загальний опис явища ерозії.....	9
1.2. Вплив ерозії на органічний вуглець ґрунтів та регуляцію парникових газів.....	10
1.3. Опис процесу секвестрації.....	11
1.4. Засоби та методи секвестрації.....	12
1.5. Значення органічного вуглецю.....	13
1.6. Роль ґрунтового вуглецю у регуляції клімату.....	14
РОЗДІЛ 2 МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ.....	16
2.1. Опис території дослідження.....	16
2.2. Опис засобів та процесу дослідження.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	21
3.1. Геоінформаційний аналіз.....	21
3.2. Обробка та аналіз отриманих результатів.....	27
3.3. Оцінка потенціалу секвестрації.....	28
3.4. Практичне використання результатів.....	29
ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	33

## ВСТУП

В умовах зміни клімату, деградації земель та втрати біорізноманіття ґрунти стали одним з найбільш вразливих ресурсів. Ґрунти є великим резервуаром вуглецю що містить більше вуглецю, ніж атмосфера та наземна рослинність разом узяті. Однак ґрунтовий органічний вуглець може вивільнятися або поглинатися, і антропогенний вплив на ґрунт може перетворити його або на поглинач, або на джерело парникових газів. Що, в свою чергу, може послабити або, відповідно посилити зміни клімату. Окрім того, секвестрація може стати вирішення проблеми деградації ґрунтів. Сільськогосподарське використання ґрунтів України призвело до їх повсюдної дегуміфікації, згідно даних VI і IX турів агрохімічних обстежень земель сільськогосподарського призначення сумарне надходження CO<sub>2</sub> з усієї території орних ґрунтів України становить 20 млн т щорічно.[7]

Одним зі шляхів вирішення описаних вище проблеми може стати впровадження системи сільського господарства що сприяє секвестрації вуглецю. За повного припинення процесів деградації ґрунтів, в першу чергу, ерозії ґрунтів та встановлення тенденції до відновлення кількості органічного вуглецю в агроландшафтах та виведення з ріллі під сіножаті, пасовища, заліснення та залуження сильнодегерованих ґрунтів, рекультивації порушених земель прогнозований максимальний щорічний обсяг можливої секвестрації вуглецю буде становити приблизно 36,7 млн тонн CO<sub>2</sub> щорічно.[7]

**Мета роботи:** Ознайомитися з літературними даними щодо секвестрації вуглецю. За допомогою супутникових знімків провести дослідження площі еродованих сільськогосподарських земель та оцінити їх секвестраційний потенціал.

**Об'єкт дослідження:** Сільськогосподарські землі та території Роганської ОТГ.

**Предмет дослідження:** Еродовані ґрунти на сільськогосподарських землях та території Роганської ОТГ.

**Актуальність дослідження:** В першому метрі ґрунту міститься 1 417 гігатонн вуглецю, це більше ніж ніж в атмосфері та наземній рослинності разом узятих. В наслідок інтенсивного та не ощадливого використання ґрунтів на них можуть посилюватися ерозійні процеси, через що в атмосферу може вивільнятися вуглець. Секвестрація вуглецю може стати способом вирішення цієї проблеми. Україна має серйозні проблеми з ерозією ґрунтів, особливо на сільськогосподарських угіддях. Зокрема, до 16 мільйонів гектарів сільськогосподарських угідь, що становить понад 38% їхньої загальної площі, піддаються ерозійним процесам. З цих угідь до 13 мільйонів гектарів є орними землями, що складає близько 40% від їхньої загальної площі. Щорічно втрачається до 740 мільйонів тонн родючого ґрунту через водну та вітрову ерозію, що в середньому становить 15 тонн на гектар і містить до 24 мільйонів тонн гумусу. Це призводить до загального недовиробництва зерна на 8,6 мільйона тонн щорічно.[4]

**Завдання роботи:**

- 1) ознайомитись з теоретичними відомостями щодо ґрунтового вуглецю, ерозії та секвестрації вуглецю.
- 2) провести геоінформаційний аналіз супутникових знімків території та встановити ділянки сильно еродованих ґрунтів.
- 3) провести підрахунки еродованих площ та оцінити їх секвестраційний потенціал.

**Методи дослідження:** Літературний аналіз даних. Геоінформаційний аналіз супутникових знімків.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1. Загальний опис явища ерозії

Ерозія ґрунту є процесом руйнування верхнього родючого шару землі. Ерозія - природний процес, але значно посилюється та прискорюється в наслідок людської діяльності. Зокрема, розорані ділянки землі стають більш схильними до вивітрювання та вимивання ґрунтів порівняно з незайманими.

Причини ерозії ґрунту поділяють на природні та антропогенні, які взаємодіють і сприяють посиленню цього процесу.

Природні фактори включають такі аспекти як рельєф місцевості, клімат, опади, вітер та рослинність. Наприклад, крутий рельєф та великі кількості опадів можуть сприяти швидкому стіканню води, що в свою чергу може викликати ерозійні процеси. [4]

Ґрунт є основою виробництва сільськогосподарської продукції. Є основним джерелом отримання продуктів харчування та важливим джерелом економічного прибутку. Так на 2021 частка сільського господарства складала близько 10% у ВВП України.[9]

Деструктивні процеси в ґрунті знижують його родючість та вміст корисної органіки, що призводить до виснаження ґрунту та зниження врожайності. Неконтрольована ерозія також завдає значних збитків сільськогосподарським підприємствам.

За даними Продовольчої організації ООН, в Україні площа деградуючих і непродуктивних орних земель перевищує 20% від їх загальної кількості. Щорічно країна втрачає майже 300-600 млн. ґрунтів через ерозію. [1, 4]

Україна має серйозні проблеми з ерозією ґрунтів, особливо на сільськогосподарських угіддях. Зокрема, до 16 мільйонів гектарів сільськогосподарських угідь, що становить понад 38% їхньої загальної площі, піддаються ерозійним процесам. З цих угідь до 13 мільйонів гектарів є орними

землями, що складає близько 40% від їхньої загальної площі. Щорічно втрачається до 740 мільйонів тонн родючого ґрунту через водну та вітрову ерозію, що в середньому становить 15 тонн на гектар і містить до 24 мільйонів тонн гумусу. Це призводить до загального недовиробництва зерна на 8,6 мільйона тонн щорічно. Фахівці Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН оцінюють, що втрати від нестачі продукції рослинництва на еродованих ґрунтах становлять понад 20 мільярдів гривень на рік.

## 1.2. Вплив ерозії на органічний вуглець ґрунтів та регуляцію парникових газів

Ерозія має значний вплив на вміст органічного вуглецю ґрунту в ландшафті. Кожен ерозійний епізод зносить з поверхні певний надлишок ґрунту, і в багатьох ґрунтах цей поверхневий шар багатший на ґрунтову органічну речовину, ніж горизонти, що лежать нижче. Крім того, перенесення водною та вітровою ерозією спричиняє збільшенню кількості вуглецю у відкладах порівняно з вихідними ґрунтами - добре відомо, що як розкладена органічна маса ґрунтів так і глинисті та мулисті частинки переважно переносяться в наслідок процесів водної та вітрової ерозії.

Враховуючи важливість процесів поглинання вуглецю для регуляції, спричинених людською діяльністю, викидів парникових газів та зміни клімату, роль ерозії в кругообігу вуглецю вивчалася протягом останніх десяти років. Проте, досі існують значні розбіжності щодо того, чи призводить ерозія до збільшення викидів вуглецю в атмосферу чи до посилення до посиленого поглинання вуглецю в ґрунті.

Зміни в запасах ґрунтового вуглецю є чистим результатом низки взаємодіючих процесів, пов'язаних з ерозією процесів, пов'язаних з ерозією. На рівнинних вершинах або плато (і взагалі в рівнинних ландшафтах загалом) запас вуглецю визначається балансом між надходженням вуглецю (спочатку у вигляді фотосинтезу рослин) від коренів і від перемішування ґрунтовими

організмами, а також між надходженням вуглецю (спочатку у вигляді фотосинтезу рослин) і його вивільненням ґрунтовими організмами та виходом вуглецю, переважно у вигляді газоподібного CO<sub>2</sub> що утворюється мінералізації органічного матеріалу ґрунтовими організмами.[4]

### 1.3. Опис процесу секвестрації

Секвестрація (зв'язування) вуглецю ґрунтом це багатоступеневий процес перетворення вуглекислого газу атмосфери, поглинутого рослинами в процесі фотосинтезу у комплекс специфічних стійких високомолекулярних органічних сполук, що акумулюються в ґрунті (так званий гумус). Таким чином мінеральний вуглець атмосфери перетворюється у вуглець органічних речовин ґрунту [5]. Секвестрація вуглецю у ґрунтах відбувається завдяки надземному надходженню рослинних решток, рослинної підстилки і підземному надходженню кореневого опаду. Ґрунтові мікроорганізми відіграють важливу роль як у цьому кругообігу, так і в утриманні ґрунтового вуглецю різноманітними прямими та/або непрямими механізмами [6].

У випадку з CO<sub>2</sub>, секвестрація включає три етапи:

- 1) видалення CO<sub>2</sub> з атмосфери через фотосинтез рослин;
- 2) видалення вуглецю з CO<sub>2</sub> в наслідок процесів в середині рослини;
- 3) перенесення вуглецю з рослинної біомаси до ґрунту, де він зберігається у як органічний вуглецю ґрунтів у найбільш лабільному пулі.

Цей процес характеризується найвищою швидкістю обороту, охоплює нещодавно розкладені рослинні рештки і легко розкладається ґрунтовою фауною, що, як правило, призводить до викидів CO<sub>2</sub> назад в атмосферу. Тому обов'язкове планування заходів із поглинання вуглецю вимагає не лише захоплення атмосферного CO<sub>2</sub>, але й пошуку шляхів утримання вуглецю в пулі повільного вуглецю. На противагу цьому, дослідження показують, що пул стабільного вуглецю пул має незначний потенціал для поглинання вуглецю через свою стійкість до змін і, отже, нечутливість до управління. Органічний вуглець ґрунту

має вирішальне значення для здоров'я ґрунту, його родючості та екосистемних послуг, включаючи виробництво продуктів харчування, що робить його збереження та відновлення необхідним для сталого розвитку.

Після того, як вуглець потрапляє в ґрунт у вигляді органічного матеріалу з ґрунтової фауни і флори, він може зберігатися в ґрунті десятиліттями, століттями або навіть тисячоліттями. Зрештою, вуглецю може бути втрачений у вигляді CO<sub>2</sub> або CH<sub>4</sub> що викидаються назад в атмосферу, з еродованим ґрунтовим матеріалом, або розчиненого органічного вуглецю, змитого в річки та океани. Динаміка цих процесів підкреслює важливість кількісної оцінки глобальних потоків вуглецю для забезпечення максимальної користі від сільськогосподарських угідь для добробуту людини, виробництва продуктів харчування, регулювання водних ресурсів і клімату. регулювання водних ресурсів та клімату.

#### 1.4. Засоби та методи секвестрації

Суть явища секвестрації полягає у тому аби поглинутий рослинною біомасою вуглецю втримувався у ґрунті, тому для цього використовуються системи що здатні, протягом тривалого часу, втримувати вуглець. Одними з найголовніших засобів для реалізації секвестрації вуглецю ґрунтами є ліси та водно-болотні угіддя.

Ліси можуть виступати як засіб секвестрації при використанні лісорозведення, лісовідновлення, створення плантацій та агролісомеліорації. Загалом ці методики можна описати як збільшення площ лісових насаджень.

Лісорозведення може бути потужним інструментом для секвестрації вуглецю, оскільки дерева поглинають вуглекислий газ з атмосфери під час фотосинтезу. В процесі фотосинтезу дерева використовують сонячне світло, воду та вуглекислий газ для виробництва цукру, який вони використовують як їжу для росту. Вуглекислий газ зберігається в деревині, гілках, листі та коренях.

За оцінками, ліси в усьому світі щорічно поглинають близько 10% світових викидів вуглецю. [5]

Посадка нових лісів - це найпростіший і найефективніший спосіб збільшити кількість вуглецю, який поглинають ліси. Нові ліси можна садити на невикористаних землях, таких як деградовані землі. Лісорозведення має багато інших переваг, окрім секвестрації вуглецю, таких як поліпшення якості води та повітря, запобігання ерозії ґрунту та забезпечення середовища існування для біологічного різноманіття. Це робить лісорозведення важливою частиною стратегії вирішення проблеми зміни клімату.

Відновлення водно-болотних угідь. Ґрунт водно-болотних угідь є важливим природним резервуаром або поглиначем вуглецю, адже здатні на тривалий час втримувати значні об'єми вуглецю. Водно-болотні угіддя зберігають 14,5 % ґрунтового вуглецю, що міститься у ґрунті. Але лише 6 % світового суходолу складають водно-болотні угіддя. [5]

### 1.5. Значення органічного вуглецю

Вуглець є основним компонентом органічної речовини ґрунту. Як індикатор здоров'я ґрунту, має важливе значення для виробництва продуктів харчування, пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації до них, а також для досягнення Цілей сталого розвитку. А високий вміст вуглецю забезпечує рослини поживними речовинами та покращує доступність води, що покращує родючість ґрунту та що підвищує родючість ґрунту і, зрештою, покращує продуктивність харчових продуктів. Крім того, органічний вуглець покращує структурну стабільність ґрунту, сприяючи утворенню агрегатів, які разом з пористістю з пористістю забезпечують достатню аерацію та інфільтрацію води для підтримки росту рослин. За оптимальної кількості вуглецю здатність ґрунту до фільтрації води додатково підтримує постачання чистої води. Через прискорену мінералізацію вуглецю ґрунти можуть бути суттєвим джерелом викидів парникових газів в атмосферу. Хоча загальний вплив зміни клімату на

запаси вуглецю дуже різний залежно від регіону і типу ґрунту, підвищення температури і збільшення частоти екстремальних явищ ймовірно, призведуть до збільшення втрат органічної речовини у ґрунті. [5]

Величина акумуляції вуглецю змінюється у часі і просторі та визначається різними абіотичними та біотичними факторами. У глобальному масштабі найбільшими резервуарами вуглецю є водно-болотні угіддя та торфовища, більшість з яких знаходяться в з яких знаходяться в регіонах вічної мерзлоти та в тропіках. Також, місцями, високий вміст вуглецю фіксується у ґрунтових горизонтах, що знаходяться на глибині більше ніж на один метр під вулканічними, еоловими, елювіальними еоловими, алювіальними, колювіальними, льодовиковими та антропогенними процесами. Загальносвітовий запас органічного вуглецю ґрунтів оцінюється приблизно в 1 500 Pg для шару ґрунту глибиною в один метр. [5]

#### 1.6. Роль ґрунтового вуглецю у регуляції клімату

Органічний вуглець ґрунту відіграє важливу роль у зміні клімату, створюючи як загрозу, так і можливість для досягнення цілей Паризької угоди. Перший метр ґрунту в усьому світі містить приблизно 1 417 гігатонн (Гт) вуглецю - майже вдвічі більше, ніж в атмосфері, і в десятки разів більше, ніж щорічні антропогенні викиди. На більших глибинах ґрунт утримує втричі більше вуглецю, ніж в атмосфері.

Органічний вуглець ґрунту чутливий до того, як ним управляють; нераціональне управління земельними ресурсами призводить до втрати ґрунтами органічної речовини/вуглецю та вивільнення парникових газів. Вже зараз деградація третини ґрунтів у світі призвела до викиду в атмосферу до 78 Гт вуглецю. [5]

Подальша шкода, завдана запасам ґрунтового вуглецю через неефективне управління земельними ресурсами, перешкоджатиме зусиллям, спрямованим на обмеження глобального підвищення температури в цьому столітті і, таким чином,

уникненню збільшення кількості повеней, посух та інших негативних наслідків зміни клімату. Зі зміною клімату, ймовірно, більше вуглецю буде втрачатися в атмосферу, ніж зв'язуватися в ґрунті, що призведе до виникнення петлі зворотного зв'язку "ґрунтовий вуглець-клімат", яка може ще більше прискорити зміну клімату.

Відновлення сільськогосподарських та деградованих ґрунтів може вилучити з атмосфери до 51 Гт вуглецю. Однак поглинання органічного вуглецю ґрунту - це повільний і зворотній процес. Практики сталого управління ґрунтами необхідно впроваджувати в довгостроковій перспективі. Уряди повинні підтримувати землекористувачів у їх впровадженні. Добровільні керівні принципи сталого управління ґрунтами є інструментом, який допоможе спрямувати цей процес.[2]

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1. Опис території дослідження

Для проведення нами було обрано територію Роганської ОТГ, як таку що має досить високий рівень громадської активності. Роганська селищна ОТГ - об'єднана територіальна громада в Україні, знаходиться в Харківському районі Харківської області. Площа громади - 77,07 км<sup>2</sup>. [10] Ґрунтовий покрив представлений чорноземами глибокими середньогумусними.

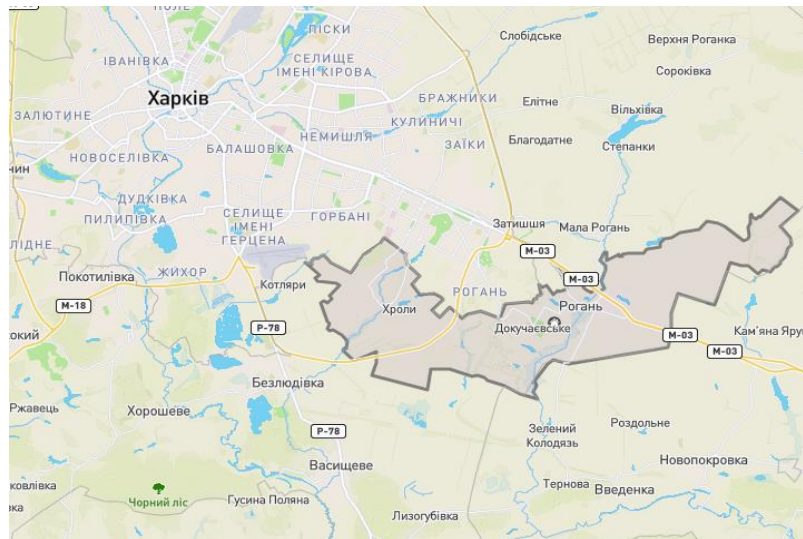


Рис. 2.1. Роганська ОТГ на карті місцевості. [10]

Клімат відіграє важливу роль у природних. Клімат на території дослідження помірний. Середньорічна температура складає 8,1 °С. Середньорічна кількість опадів становить 515 мм. Середньорічна швидкість вітру складає 4 м/с. Середньорічна вологість повітря становить 74%. [10]

На території Роганської ОТГ опади розподіляються досить рівномірно протягом року. Як і в усьому помірному поясі, найбільші опади спостерігаються влітку, що пов'язано, головним чином, з рухом Сонця по екліптиці. Його високе положення над горизонтом стимулює випаровування вологи та утворення дощів і гроз. Найвологіший місяць - липень (67 мм опадів). Серпень є найсухішим серед

інших літніх місяців через сталий антициклон. Від серпня до січня випадає від 35 до 45 мм опадів. [10]

Найсухішими місяцями на території дослідження є лютий по квітень через малу активність Атлантики. Найменше опадів випадає в березні - у середньому 27 мм. З року в рік кількість опадів дуже неоднакова - за весь період спостережень їхня сума коливалася від 319 мм (у 1957 році) до 754 мм (у 1970 році). Найбільше опадів було зафіксовано в 1879 році (898 мм), а найменше (279 мм) - в 1921 році. [10]

В цілому зволоження території дослідження є недостатнім, оскільки випаровування перевищує кількість опадів. Атмосферна посуха - досить поширене явище і може виникати кілька разів протягом року.

## 2.2. Опис засобів та процесу дослідження

Для проведення проводилося методом геоінформаційного аналізу необхідно було отримати супутникові знімки які б відповідали певним умовам:

- Мали б відповідну роздільну здатність, яка б дозволила розрізняти еродовані ділянки.
- Були зроблені у певну дату, коли поля вже не були закриті снігом і ще не закриті рослинністю.
- Знімки мали бути зроблені у ясний день, коли хмари не заважали б ідентифікувати еродовані ділянки.

Отримати знімки які б задовольнили вище згадані умови ми змогли з ресурсу Sentinel hub. Sentinel Hub це платформа, яка надає доступ до супутникових знімків Землі. Вона надає доступ до архівів даних, що зберігають знімки з супутників Sentinel, Landsat, MODIS та інших.

При відборі обов'язково враховувались наступні характеристики зйомки:

- 1) Знімки мають мати хмарність не більше 10%.
- 2) Дати знімків мають відповідати строкам коли є максимальна вірогідність наявності відкритого від рослинності ґрунту - весна або осінь.

Відповідно було відібрано 3 знімки на дати: 2021.11.17, 2023.03.26. і 2024.11.03. Усі знімки завантажувались до QGIS у візуалізації «true color» у форматі TIFF(32-bit float).

На наведеному на рисунку знімку, як і на двох інших, відсутня хмарність, на полях відсутня рослинність та сніговий покрив. Тому цей та інші знімки було взято для нашого дослідження. Кілька знімків було взято для того аби можна було упевнитися що це саме сліди ерозії, а не, наприклад, рослинні рештки, адже ерозія розвивається протягом років і її можна відстежити за допомогою старіших знімків. На знімку було можливим ідентифікувати ерозійні ділянки, які відрізняються світлішим кольором. Також, вони мають витягнуту форму, та приурочені до нерівностей місцевості. Еродовані площі що піддаються ідентифікації методом геоінформаційного аналізу являють собою ділянки сильно еродованих ґрунтів.

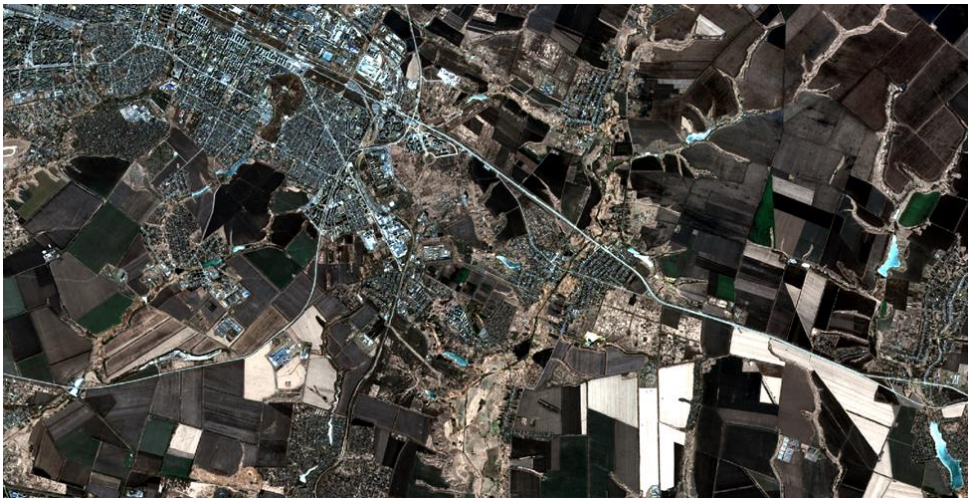


Рис.2.2. Отриманий з ресурсу Sentinel hub супутниковий знімок.[8]

На ресурсі Sentinel hub не можливо було отримати зображення яке містило б лише територію дослідження, адже зображення завантажуються лише за шириною екрану, а за допомогою вбудованої функції ручної обрізки знімку можна було отримати занадто неточні контури. Тому, було окремо вивчено мапу з межами ОТГ та на ресурсі Sentinel hub було знайдено ділянку карти яка б повністю вміщувала територію дослідження(Рис.2.2).

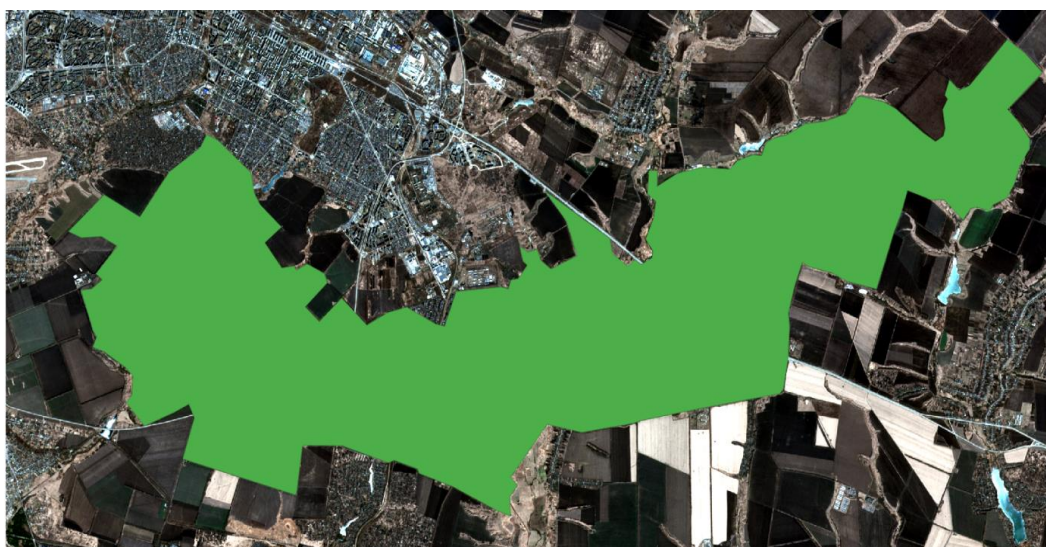


Рис 2.3. Супутниковий знімок з полігональним об'єктом що відображає точні контури Роганської ОТГ [8]

Для подальшої роботи було використано геоінформаційну систему QGIS. Дана система є безкоштовною та надає широкий функціонал для роботи з геоінформаційними даними. У даній програмі було додано шар з полігональним об'єктом що відображає межі Роганської ОТГ (Рис. 2.3.)

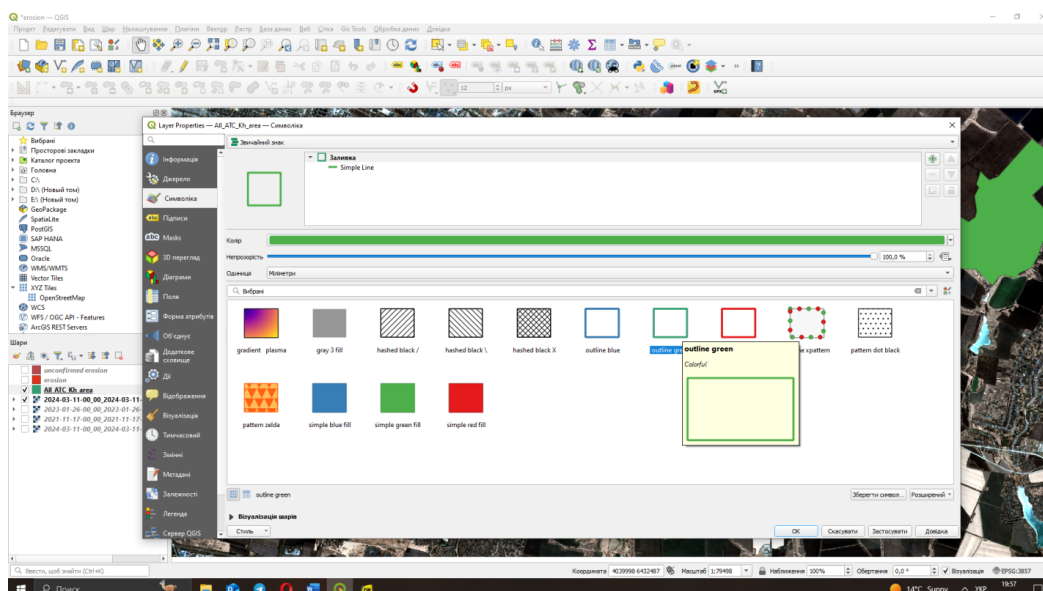


Рис. 2.4 Вікно властивостей шару з межами ОТГ, де було змінено спосіб відображення полігонального об'єкту.

Як можна побачити на Рис. 2.3. отриманий полігональний об'єкт є непрозорим, що робить неможливим роботу на ньому. Але у QGIS є можливість змінити спосіб відображення об'єкту так аби залишилися лише межі об'єкту. Для цього у властивостях шару з межами ОТГ, було змінено спосіб відображення полігонального об'єкту на `outline green`, що робить цей об'єкт прозорим залишаючи лише межі.

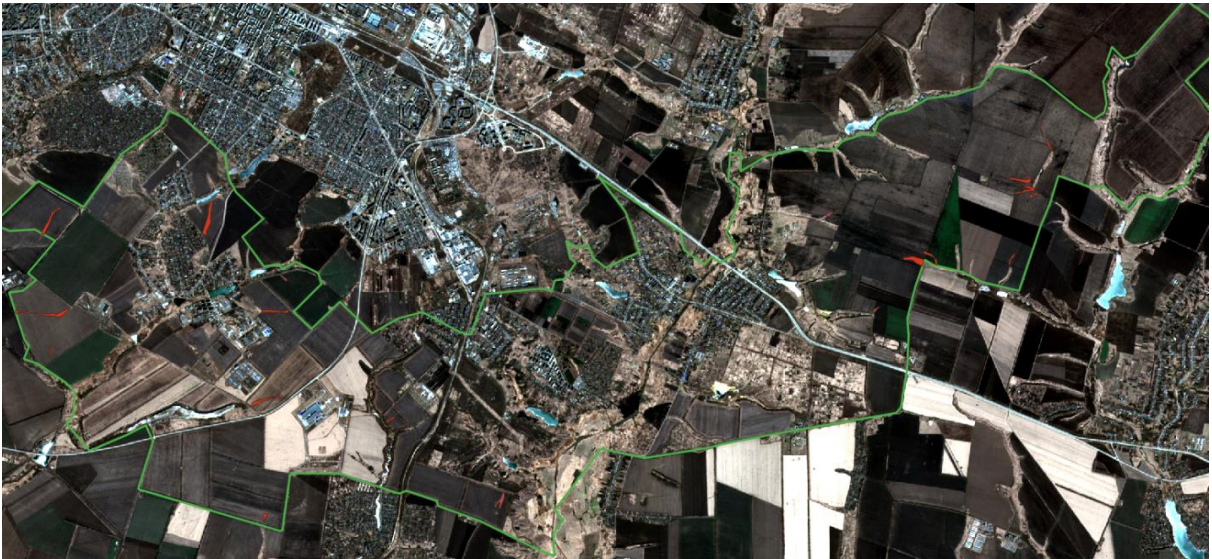


Рис. 2.5. Отриманий з ресурсу Sentinel hub супутниковий знімок з межами Роганської ОТГ.[8]

У підсумку було отримано знімок представлений на Рис. 2.5., який було взято у роботу.

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Геоінформаційний аналіз

Проведення геоінформаційного аналізу території закладалося у візуальній ідентифікації еродованих ділянок. Візуальній ідентифікації за допомогою супутникових знімків піддаються сильно еродовані ґрунти, вони, у порівнянні з менш еродованими та здоровими ґрунтами вирізняються світлішим кольором, та витягнутою, за напрямком ухилу, формою. Ерозія – це процес який триває роки, термін може суттєво різнитися в залежності від умов конкретної ділянки. Тому утворення ділянки сильно змитого ґрунту можна добре відстежити у часі. Саме з цією метою було відібрано три знімки на дати: 2021.11.17, 2023.03.26. і 2024.03.11 Цей проміжок часу є достатнім для підтвердження еродованості ділянки шляхом порівняння її стану на знімку за 2024.11.03 зі знімками за 2021.11.17 та 2023.03.26. Це дає змогу упевнитися що це саме ерозійні процеси, а не, наприклад, рослинні рештки, чи інші явище, що не є предметом нашого дослідження.



Рис. 3.1. Ділянка світлішого ґрунту, яка виглядає як еродована.[8]

Як приклад вищеописаної ситуації можна навести Рис. 3.1., на даному рисунку представлений знімок за 2024.11.03, на якому можна побачити

витагнуту ділянку світлішого, порівняно з оточуючим, ґрунту (виділене жовтим). Тепер поглянемо на цю ж саму ділянку на знімках за минулі роки і перевіримо, чи це ерозія.



Рис. 3.2. Ділянка що наводилися на рисунку 3.1. станом на 2023.03.26.[8]

Як можна побачити на рисунку 3.2. станом на 2024.11.03. виділена жовтим ділянка не відрізняється від оточуючого ґрунту, що є першим підтвердженням того що це не ерозія.



Рис. 3.3. Ділянка що наводилися на рисунку 3.1. станом на 2021.11.17.[8]

На рисунку 3.3. можна також побачити що обведена жовтим ділянка не відрізняється за кольором від навколишнього ґрунту. Таким чином, за допомогою порівняння знімків, за декілька років, встановлено що хоча ділянка і

виглядає як еродована, тобто вирізняється світлішим кольором та має видовжену форму, все ж не є ерозією адже на знімках за минулі роки не має жодних слідів вище згаданих ознак.

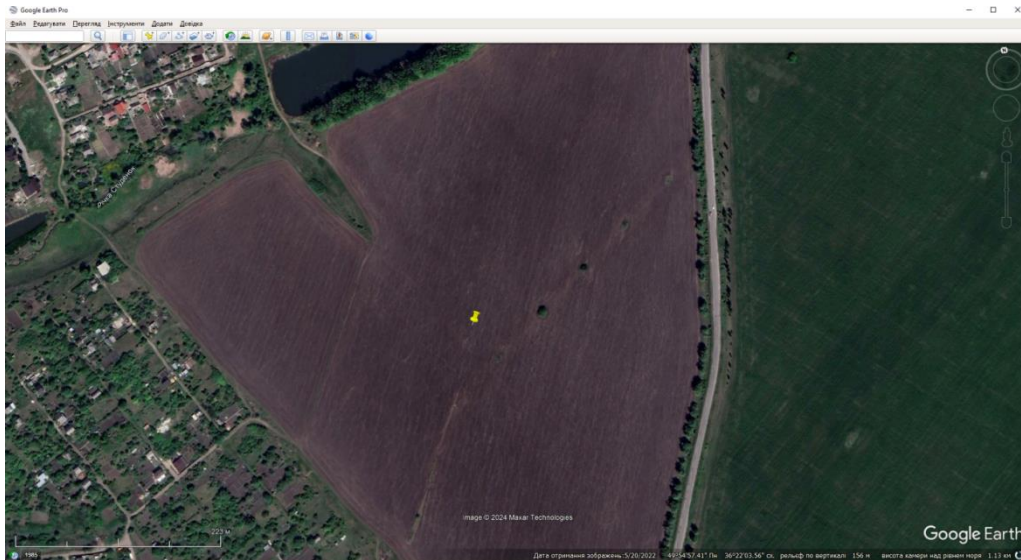


Рис. 3.4. Знімок ділянки представленої на рисунку 3.1. отриманий з сервісу Google Earth

Сервіс Google Earth надає доступ до знімків кращої якості ніж Sentinel hub, проте, через відсутність можливості фільтрувати за датою знімки для обраної місцевості вони не підходять як матеріал для нашого дослідження, проте можуть бути використані лише для додаткової перевірки. Точку на карті, що відповідає досліджуваній ділянці, знаходили за допомогою розширення для програми QGIS під назвою Send2GoogleEarth. За допомогою цього розширення, натиснувши на певну точку на карті у QGIS можна відкрити її у сервісі Google Earth. На даному знімку можна побачити що ґрунт відкритий, не має ані снігового ані рослинного покриття. Тому, дослідивши знімок представлений на рисунку 3.4. ми також не бачимо ознак ерозії.

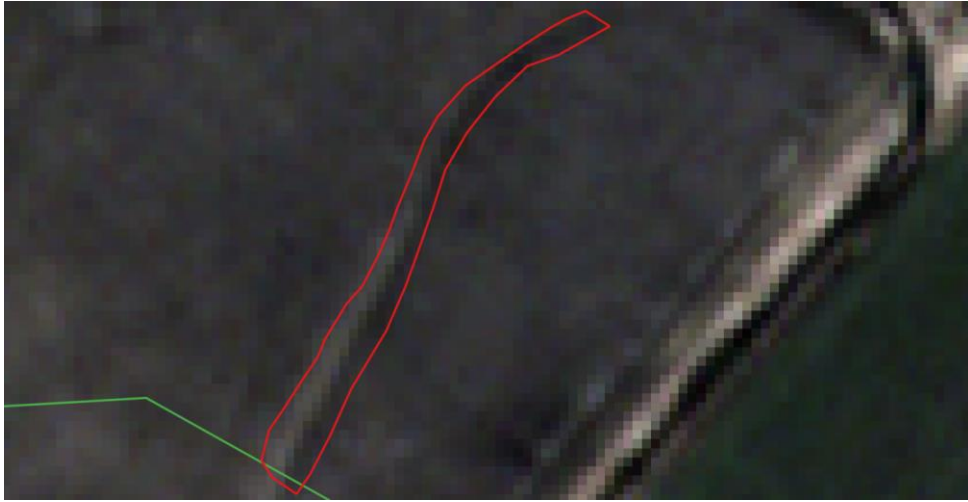


Рис. 3.5. Приклад еродованої ділянки (червоним)

Тепер розглянемо зворотній приклад. Так, на знімку за 2024.11.03. було помічено ділянку, що має ознаки еродованості. Тобто, виділяється світлішим кольором, має витягнуту, за напрямком ухилу, форму.



Рис. 3.6. Ділянка що наводилися на рисунку 3.5. станом на 2023.03.26.

Дослідивши рисунок 3.6. можна побачити що на виділеній червоним ділянці проглядається світла, витягнута смуга, яка може бути ознакою ерозії.



Рис. 3.7. Ділянка що наводилися на рисунку 3.5. станом на 2021.11.17.

Дослідивши рисунок 3.7., також можна побачити наявність слідів ерозії. Таким чином, проаналізувавши усі три знімки можна стверджувати, що на ділянці представлений на рисунку 3.5. наявні сильно еродовані ґрунти.

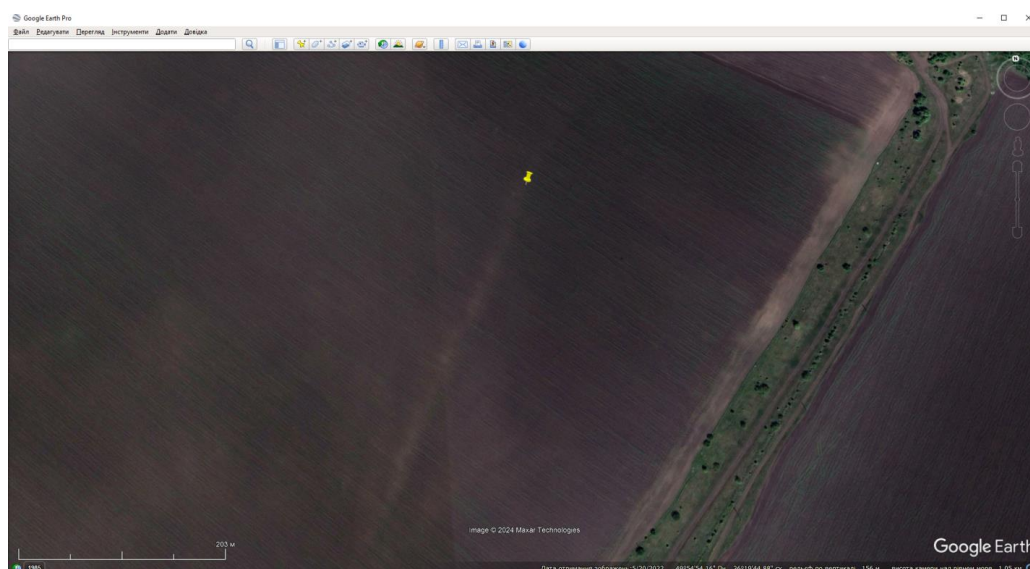


Рис. 3.8. Знімок ділянки представленої на рисунку 3.5. отриманий з сервісу Google Earth

Звірівши знімки ділянки з ресурсу Sentinel hub зі знімками з ресурсу Google Earth ми також можемо побачити досить чіткий слід ерозії, що додає нам впевненості в тому що перед нами і справді сильно еродована ділянка.



Рис. 3.9. Виявлена еродована ділянка. Крупним планом, та у наближені.[8]

На рисунку 3.10 наведено як приклад одну з виявлених еродованих ділянок.



Рис. 3.10. Відмічена полігональним об'єктом еродована ділянка

Еродовані ділянки відмічалися полігональними об'єктами. Ці полігональні об'єкти мають прив'язку до географічних координат і відповідають реальній площі об'єкту.

### 3.2. Обробка та аналіз отриманих результатів

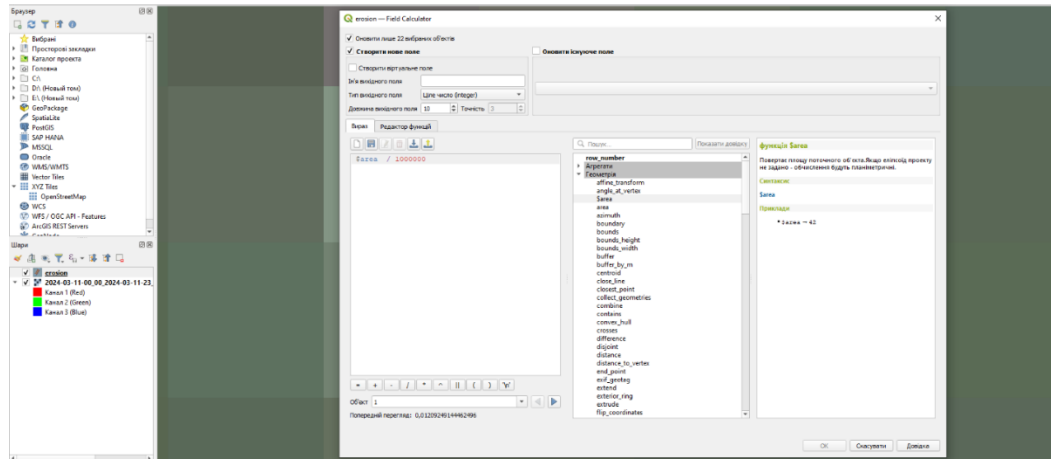


Рис. 3.11 Створення поля колонки яка містить площі об'єктів

Після чого за допомогою вбудованої функції \$area програми QGIS було підраховано площі об'єктів. Поділ на 1 000 000 виконувався для переводу з квадратних метрів у квадратні кілометри.

id	area
1	0,029
2	0,027
3	0,022
4	0,019
5	0,017
6	0,016
7	0,015
8	0,011
9	0,006
10	0,006
11	0,005
12	0,005
13	0,005
14	0,004
15	0,004

Рис. 3.12 Таблиця атрибутів об'єктів, їх площі містяться у колонці area

Колонку, що містить площі об'єктів(Рис 3.7.) було перенесено до табличного процесору Excel де було підсумовано їх площі

Таблиця 3.1.

## Виявлені еродовані ділянки та їх площі

Номер об'єкту	Площа об'єкту
1	0,029
2	0,027
3	0,022
4	0,019
5	0,017
6	0,016
7	0,015
8	0,011
9	0,006
10	0,006
11	0,005
12	0,005
13	0,005
14	0,004
15	0,004

В результаті проведення дослідження було виявлено 15 еродованих ділянок загальною площею 0,191 кілометри квадратних або 19,1 гектари. Найменша площа виявленої ділянки складає 0,004 кілометри квадратних, найбільша 0,029 кілометри квадратних. Середня площа виявленої еродованої складає 0,0141 кілометри квадратних.

### 3.3. Оцінка потенціалу секвестрації

В процесі дослідження нами було виявлено 0,191 кілометри квадратних або 19,1 гектари еродованих ґрунтів (Рис. 3.2.). Для підрахування потенціалу секвестрації потрібно оцінити різницю між фактичним вмістом органічного вуглецю та нормальним для даного типу ґрунтів.[6]

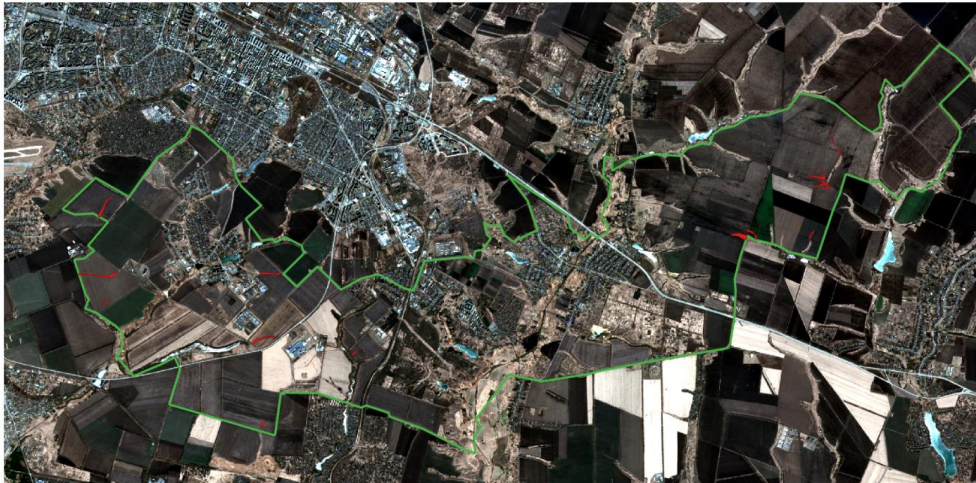


Рис. 3.13. Виявлені еродовані ділянки(червоним).

Нормальний вміст органічного вуглецю для ґрунтів на досліджуваній території, відповідно до даних Продовольчої організації ООН, може становити від 270 до 320 тон на гектар.[5]. Оскільки домінуючими ґрунтами на досліджуваній території є чорноземи глибокі середньогумусні, які є одним з найбільш гумусованих ґрунтів, для наших розрахунків ми візьмемо найбільше значення у 320 тон на гектар. Встановлення точніших значень вимагає подальшого дослідження зі залученням землевласників. Сильно еродованими ґрунтами вважаються ґрунти що втратили 40% органічної маси, яка, в свою чергу, містить 50% вуглецю. [1] Тобто, такі ґрунти втратили 20% відсотків органічного вуглецю, що становить 64 тони з гектару. Це значення і є різницею між нормальною і фактичною кількістю вуглецю. Для того аби отримати значення потенціалу секвестрації досліджуваної території помножимо значення для одного гектару на загальну площу еродованих земель і отримаємо що потенціал секвестрації вуглецю на даній території складає 1222,4 тон.

#### 3.4. Практичне використання результатів

Вуглець є ключовим елементом у природніх процесах, зокрема, у процесах фотосинтезу та дихання. Його роль у збереженні кліматичного балансу полягає у тому, що він є складовою частиною парникового ефекту, який впливає

на температуру Землі. Захоплення та зберігання вуглецю в екосистемах, зокрема, у ґрунтах, вважається ефективним способом зменшення викидів парникових газів.

Отримані результати є попереднім дослідженням і для більш точної оцінки потрібно проводити ширші дослідження із залученням землевласників та керівництва і громади Роганської ОТГ свідчать про значний потенціал секвестрації вуглецю в еродованих ґрунтах досліджуваної території. Розраховані значення вказують на можливість збереження 1222,4 тон вуглецю на даній території. Це відкриває перспективи для впровадження проектів з секвестрації вуглецю що дасть можливість для отримання вуглецевих кредитів в рамках міжнародних кліматичних ініціатив.

Система вуглецевих кредитів - це ринковий інструмент, спрямований на стимулювання скорочення викидів парникових газів. Вона базується на наступних принципах:

- Квотування: Уряди або міжнародні організації встановлюють обмеження на загальний обсяг викидів парникових газів.
- Торгівля: Ці обмеження розподіляються на вуглецеві кредити, кожен з яких дає право на викид однієї тони CO<sub>2</sub> або еквівалентної кількості інших парникових газів.
- Компенсація: Компанії та інші організації, які не можуть скоротити свої викиди до встановленого рівня, можуть купувати вуглецеві кредити у тих, хто викидає менше, або інвестувати в проекти, які сприяють поглинанню парникових газів з атмосфери (наприклад, лісові насадження, відновлення боліт).

Переваги системи вуглецевих кредитів:

- Стимулювання скорочення викидів: Завдяки тому, що викиди CO<sub>2</sub> стають "дорожчими", компанії та організації шукають способи скоротити їх, щоб заощадити кошти.
- Фінансування екологічних проектів: Кошти, отримані від продажу вуглецевих кредитів, можуть бути спрямовані на фінансування проектів, які сприяють збереженню довкілля та пом'якшенню наслідків зміни клімату.

- Підвищення прозорості: Система вуглецевих кредитів стимулює компанії та організації вести облік своїх викидів парникових газів, що робить їх діяльність більш прозорою.

Недоліки даної системи:

- Необхідність жорсткого контролю: Для того, щоб система була ефективною, необхідний жорсткий контроль за обліком та торгівлею вуглецевими кредитами.

- Можливість зловживань: Існує ризик того, що деякі компанії та організації можуть купувати вуглецеві кредити замість того, щоб вживати реальних заходів щодо скорочення викидів.

- Несправедливість: Країни, що розвиваються, можуть нести непропорційно високі витрати на виконання своїх зобов'язань за системою вуглецевих кредитів.

Таким чином, господарство, яке доведе що впроваджена ним система користування землями сприяє секвестрації вуглецю може отримувати вуглецеві кредити. Один такий кредит еквівалентний одній тоні поглинутого ґрунтами вуглецю. На час написання даної роботи, травень 2024 року, на європейському ринку вуглецевих кредитів (European Carbon Credit Market) торгуються на рівні близько 70 євро за один такий кредит.[3] Таким чином відновлення еродованих ґрунтів на території Роганської ОТГ може принести землевласникам та громаді 85 540 євро. В перерахунку на гривні 3 651 754,75 гривень, за курсом 1 євро до 42,69 гривні, станом на 13.05.2024. Термін отримання цього прибутку може різнитися в залежності від обраних методів секвестрації та додаткових умов, які також потребують подальшого та ширшого дослідження. Також варто врахувати коливання цін на кредити, що може вплинути на кінцеву суму прибутку від продажу вуглецевих кредитів.

Отже, враховуючи великий потенціал застосування системи ведення сільського господарства яка сприяє секвестрації вуглецю та відновленню еродованих ґрунтів, вважаємо доцільним подальше дослідження цієї території та розробка стратегій секвестрації вуглецю.

## ВИСНОВКИ

Проблема ерозії ґрунтів для України є не лише екологічним, але й економічним і соціальним питанням. Ерозія, окрім зниження родючості ґрунтів, також має вплив і на клімат. Через ерозію ґрунтів з них, у різних формах, вивільняється вуглець. В тому числі і формі двоокису вуглецю, який є одним із парникових газів. Як вирішення даної проблеми може стати секвестрація вуглецю.

На основі проведеного під час дослідження геоінформаційного аналізу супутникових знімків було встановлено, що на сільськогосподарських угіддях Роганської ОТГ площі сильно еродованих ґрунтів складають 19,1 га.

Результати розрахунків показують, що потенціал секвестрації вуглецю еродованими ґрунтами на даній території складає 1222,4 тон.

Це відкриває перспективи для впровадження проектів з секвестрації вуглецю що дасть можливість для отримання вуглецевих кредитів в рамках міжнародних кліматичних ініціатив. За нашими підрахунками подібний проєкт може принести близько 3 651 754,75 гривень. Проте, кінцева сума залежатиме від коливань цін на кредити.

Отримані нами результати можуть стати основою для подальших досліджень методів та засобів секвестрації вуглецю. Яка може стати рішенням не тільки для проблеми відновлення родючості ґрунтів а й проблеми накопичення парникових газів в атмосфері.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global status of black soils. Rome, 2022. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a363b8ca-6856-4e57-8907-fdac9b911b78/content>
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global Symposium on Soil Organic Carbon. URL: <https://www.fao.org/about/meetings/soil-organic-carbon-symposium/key-messages/en/>
3. Live Carbon Prices Today. URL: <https://carboncredits.com/carbon-prices-today/> (дата звернення: 13.05.2024)
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Soil erosion: the greatest challenge for sustainable soil management. Rome, 2019. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a268e967-a373-4a56-adac-ae1d7ab3567f/content>
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Soil Organic Carbon - the hidden potential. Rome, 2017. URL: <https://www.fao.org/3/i6937en/i6937en.pdf>
6. Ачасов А. Б., Ачасова А. О. Щодо методики кількісної оцінки потенціалу секвестрації органічного вуглецю для чорноземів. Сучасні проблеми екологічного контролю та аудиту : зб. тез доп. міжнар. інтернет – конф., м. Харків, 23 лют. 2022 р. Харків, 2022. С. 7-9.
7. Ачасов А. Б., Стислий огляд сценарних аналізів і прогнозування динаміки вуглецю в ґрунтах у наслідок впливу зміни клімату за різних типів ведення сільського господарства. URL: <https://nbs.wwf.ua/styslyj-ohliad-stsenar-nykh-analiziv-i-prohnozuvannia-dynamiky-vuhletsu-v-gruntakh-u-naslidok-vplyvu-zminy-klimatu-za-riznykh-typiv-vedennia-silskoho-hospodarstva/>.
8. Веб-сервіс Sentinel-hub. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>
9. Державна служба статистики України. Сільське господарство, 2018. URL: [https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2019/zb/09/Zb\\_sg\\_2018%20.pdf](https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/09/Zb_sg_2018%20.pdf)
10. Роганська селищна громада. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Роганська\\_селищна\\_громада](https://uk.wikipedia.org/wiki/Роганська_селищна_громада) (дата звернення: 22.03.2024)