

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
магістра
на тему
ОЦІНКА ВТРАТ ҐРУНТУ ВІД ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ НА ОСНОВІ
МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Виконав: студент 2 курсу, групи ДЕ-62
спеціальності : 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

_____ /Єгор ЄРОШЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

Рецензент _____ / _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

в. о. завідувача кафедри _____ /Андрій АЧАСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____ /Інна МИРОНОВА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ / _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 року

4. План роботи

№ з/п	Назва етапів роботи
1	Проведення літературного огляд на задану тему.
2	Опанування методики використання моделі WEPP.
3	Обрання території, яка слугуватиме тестовим полігоном для розроблення сценаріїв ерозійної ситуації.
4	Написання теоретичного розділу кваліфікаційної роботи.
5	Описання досліджуваної ділянки та методики дослідження.
6	Створення моделі ерозійної ситуації та прогноз втрат ґрунту.
7	Надання рекомендацій щодо покращення ерозійної ситуації досліджуваної території.
8	Написання висновків.
9	Оформлення списку використаних джерел.

5. Дата видачі завдання _____ 08.05.2023 р.

Студент	_____	Єгор ЄРОШЕНКО
	підпис	ім'я, прізвище
Керівник роботи	_____	Андрій АЧАСОВ
	підпис	ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

**ОЦІНКА ВТРАТ ҐРУНТУ ВІД ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ НА ОСНОВІ
МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Єгор ЄРОШЕНКО

Кваліфікаційна робота «Оцінка втрат ґрунту від водної ерозії на основі математичного моделювання» містить 47 сторінок, 4 розділи, 5 таблиць, 26 рисунків, 40 використаних джерела.

Мета роботи: за допомогою математичного моделювання оцінити втрати ґрунту, що спричинені водною ерозією на сільськогосподарських землях Роганської об'єднаної територіальної громади (Харківська область).

Актуальність роботи. Зростання навантаження на агроландшафти через інтенсивну сільськогосподарську діяльність спричиняє значне підвищення рівня деградації ґрунтового покриву, зокрема збільшення площ еродованих земель. Цей процес особливо актуальний у регіонах із високою розораністю територій, де природна екосистема порушена, а ґрунти піддаються постійним фізико-хімічним та механічним впливам.

Водна ерозія ґрунтів, яка є одним із найпоширеніших видів ґрунтової деградації, характеризується вимиванням верхнього родючого шару ґрунту внаслідок дії опадів, талих вод та інших гідрологічних факторів. Цей процес не лише знижує родючість ґрунтів, але й негативно впливає на структуру агроландшафтів, погіршує водний баланс і спричиняє накопичення змитих ґрунтових частинок у водоймах, що призводить до їх замулення та забруднення.

Методи: аналітичний, статистичний, моделювання і прогнозування.

Результати: Виконано оцінку втрат ґрунту від водної ерозії, ідентифіковано найбільш уразливі території, розроблено рекомендації для оптимізації сільськогосподарської діяльності з метою зниження ерозійних процесів.

**ҐРУНТ, ЕРОЗІЙНА НЕБЕЗПЕКА, ВОДНА ЕРОЗІЯ, ДЕГРАДАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ,
ПРОТИЕРОЗІЙНІ ЗАХОДИ**

ANNOTATION

**ASSESSMENT OF SOIL LOSS FROM WATER EROSION BASED ON
MATHEMATICAL MODELING**

Yehor YEROSHENKO

The qualification work "Assessment of Soil Loss from Water Erosion Based on Mathematical Modeling" consists of 47 pages, 4 chapters, 5 tables, 26 figures, and 40 references.

Objective: The aim of the work is to assess soil loss caused by water erosion on agricultural lands of the Rohanska United Territorial Community (Kharkiv region) using mathematical modeling.

Relevance: Increasing pressure on agro-landscapes due to intensive agricultural activities has significantly accelerated soil degradation processes, particularly the expansion of eroded land areas. This issue is especially critical in regions with high land cultivation levels, where the natural ecosystem is disrupted, and soils are subjected to continuous physical, chemical, and mechanical impacts.

Water erosion, one of the most widespread types of soil degradation, involves the removal of the fertile topsoil layer due to precipitation, snowmelt, and other hydrological factors. This process not only reduces soil fertility but also negatively affects agro-landscape structures, disrupts water balance, and leads to the accumulation of eroded soil particles in water bodies, resulting in their silting and pollution.

Methods: Analytical, statistical, modeling, and forecasting methods.

Results: The study assessed soil loss due to water erosion, identified the most vulnerable areas, and developed recommendations to optimize agricultural practices and mitigate erosion processes.

**SOIL, EROSION RISK, WATER EROSION, LAND DEGRADATION,
ANTI-EROSION MEASURES.**

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ГРУНТІВ.....	9
1.1 Основні терміни та поняття.....	9
1.2 Оцінка ерозійної небезпеки ґрунтів України.....	14
1.3 Математичне моделювання та прогнозування водної ерозії на прикладі моделі WEPP	17
РОЗДІЛ 2 УМОВИ ТА МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ГРУНТІВ.....	20
2.1 Опис досліджуваної території	20
2.2 Методика моделювання процесів водної ерозії.....	22
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ГРУНТІВ.....	29
РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЕРОЗІЙНОЇ СИТУАЦІЇ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ.....	37
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

ВСТУП

Актуальність дослідження. Ерозійні процеси є одними з основних факторів деградації ґрунтів, що впливають на сільське господарство та екосистеми. Вони виникають та розвиваються під впливом природних та антропогенних факторів. Сільськогосподарська діяльність, зокрема інтенсивне використання земель, підвищення розораності та неправильне господарювання, сприяють збільшенню площ еродованих земель. В умовах Харківського району, де сільське господарство є важливою частиною економіки, водна ерозія ґрунтів є одним із найбільш поширених і небезпечних процесів, що завдають значних економічних та екологічних збитків.

Захист ґрунтів від ерозії має важливе значення для збереження родючості земель, оскільки ґрунт є основним ресурсом для сільськогосподарського виробництва і важливим компонентом біосфери. Тому дослідження ерозійної небезпеки в агроландшафтах Харківського району є надзвичайно актуальним завданням для забезпечення сталого розвитку сільського господарства в регіоні.

Мета дослідження – оцінити ерозійну небезпеку сільськогосподарських земель Харківського району Харківської області за допомогою математичного моделювання.

Для досягнення поставленої мети у роботі поставлено та вирішено такі **завдання:**

- провести аналіз наукових джерел з теми ерозії ґрунтів і її впливу на сільськогосподарські землі;
- побудувати математичну модель для оцінки втрат ґрунту від водної ерозії в Харківському районі;
- надати рекомендації щодо покращення ерозійної ситуації в досліджуваному регіоні.

Об'єкт дослідження – сільськогосподарські землі фермерського господарства в Харківському районі Харківської області.

Предмет дослідження – ерозійна ситуація на землях сільськогосподарського

призначення Харківського району.

Основна гіпотеза (постановка проблеми) - використання математичних моделей для оцінки ерозійної небезпеки може допомогти в розробці ефективних заходів для захисту ґрунтів та зменшення негативного впливу ерозії на агроландшафт.

Наукова новизна одержаних результатів: застосування математичних моделей для розробки сценаріїв безпечного використання земель у сільському господарстві Харківського району.

Методи дослідження: аналітичний, статистичний, моделювання і прогнозування.

Практичне значення отриманих результатів: Результати можуть бути використані для розробки заходів щодо протиерозійного захисту земель у Харківському районі. Алгоритм досліджень може бути застосований для оцінки ерозійної небезпеки в інших агроландшафтах і розробки сценаріїв їх безпечного використання.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ҐРУНТІВ

1.1 Основні терміни та поняття

Деградація земель — це процес, обумовлений природними або антропогенними чинниками, який призводить до зменшення родючості ґрунтів, погіршення їх функцій та втрати корисних властивостей, викликаний змінами умов ґрунтоутворення.

Одним із найсерйозніших чинників, що спричиняють деградацію агроландшафтів і зниження продуктивності земельних ресурсів, є ерозія ґрунтів [1]. Ерозійні процеси становлять значну загрозу для аграрного сектору, оскільки руйнують ґрунтовий покрив, зменшують його родючість і погіршують екологічний стан територій.

Ерозія ґрунтів визначається як процес переміщення або руйнування верхнього шару ґрунту, що може бути викликаний впливом різних ерозійних чинників, таких як: вода, вітер, лід, сніг, а також людська діяльність, зокрема інтенсивне сільське господарство [2]. Цей процес є природним, але під впливом антропогенних факторів його інтенсивність значно зростає. Наприклад, надмірна розораність територій, вирубка лісів, неправильне зрошення й осушення земель створюють умови для прискореного розвитку ерозійних процесів.

Зростання інтенсивності ерозії ґрунтів завдає значних збитків не лише аграрному сектору, а й загрожує екологічній безпеці, сприяє зміні ландшафтів, забрудненню водойм і зниженню біорізноманіття. Наслідки ерозії ґрунтів проявляються у вигляді зменшення врожайності, втрати родючого шару ґрунту, замулення водойм та погіршення умов для сільськогосподарського виробництва.

Приклад впливу ерозійних процесів і їх наслідків на агроландшафти представлено на рисунку 1.1.



Рис. 1.1 - Рис. 1 – Приклади водної ерозії

Ерозія ґрунтів за походженням поділяється на природну (геологічну) та прискорену (руйнівну).

Природна ерозія (геологічна) є природним процесом, що відбувається без втручання людини. Вона протікає повільно, і запобігти їй практично неможливо. Такий тип ерозії зазвичай не завдає значної шкоди, оскільки майже не впливає на родючість ґрунту. Геологічна ерозія є частиною природного кругообігу й проявляється через діяльність води, вітру та інших природних факторів. Серед основних природних чинників, які сприяють цьому процесу, виділяють клімат, рельєф місцевості, тип ґрунту, наявність рослинності, температуру повітря, вітрові умови та кількість опадів.

Прискорена ерозія (руйнівна) виникає під впливом антропогенних факторів. Основними причинами такого типу ерозії є нераціональне використання земель, недоліки в будівництві, неправильне ведення лісового та сільського господарства, прокладання доріг, промислова діяльність тощо. Ці дії порушують цілісність верхнього шару ґрунту, що призводить до його швидкого руйнування. Наслідками прискореної ерозії є утворення борозен, канав, ярів та інших ерозійних форм рельєфу [3].

Ґрунти класифікують за ступенем інтенсивності змиву на три категорії: слабозмиті, середньозмиті та сильнозмиті. У таблиці 1.1 представлено характеристику ґрунтів залежно від рівня змитості їх верхніх шарів [4].

Таблиця 1.1

Характеристика ґрунтів за рівнем змитості верхнього шару [4]

Ступінь змивання ґрунту	Характеристика
Слабозмиті	залягають серед незмитих в більшості на малопологих схилах місцевих вододілів. До слабозмитих, у ґрунтах з диференційованим профілем відносяться такі, у яких на 50 % змитий гумусово-елювіальний горизонт, а у ґрунтах з акумулятивним типом профілю – у яких менш ніж на 50 % змитий гумусовий горизонт.
Середньозмиті	для таких ґрунтів характерна відсутність гумусового й гумусово-елювіального горизонтів, поширеність на пологих схилах.
Сильнозмиті	залягають у сукупності зі слабозмитими та середньозмитими. У ґрунтах з диференційованим профілем орний шар утворений ілювіальним горизонтом, гумусовий та елювіальний горизонти повністю змиті, а у ґрунтах акумулятивного типу в орний шар включені нижній перехідний горизонт та частково материнська порода, змиті гумусовий та верхній перехідний горизонти.

Окрім змивних ґрунтів, існують також намиті ґрунти, на яких накопичуються відкладення ерозійних продуктів. Залежно від товщини шару цих відкладень, такі

грунти поділяються на: малонамиті (товщина шару менше 20 см), середньонамиті (товщина шару від 20 до 40 см), і сильнонамиті (товщина шару більше 40 см) [5].

Існує два основних типи ерозії ґрунтів: природна (геологічна) та антропогенна (прискорена). Природна ерозія є природним процесом, який відбувається під впливом вітру і води. Вона завжди існувала як нормальний геологічний процес і розвивається повільно, без значного впливу на родючість ґрунту. Така ерозія не завдає великої шкоди і не може бути зупинена, оскільки є частиною природного кругообігу [5].

Прискорена ерозія, навпаки, є результатом людської діяльності, зокрема через неправильне ведення землеробства, лісового господарства, будівництва, транспорту та інші господарські дії. Вона проходить набагато швидше і може серйозно пошкодити ґрунт, порушуючи його структуру і знижуючи родючість. Цей процес веде до утворення борозен, канав і ярів. Прискорену ерозію класифікують залежно від інтенсивності змиву: слабкий змив — 0,5-1,0 т/га, середній — 1,0-5,0 т/га, сильний — 5-10 т/га та дуже сильний — понад 10 т/га [6].

Водна ерозія є одним із видів прискореної ерозії і включає процеси руйнування ґрунту під впливом дощових, талих та іригаційних вод. Вона може бути поверхневою, коли змивається верхній родючий шар ґрунту, або глибокою, коли утворюються яри та глибокі розмиви. Водна ерозія інтенсивно розвивається на розораних схилах, особливо коли оранка проводиться вздовж схилу, що сприяє утворенню борозен для стоку води. Ситуація ускладнюється, якщо на цих землях вирощуються сільськогосподарські культури, які потребують великої площі живлення [7].

Що стосується вітрової ерозії (дефляції), то вона спричиняється видуванням ґрунту під дією сильних вітрів. Вона часто спостерігається на відкритих землях, де відсутнє належне задерніння. Така ерозія є характерною для степових, пустельних та пустельно-степових зон. Вітрова ерозія може проявлятися у різних формах: місцева (повсякденна) ерозія, зимове видування, яке відбувається через сильні зимові вітри, а також пилові бурі, які є найбільш шкідливими та активними [8].

У разі місцевої вітрової ерозії процес знищення ґрунту відбувається повільно і за помірної швидкості вітру, але її вплив стає відчутним при тривалому контакті з вітром. Зимове видування спричинене сильними зимовими вітрами над зораними полями, на яких можуть пошкоджуватися посіви озимих культур. Пилові бурі, в свою чергу, є найнебезпечнішим видом вітрової ерозії, здатним переносити величезні маси ґрунту на великі відстані [9].

Таким чином, ерозія ґрунтів, як водна, так і вітрова, є серйозною загрозою для родючості земель, і вона потребує впровадження ефективних заходів для її попередження та контролю.

Причини прискореної ерозії ґрунтів можуть бути різноманітними і часто зумовлені людською діяльністю. Однією з головних причин є безконтрольне вирубування лісів. Ліси мають велику здатність захищати ґрунт від ерозії, оскільки коренева система дерев утворює щільне сплетіння, яке утримує воду та захищає ґрунт від змиву. Без лісового покриву земля стає вразливою до ерозійних процесів. Іншою причиною є розорення луків. Трав'янисті рослини, завдяки своїй розвиненій кореневій системі, утворюють дернину, яка виконує важливу ґрунтозахисну функцію. Коли ці території розорюються, це значно збільшує ймовірність ерозії. Перевипасання худоби є ще однією проблемою, оскільки рослинний покрив знищується швидше, ніж відбувається відновлення пасовищ. В результаті, худоба не тільки витоптує траву, але й порушує структуру ґрунту своїми кінцівками, що також сприяє його ерозії. Неправильне ведення землеробства, зокрема відсутність сівозміни та неправильне розорювання схилів (особливо поздовжнє, яке спричиняє змивання ґрунту), є ще однією причиною ерозійних процесів. Ці фактори роблять ґрунт більш вразливим до ерозії, що знижує його родючість і ефективність для сільського господарства [1].

Ерозія ґрунтів є незворотнім процесом: все, що втрачається з ґрунту через воду або вітер, більше не може бути використано для сільськогосподарських потреб. В Україні загальна площа еродованих та ерозійно небезпечних земель становить понад 17 мільйонів гектарів. Водночас, часто спостерігається поєднання різних типів ерозії. Водна ерозія особливо поширена на зрошуваних землях, де вона

проявляється у вигляді площинного змиву та намиву ґрунту, а також у вигляді розмиву полинних борозен. Найбільша площа змитих ґрунтів припадає на Луганську, Вінницьку, Дніпропетровську та Одеську області, де цей показник може досягати 53-66% від загальної площі ріллі. Водночас, ерозія спричиняє значну шкоду не лише родючості ґрунтів, а й інфраструктурі: вона замулює річки, пошкоджує сінокоси і пасовища, а також псує гідротехнічні споруди [2].

Фактори, що підсилюють водну ерозію, включають вирубування лісів, знищення трав'яного покриву, розорювання схилів, неглибоку оранку, великий обсяг опадів та неправильну меліорацію. Вітрову ерозію посилюють розорювання піщаних і супіщаних ґрунтів, вирощування одних і тих самих культур на одній території протягом декількох років, а також неправильна меліорація [3]. Наслідки ерозії можуть бути дуже серйозними. Одним із основних є втрата значної кількості гумусу та поживних речовин, що знижує енергетичний потенціал ґрунтів і їх здатність підтримувати родючість. Це особливо помітно на темно-сірих опідзолених ґрунтах. Наприклад, у Київській області, де слабо- і середньо змиті ґрунти, вміст гумусу зменшився на 0,2-0,3%, а запаси в метровому шарі скоротилися на 30-50 т/га порівняно з незмитими ґрунтами [4].

До інших наслідків належать замулювання водойм, заповнення доріг, погіршення кліматичних умов (пил у повітрі), зниження врожайності сільськогосподарських культур і погіршення їх якості. Оскільки частина насіння змивається або не сходить, це вимагає застосування підвищених норм висіву культур. Крім того, ерозія призводить до зростання витрат на обробіток еродованих земель через підвищення питомого опору ґрунту та скорочення довжини полів [5].

1.2 Оцінка ерозійної небезпеки ґрунтів України

Україна є однією з найбільших аграрних країн світу, володіє значним потенціалом для розвитку сільського господарства та має 1/3 світових чорноземів. Вона займає перше місце на аграрних ринках світу за виробництвом і переробкою соняшникової олії, зерна, меду та цукру [15].

Сільськогосподарські угіддя складають 70,3 % від загальної площі України, з яких 81 % займають оброблювані землі. Чорноземи є найпоширенішими ґрунтами, які займають 60,6 % від загальної площі земель сільськогосподарського призначення, тоді як темно-сірі лісові ґрунти складають 21,3 %.

Степова зона України, що охоплює 41,5 % території, є найбільшим природним комплексом і має понад 76 % сільськогосподарських угідь, з яких 63 % — це оброблювані землі. Лісостеп займає 33 % території країни і має високий рівень оброблюваних сіножатей та земель, сприятливих для сільського господарства. Полісся, де на значній частині території розташовані ліси та кущі, має велику кількість пасовищ, а площі під культивовані землі значно менші.

Ґрунти є найважливішим компонентом навколишнього середовища і визначають продуктивність сільськогосподарського виробництва, яка залежить від їхнього стану [16]. Однак ерозія є основним процесом деградації ґрунтів в агроландшафтах України, завдаючи серйозної економічної та екологічної шкоди. Інтенсифікація ерозійних процесів призводить до значної деградації ґрунтів і великих збитків в аграрному секторі.

В Україні понад 16 мільйонів гектарів земель зазнали ерозії, і ці процеси продовжують охоплювати кожен п'ятий гектар ще незайнятих територій. Втрата гумусу, основної органічної складової ґрунту, є особливо небезпечною, оскільки на цих землях його рівень знижено на 30-70 %. Яружна ерозія поширена на великих територіях, займаючи близько 157 тис. га та утворюючи близько 600 тис. ярів.

На рисунку 1.2 представлена карта еродованості ґрунтів України, яка демонструє ступінь ерозії по областях, виражену у відсотках [17].

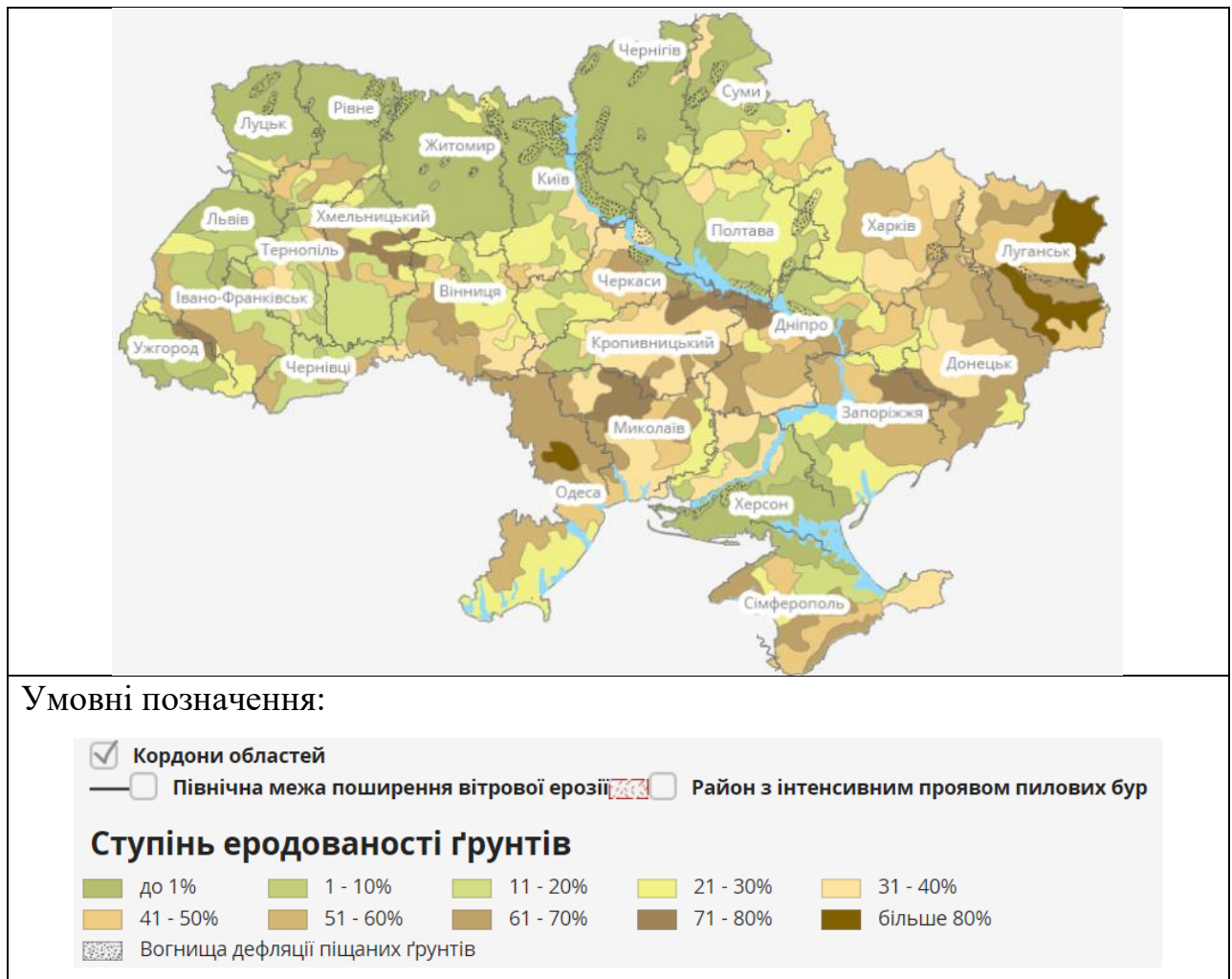


Рис. 1.2 – Карта еродованості ґрунтів України [17]

Як показує аналіз, найбільший рівень ерозії ґрунтів спостерігається в Луганській області, де еродовані землі займають значні площі. Найменше ерозійних процесів зафіксовано в Луцькій, Рівненській, Житомирській та Чернігівській областях, де рівень ерозії є значно нижчим порівняно з іншими регіонами.

Щорічно внаслідок ерозії в Україні втрачається від 300 до 600 мільйонів тонн ґрунту. Це має серйозні екологічні та економічні наслідки, оскільки супроводжується втратою таких важливих елементів, як гумус, азот, фосфор і калій. Так, щорічні втрати гумусу можуть досягати 15 мільйонів тонн, азоту — до 0,9 мільйона тонн, фосфору — до 900 тисяч тонн, а калію — до 12 мільйонів тонн. Ці втрати значно перевищують кількість поживних речовин, які постачаються через використання добрив.

Завдяки ерозійним процесам урожайність на еродованих ґрунтах зменшується на 20-60 % порівняно з нееродованими. Це веде до значних втрат врожаю, які, за оцінками експертів, становлять від 9 до 12 мільйонів тонн зернових щороку, що, в свою чергу, призводить до збитків, які перевищують 10 мільярдів доларів на рік.

Вітрова ерозія є серйозною проблемою, оскільки понад 6 мільйонів гектарів земель щорічно піддаються впливу вітрової ерозії, а під час пилових бурь цей показник може досягати 20 мільйонів гектарів.

Водна ерозія також має значний вплив на сільськогосподарські угіддя України. Вона руйнує понад 13,3 мільйона гектарів земель, що становить 32 % від загальної площі сільськогосподарських угідь, з яких 10,6 мільйона гектарів — орні землі. Крім того, в Україні є понад 4,5 мільйона гектарів сильно та середньо еродованих земель, а ще 68 тисяч гектарів відзначаються повною відсутністю гумусового горизонту, що суттєво знижує їх родючість і продуктивність.

У зв'язку з цими серйозними проблемами для забезпечення сталого розвитку сільського господарства в Україні важливо впроваджувати комплекс заходів, спрямованих на боротьбу з ерозією. Це повинні бути як агроеліоративні, так і гідромеліоративні заходи, організаційно-господарські стратегії та лісомеліоративні практики, які допоможуть відновити ґрунти та зберегти їх родючість. Проектування таких заходів має базуватися на точних наукових даних, детальних розрахунках і комплексному підході, що дозволить ефективно протидіяти ерозійним процесам та зменшити негативний вплив на екологічну ситуацію в країні [18][19].

1.3 Математичне моделювання та прогнозування водної ерозії на прикладі моделі WEPP

На сьогодні існує велика кількість моделей, що використовуються або рекомендовані для оцінки інтенсивності ерозійних процесів, які призводять до руйнування ґрунтів. Однією з найбільш визнаних і перспективних є модель Water

Erosion Prediction Project (WEPP), яка належить до теоретичних математичних моделей і активно застосовується для прогнозування водної ерозії ґрунтів.

Проект WEPP був започаткований у 1985 році і здатний моделювати різноманітні фізичні процеси, зокрема стік води, відшарування часток ґрунту, транспортування осаду, інфільтрацію води, ріст рослин, взаємодію дощових крапель з ґрунтом, осадження і розкладання органічних залишків [21].

На рис. 1.3 представлено процес проведення кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту з використанням геоінформаційних систем (ГІС) та моделі WEPP [22].

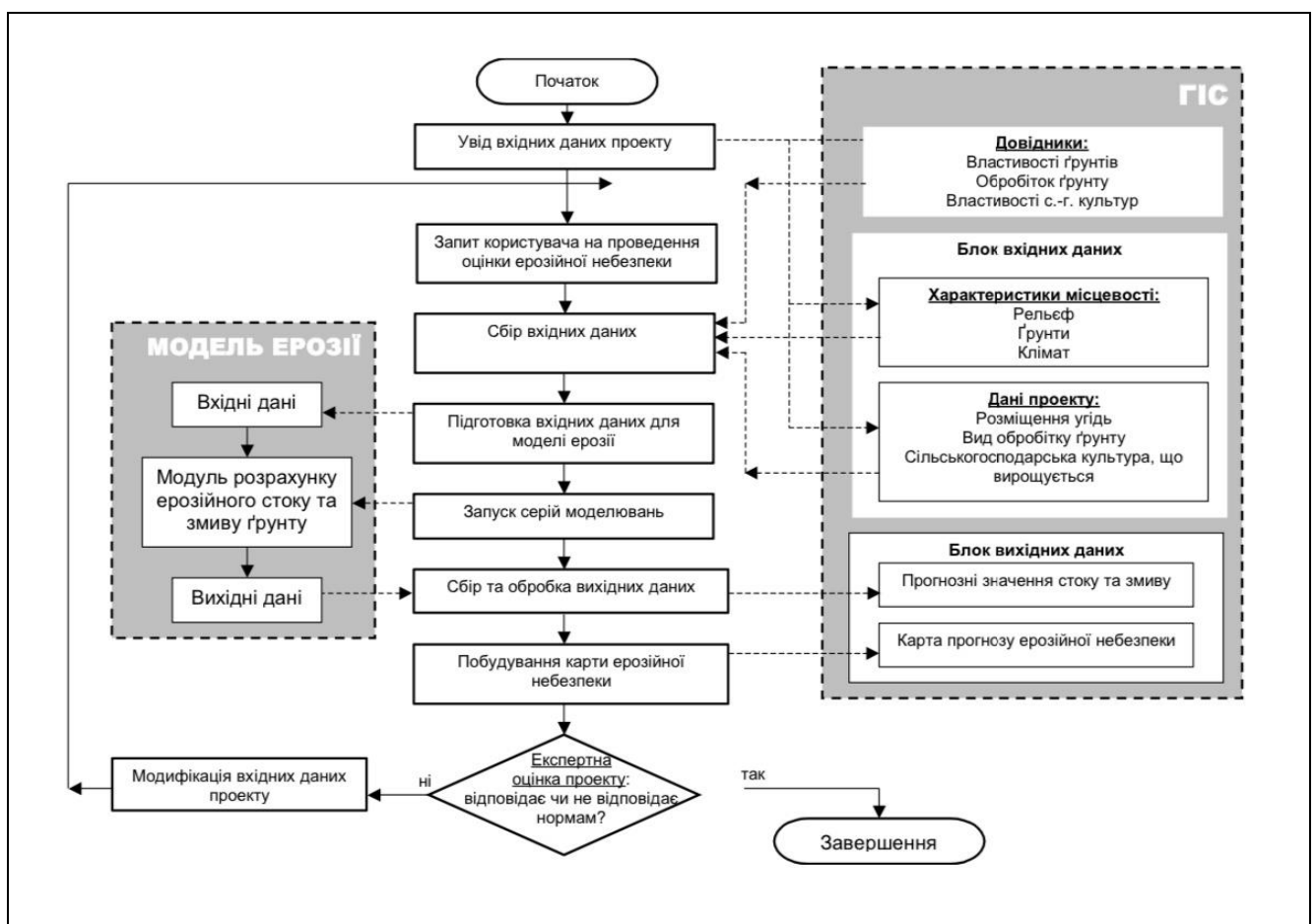


Рис. 1.3 – Процес кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту за допомогою ГІС та моделі WEPP [22]

Модель Water Erosion Prediction Project (WEPP) об'єднує різні наукові дисципліни, зокрема агрономію, гідрологію, гідравліку та ерозійну механіку, щоб точно прогнозувати процеси ерозії на вододілах і схилах пагорбів. Вона дозволяє

моделювати та оцінювати численні чинники, що впливають на ерозійні процеси, такі як кліматичні умови, типи землекористування та особливості рельєфу. Зокрема, за допомогою цієї моделі можна вивчати процеси, пов'язані з накопиченням і таненням снігу, глибокою перколяцією ґрунтових вод, а також взаємодію різних елементів екосистеми на схилах, що зазнають ерозії WEPP включає кілька основних блоків, таких як: "Клімат", "Рельєф", "Агрофон" та "Ґрунти". Кожен з цих блоків містить специфічні параметри, необхідні для детального моделювання процесів ерозії, зокрема, характеристики клімату, рельєфу місцевості, стану агрофону (рослинного покриву) та типу ґрунтів. Завдяки цій моделі можна отримати докладні прогнози щодо транспортування змиву і стоку води по рельєфу до місця виходу водозбору. Існує два основні режими моделювання: довготермінове та одиничне, що дозволяє проводити як короткострокові, так і довгострокові прогнози ерозійних втрат.

Для коректного моделювання використовуються різноманітні вхідні дані, зокрема інформація про рельєф території, рослинність на сільськогосподарських угіддях, типи ґрунтів, обробіток землі та місцеві кліматичні умови. Ці дані дають змогу не тільки прогнозувати інтенсивність ерозії, але й розробляти стратегії управління земельними ресурсами, які зможуть мінімізувати негативні наслідки ерозійних процесів для сільського господарства та навколишнього середовища [23].

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ҐРУНТІВ

2.1 Опис досліджуваної території

Об'єктом дослідження є сільськогосподарські угіддя, що знаходяться в Харківському районі Харківської області, зокрема на території Роганської об'єднаної територіальної громади. У рамках цієї роботи буде вивчено конкретне поле, на якому вибрано три схили для дослідження.

На рис. 2.1 зображено місцезрештування досліджуваної території.



Рис. 2.1 – Розташування досліджуваної земельної ділянки сільськогосподарського призначення

Експериментальна ділянка розташована на території Роганської селищної об'єднаної територіальної громади, яка є частиною Харківського району Харківської області. Адміністративним центром громади є селище Рогань, а також включає в себе селище Докучаєвське та 5 сіл: Борове, Лелюки, Логачівка, Пономаренки і Хроли. Територія громади є типовою для Лісостепової зони, характеризується помірно-континентальним кліматом з середньою температурою

січня $-7,2^{\circ}\text{C}$ і липня $+20,7^{\circ}\text{C}$. Середньорічна кількість опадів становить близько 530 мм.

Геоморфологічно територія Роганської ОТГ представлена рівнинними ділянками, з незначними підвищеннями та зниженнями. Абсолютна висота території коливається в межах 118–181 м над рівнем моря, з помірними схилами, що не перевищують $7-9^{\circ}$ на більших ділянках. Ґрунти на території громади представлені переважно чорноземами, а також опідзоленими та сірими лісовими ґрунтами.

Ця місцевість знаходиться в межах заплави річки Роганки, з характерним для неї слабовираженим мікрорельєфом. Площа території громади обмежена іншими землями сільськогосподарського призначення, що створює сприятливі умови для аграрної діяльності. Тому для подальших досліджень важливим є врахування кліматичних і ґрунтових умов, що визначають інтенсивність водної ерозії на цих землях. Для дослідження використовували дані, характерні для лісостепової зони, зокрема для ґрунтів регіону: чорноземів типових та слабозмитих середньосуглинкових чорноземів, а також відповідні погодні умови. Розрахунки виконувались для чорного пару протягом одного року.

Горизонт	Глибина, см	Характеристика
He гумусово-ілювіальний	0–28	темно-сірий, свіжий, припорошений SiO_2 по гранях структурних агрегатів, слабоущільнений, важкосуглинковий, порохувато-грудкувато-плитчастий, перехід ясний
Hi гумусово-ілювіальний	28–47	темнувато-сірувато-бурий, важкосуглинковий, горіхуватий, свіжий, ущільнений, перехід ясний
Phi ілювіальний	47–62	брудно-бурий, грані у місцях розламів з червоно-бурим колоїдним лакуванням, плямистий, свіжий, призмоподібний, щільний, слабо і нерівномірно гумусований, важкосуглинковий, перехід поступовий
Pi перехідний	62–73	червоно-бурий, важкосуглинковий, перехід різкий, свіжий, призмоподібно-грудкуватий, гарно помітний по скипанню від HCl
Rk лесоподібний суглинок	73–120	бурувато-палевий, важкосуглинковий, карбонатний, карбонати у вигляді псевдоміцелію, свіжий

Рис. 2.2 – Опис профілю чорноземів типових та слабозмитих середньосуглинкових чорноземів

В першій частині вегетаційного періоду, ґрунтово-екологічна провінція, де розташована експериментальна ділянка, характеризується підвищеним рівнем вологості. Це сприяє активному розвитку рослинного покриву та збереженню вологи в ґрунті, що важливо для аграрних культур. В другій частині періоду вегетації, в умовах недостатнього зволоження, ґрунт може стикатися з проблемами дефіциту вологи, що знижує ефективність росту рослин та їхню стійкість до стресових умов. В холодний період року, з настанням зими, територія перебуває в стані добре гумідних умов, що сприяє збереженню вологості в ґрунті та оптимальним умовам для перезимівлі культур.

Вміст гумусу в ґрунті змінюється в межах від 2,1 % до 4,3 %, що свідчить про середній рівень органічної речовини в ґрунті, яка є важливим фактором для родючості і структури ґрунту. Вміст гумусу визначає здатність ґрунту утримувати вологу та елементи живлення, що особливо важливо для рослин в періоди недостатнього зволоження.

Середньоарифметичний вміст фізичної глини складає 51 %, що вказує на середній вміст глинистих частинок в ґрунті. Це впливає на його водно-фізичні властивості, такі як здатність утримувати воду, а також на аерацію ґрунту. Глинисті ґрунти можуть бути схильні до ущільнення, що ускладнює проникнення води та повітря, але, одночасно, мають здатність утримувати вологу в періоди сухої погоди.

2.2 Методика моделювання процесів водної ерозії

Для моделювання процесів водної ерозії на земельній ділянці сільськогосподарського призначення, що знаходиться у Харківському районі Харківської області, був використаний програмний комплекс Water Erosion Prediction Project (WEPP), розроблений для операційної системи Windows. У рамках дослідження застосовувалися такі методи, як математичне моделювання та прогнозування, що дозволяють отримати точні оцінки ерозійних процесів і їх вплив на структуру ґрунту.

Програмний комплекс WEPP надає широкі можливості для моделювання різних ландшафтних профілів, зокрема схилів пагорбів і невеликих водозборів. Це

дозволяє користувачеві детально симулювати елементи ландшафту, такі як рельєф, типи ґрунтів, покриви рослинності та агрономічні практики, що можуть впливати на інтенсивність ерозії. Крім того, система надає повний контроль над усіма вхідними даними, що дозволяє коригувати параметри моделі згідно з реальними умовами досліджуваної території.

Веб-інтерфейси програми дозволяють легко й швидко здійснювати вибір необхідної інформації з вже наявних баз даних, що містять інформацію про ґрунти, кліматичні умови та агрофони. Завдяки цьому користувач може оперативно налаштовувати модель для прогнозування ерозійних процесів на конкретній земельній ділянці, враховуючи всі локальні особливості.

На рис. 2.3 представлено головний екран програми, яку використовували для створення моделі водної ерозії. Це інтерфейс, через який здійснюється запуск моделювання та керування параметрами, що впливають на результати симуляцій.

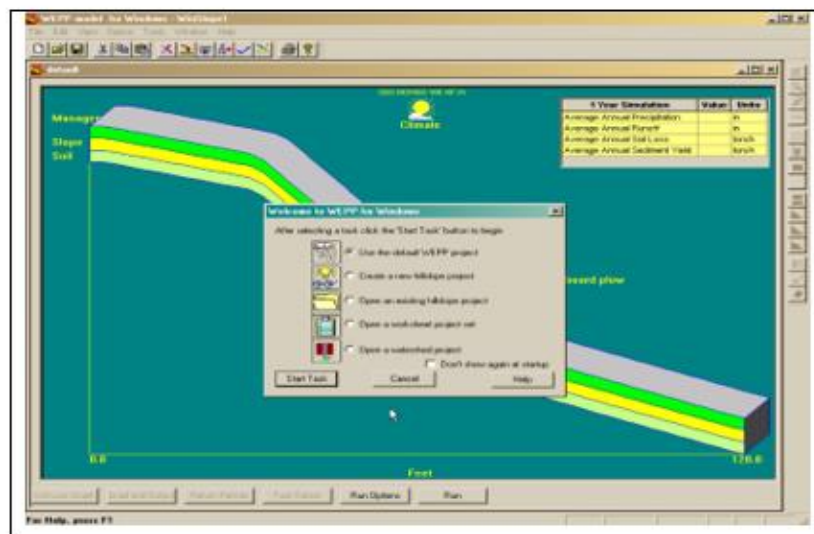


Рис. 2.3 – Загальний вигляд головного екрану запуску програмного комплексу Water Erosion Prediction Project версії 2006.5 [28]

Початковий екран програми надає можливість вибору між запуском стандартного проекту WEPP або доступом до інших варіантів, таких як створення нового проекту, відкриття вже існуючого чи набору проектів тощо [28].

Після вибору типу проекту користувач отримує графічне зображення профілю схилу, що включає різні області, а також доступ до вхідних баз даних та можливість перегляду вихідних результатів (рис. 2.4).

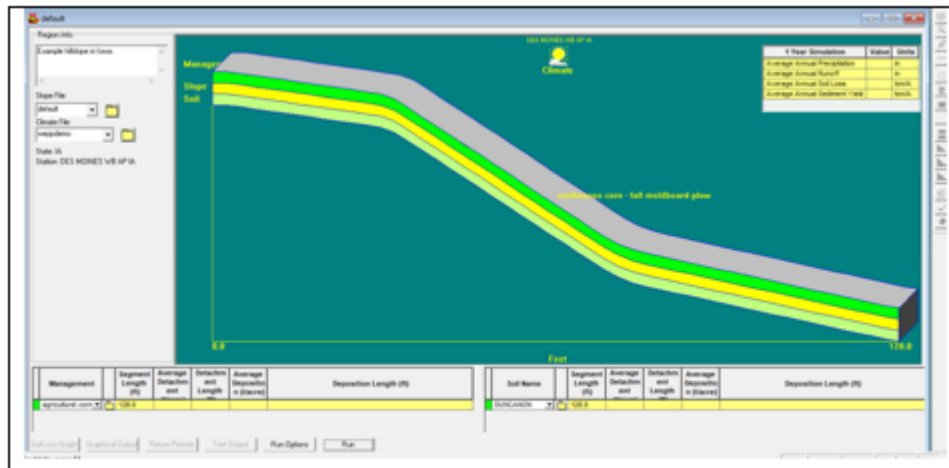


Рис. 2.4 – Графічне зображення профілю схилу з різними областями [28]

Симуляція моделі WEPP запускається після введення всіх необхідних даних, натисканням кнопки «Run», розташованої внизу екрана. Після виконання розрахунків результати відображаються у таблиці в правому верхньому куті екрана. Модель забезпечує комплексний облік факторів, що спричиняють ерозію ґрунтів. На початковому етапі необхідно вибрати одиниці виміру, при цьому в дослідженні використовувалися метричні одиниці.

Блок «Рельєф» надає інформацію, що дозволяє детально описати схили будь-якої форми, за умови наявності даних про довжину (м) і нахил (%). Розрахунок змиву проводиться по прокладених розрахункових профілях, які визначаються на карті та співпадають з напрямками стікання води від найвищих точок схилу до найнижчих, перпендикулярно до горизонталей. Для цього зазвичай використовуються топографічні карти з масштабом від 1:10 000 до 1:25 000 [29].

Числові значення довжини та нахилу схилів для дослідження були розраховані на основі топографічної карти експериментальної ділянки з масштабом 1:10 000 (рис. 2.5).

Схил складається з окремих сегментів, які відображаються в табличній формі справа та графічно зліва на екрані. У розширених налаштуваннях користувач може змінювати кількість переходів, а також коригувати умови схилу в верхній та нижній частинах профілю. Можна також змінювати довжину і крутизну схилу, а потім переглядати форму профілю до досягнення бажаного результату моделювання [28].

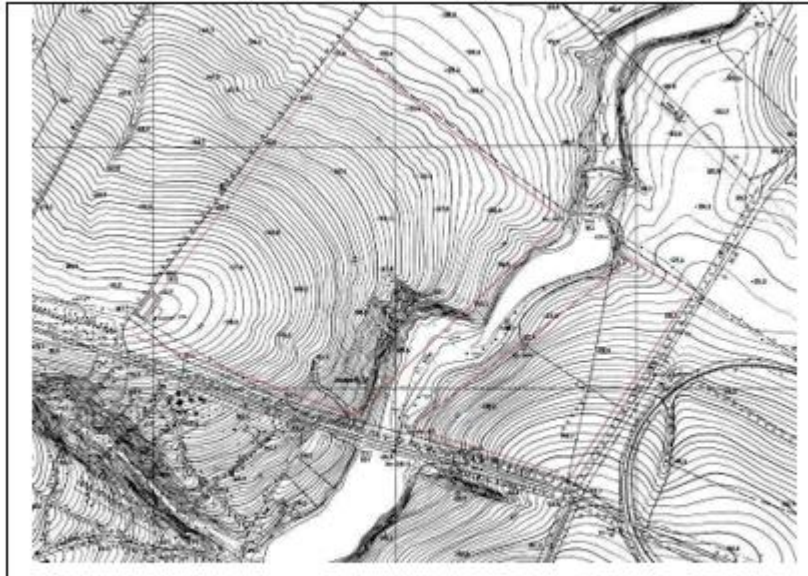


Рис. 2.5 – Топографічна карта експериментальної ділянки
масштабом 1:10000

Після збереження введених даних відбувається постійне оновлення кількісних показників, які відображаються у таблиці в правому верхньому куті екрана. Ці показники включають інформацію про стік, втрати ґрунту та осадження.

Приклад редактору профілю схилу у програмі WEPP зображено на рис. 2.6.

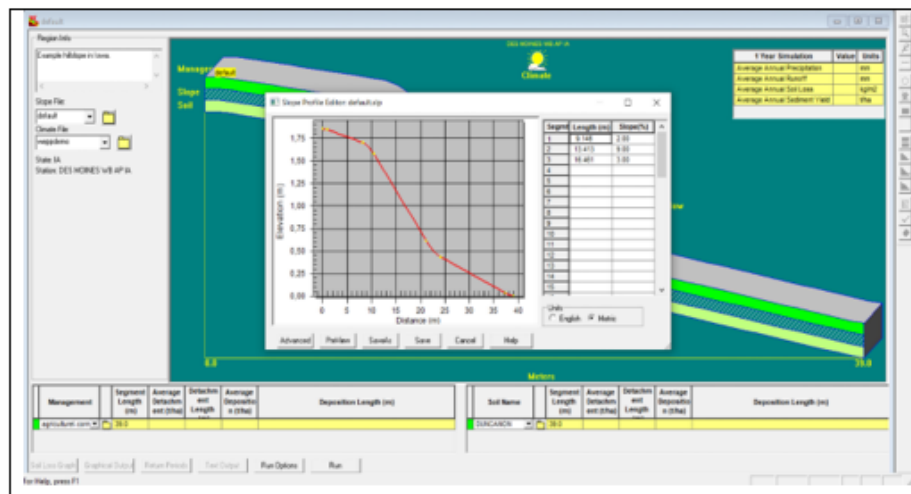


Рис. 2.6 – Редактор профілю схилу [28]

Блок «Ґрунт» відповідає за характеристику ґрунтового покриву досліджуваної місцевості, зокрема за його протиерозійну здатність, що є важливою складовою у моделюванні ерозійних процесів. Екран «Soil Database Editor», на якому відображено наявну інформацію про ґрунт, продемонстровано на рис. 2.6 [28].

У верхній частині цього редактора міститься загальна інформація про ґрунт, яка описує основні характеристики, а внизу екрану знаходиться таблиця, де користувач вводить такі показники, як потужність горизонту, вміст глини, органічної речовини, піску, кам'янистість і ємність катіонного обміну. Ці значення вводяться вручну для конкретних ґрунтових типів, що дозволяє точно налаштувати модель відповідно до реальних умов ділянки.

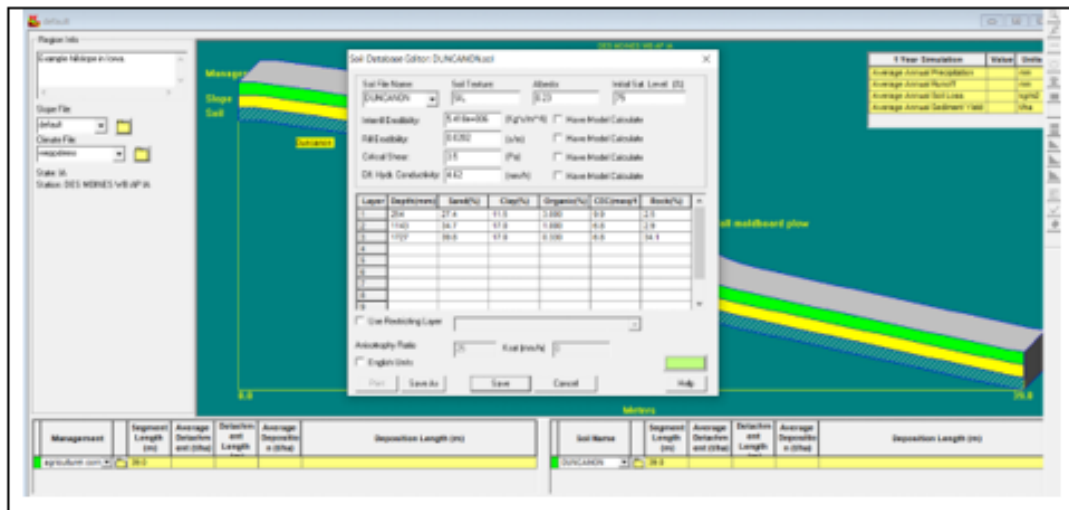


Рис. 2.7 – Soil Database Editor [28]

Блок «Клімат» є важливою складовою частиною програмного комплексу WEPP, який використовується для прогнозування обсягів і інтенсивності випадання злив, а також для розрахунку стоку і інфільтрації води в ґрунт. Він дозволяє враховувати різні кліматичні умови, що впливають на ерозійні процеси, зокрема інтенсивність та частоту дощів, температуру повітря та інші атмосферні фактори, які можуть змінюватися впродовж року.

У цьому блоці користувач вводить дані, які описують кліматичні характеристики місцевості, зокрема середню кількість опадів, температуру повітря, швидкість вітру та інші параметри, що мають вплив на водний режим території. Ця інформація є необхідною для моделювання стоку води та прогнозування рівня змиву ґрунту, а також для оцінки ефективності протиерозійних заходів.

Інтерфейс блоку «Клімат» дозволяє завантажити дані з існуючих баз кліматичної інформації або вручну ввести необхідні параметри. Окрім того, цей блок надає можливість провести аналіз сезонних коливань опадів і визначити, як ці

коливання можуть вплинути на ерозійні процеси. Рисунок 2.8, що показує інтерфейс цього блоку, демонструє відображення введених даних, а також доступ до додаткових налаштувань, таких як коригування інтенсивності опадів залежно від географічного розташування ділянки або відмінностей у кліматичних умовах різних регіонів.

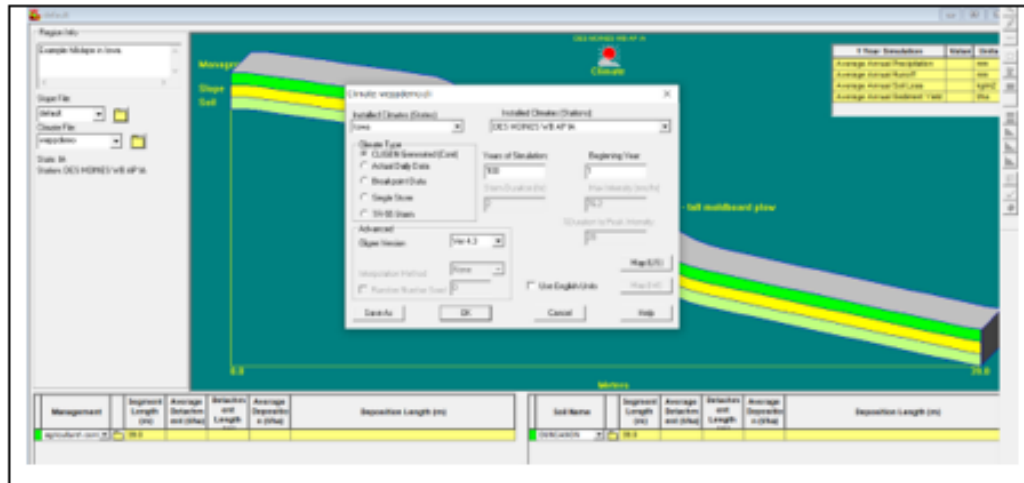


Рис. 2.8 – Опис блоку «Клімат» [28]

У верхній частині спливаючого вікна блоку «Клімат» відображається перелік доступних метеостанцій та штатів США, що дозволяє користувачам обирати відповідні кліматичні дані для моделювання. Однак для України на даний момент метеобаза, адаптована до місцевих умов, відсутня. Тому для проведення дослідження в межах Харківської області було використано стандартні кліматичні дані, що характеризують зливи з ймовірністю 10% (потужні зливи, які відбуваються один раз на десять років). Такий підхід дозволяє наблизити моделювання до реальних умов, хоча й не забезпечує повної точності для конкретної місцевості.

Для отримання більш детальних результатів в майбутньому необхідно використовувати метеостанції, адаптовані для українських умов, що допоможе покращити точність прогнозування стоку, злив і ерозії ґрунтів в регіоні.

На рисунку 2.9 представлено вікно опису блоку «Агрофон», де користувач може вводити інформацію про види рослин, що вирощуються на ділянці, тип обробітку землі, а також умови агрономічного використання території. Цей блок є

важливим для моделювання, оскільки тип рослинності та обробіток ґрунту безпосередньо впливають на інтенсивність водної ерозії.

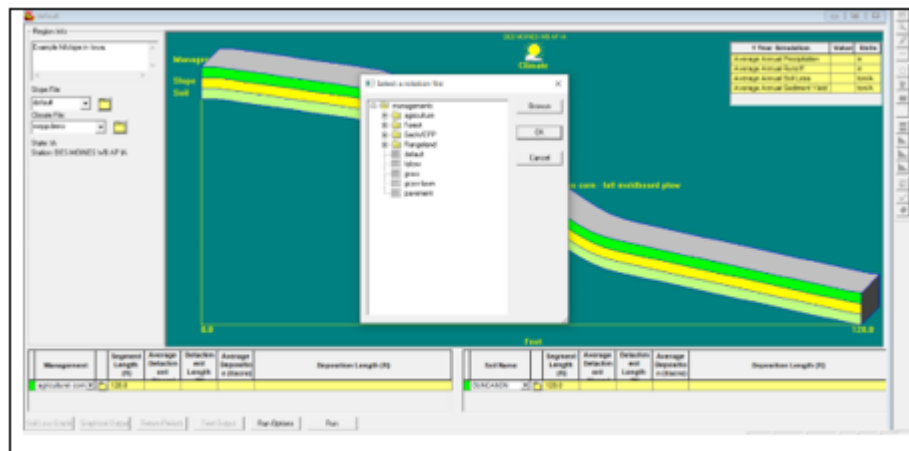


Рис. 2.9 – Опис блоку «Агрофон»

Для проведення дослідження було обрано найбільш екстремальні умови, що відповідають стану «fallow» або чорного пару. Ці умови характеризуються повною відсутністю рослинного покриву на поверхні ґрунту, що значно підвищує його уразливість до водної ерозії. Відсутність рослинності означає, що немає кореневої системи, яка могла б утримувати ґрунт на місці і зменшувати швидкість стоку води. Вода, потрапляючи на таку поверхню, не затримується, не поглинається ґрунтом і швидко стікає, що сприяє виникненню ерозії. Під час дощових опадів така ситуація може призвести до значних ерозійних втрат, оскільки вода не має природних бар'єрів, які могли б зменшити її швидкість та інтенсивність.

Результатом моделювання є розрахунок ерозійних втрат ґрунтів, що дозволяє оцінити масштаби руйнування ґрунтового покриву під впливом водної ерозії. Однак цей процес не обмежується лише оцінкою поточних умов. За допомогою програми можна змінювати параметри моделі, наприклад, вводити різні типи рослинності, варіювати інтенсивність обробітку ґрунту або змінювати кліматичні умови. Це дозволяє здійснити прогностичні розрахунки і відстежити, як зміни в агрономічних практиках або кліматичних умовах можуть вплинути на інтенсивність ерозії в майбутньому. Такий підхід дає змогу розробляти більш ефективні стратегії управління землею, спрямовані на зменшення ерозійних втрат та покращення збереження ґрунтів.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ҐРУНТІВ

Для проведення дослідження були використані дані, характерні для лісостепової зони, зокрема для ґрунтів, що поширені на території Харківської області, а саме типових чорноземів та слабозмитих середньосуглинкових чорноземів. Ці ґрунти характеризуються високим рівнем родючості, але під впливом водної ерозії можуть зазнавати значних втрат. Для моделювання ерозійних процесів були враховані також погодні умови, типові для цієї місцевості. У рамках цієї роботи буде вивчено конкретне поле, на якому вибрано три схили для дослідження.

На рис. 3.1 зображено результат нанесення на топографічну карту та супутникові знімки профілів, які є репрезентативними для даної території дослідження.

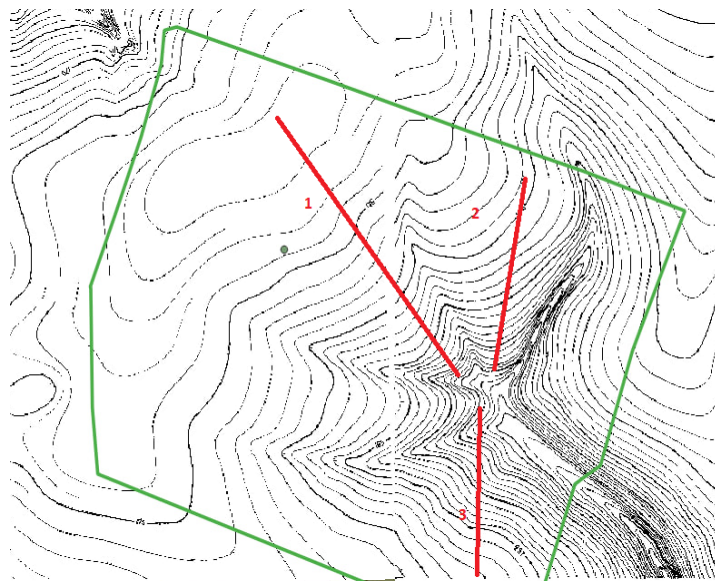


Рис. 3.1 – Результат нанесення репрезентативних профілів для території дослідження на топографічній карті масштабом 1:10000 та супутникове зображення досліджуваних схилів із нанесенням ліній, які відображають потік води по схилам

Дослідження проводилось для чорного пару — незасадженої землі, яка не має рослинного покриття. Чорний пар дозволяє ґрунту "відпочити" і відновити свої

властивості, однак має негативні наслідки для довкілля. Відсутність рослинності сприяє активнішому змиву ґрунту під час дощів, оскільки коренева система не утримує частки ґрунту, а вода змиває його в процесі стоку. Це також веде до втрати поживних речовин, що знижує родючість ґрунту та його придатність для подальшого сільськогосподарського використання.

Процес моделювання водної ерозії був здійснений за допомогою програмного комплексу, зокрема для одного із схилів, який був поділений на чотири відрізки в залежності від кута нахилу (рис 3.2).



Рис. 3.2 - Схематичне поділення схилу на відрізки залежно від кута нахилу для моделювання водної ерозії (Схил 1)

Це дозволило точніше врахувати зміни кута нахилу схилу, що є важливим для точності розрахунків ерозійних процесів. Відрізки мали наступні характеристики:

- Перший відрізок: довжина 349 м, кут нахилу 1° .
- Другий відрізок: довжина 64 м, кут нахилу $4,7^\circ$.
- Третій відрізок: довжина 401 м, кут нахилу $0,7^\circ$.
- Четвертий відрізок: довжина 436 м, кут нахилу $4,4^\circ$.

Ці відрізки були вибрані таким чином, щоб врахувати всі зміни кута нахилу, оскільки нахил схилу є одним з основних факторів, що впливають на інтенсивність змиву та ерозії ґрунту.

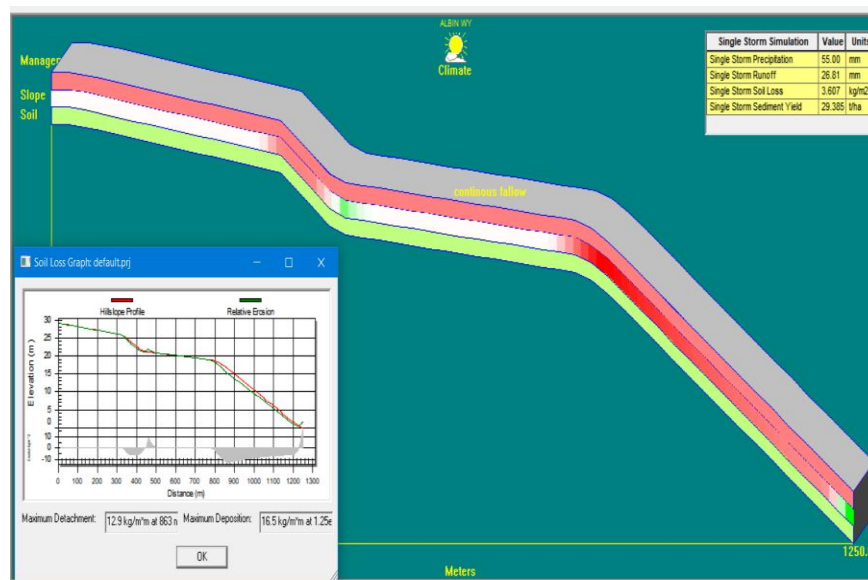


Рис 3.3 – Розрахунок ерозії (Схил 1)

Результати розрахунків, отримані за допомогою програмного забезпечення, вказують на наступні показники:

- Обсяг зливи: 55,0 мм — це значення, яке є стандартним для території, що досліджується.
- Обсяг поверхневого стоку: 26 мм — це обсяг води, який стікає з поверхні ґрунту після інтенсивних злив.
- Ерозійні втрати ґрунту внаслідок зливи: 3 кг/м² — це кількість ґрунту, що була змита за час зливи на одиницю площі.
- Транзитні втрати ґрунту внаслідок зливи: 29 т/га — це кількість ґрунту, що була втрачена на гектар через ерозійні процеси, пов'язані з інтенсивними зливами.

Ці результати свідчать про значні ерозійні втрати ґрунту, що є серйозною проблемою для сільськогосподарських земель. Постійний змив ґрунту може призвести до деградації земель, зниження їх родючості та зменшення продуктивності в майбутньому. Це підкреслює важливість застосування методів боротьби з ерозією, таких як створення рослинного покриву, використання агротехнічних прийомів для захисту ґрунтів, а також впровадження комплексних заходів для збереження ґрунтових ресурсів

Для схилу 2, який був поділений на два відрізки: 546 м (градус схилу 2,6) та 78 м (градус схилу 25,6), результати розрахунків показали значний змив ґрунту, особливо на відрізок з крутим нахилом 25,6 градусів (рис 3.4).

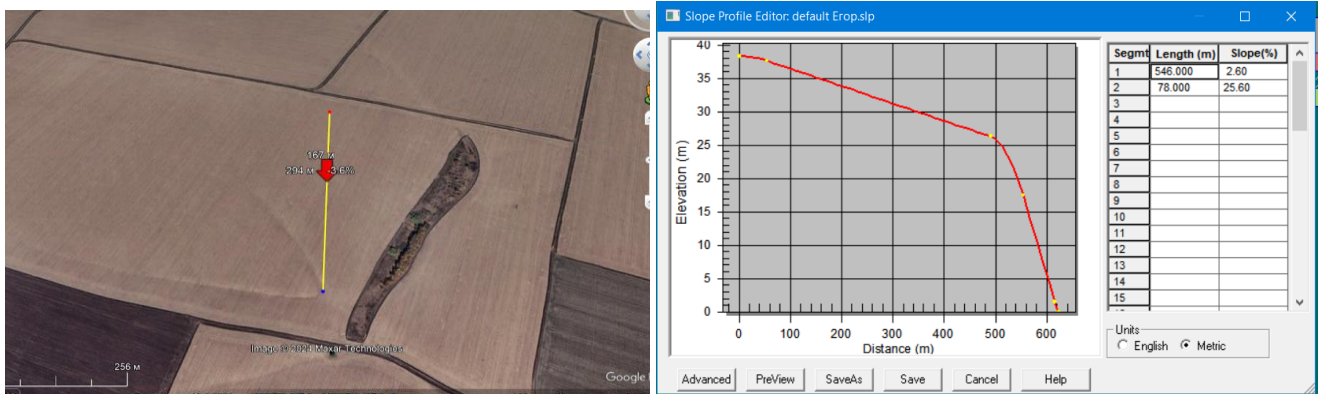


Рис. 3.4 - Схематичне поділення схилу на відрізки залежно від кута нахилу для моделювання водної ерозії (Схил 2)

Після проведених розрахунків отримані такі результати:

- Обсяг поверхневого стоку: 26 mm
- Ерозійні втрати ґрунту внаслідок зливи: 2 kg/m²
- Транзитні втрати ґрунту внаслідок зливи: 23 t/ha

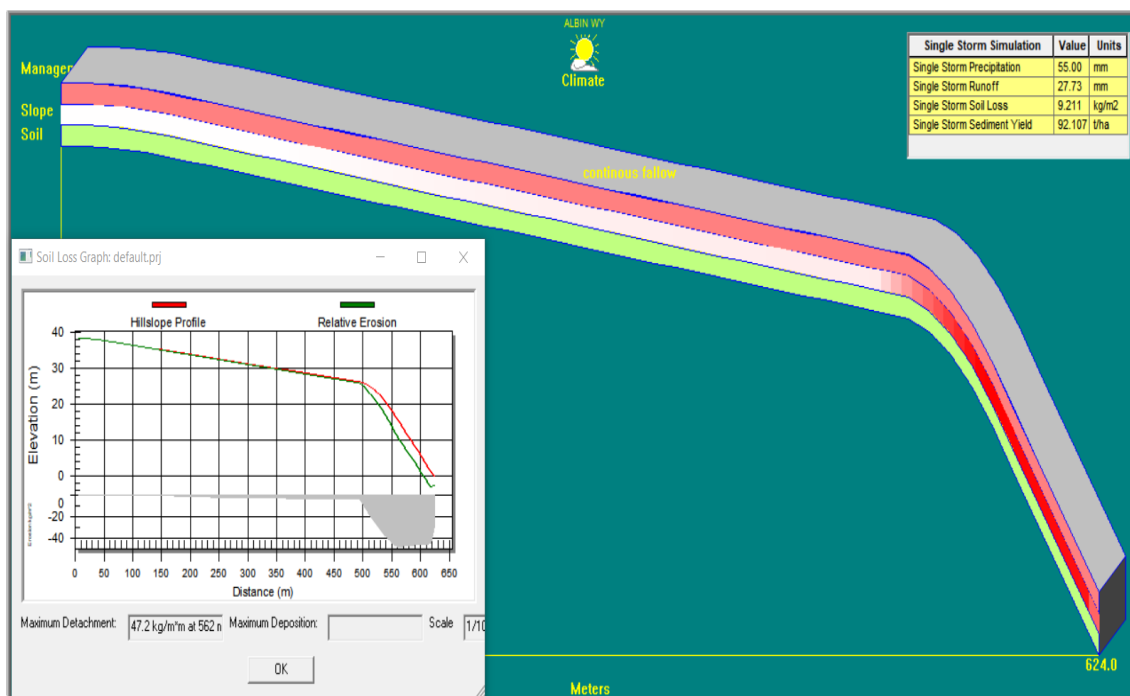


Рис 3.3 – Розрахунок ерозії (Схил 2)

Схил 3 був поділений на два відрізки: 386 м (градус схилу 2,6) та 73 м (градус схилу 15) (рис. 3.4).

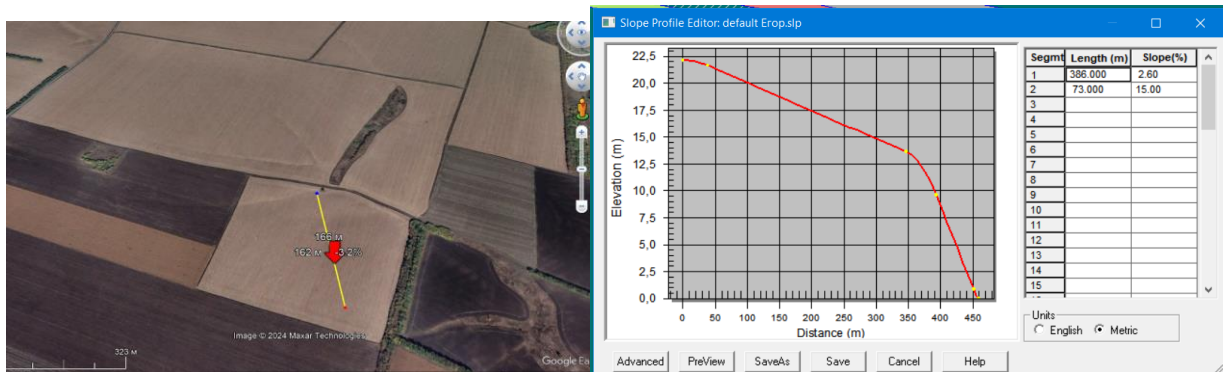


Рис. 3.4 - Схематичне поділення схилу на відрізки залежно від кута нахилу для моделювання водної ерозії (Схил 3)

- Обсяг зливи: 55,0 mm
- Обсяг поверхневого стоку: 26 mm
- Ерозійні втрати ґрунту внаслідок зливи: 2 kg/m²
- Транзитні втрати ґрунту внаслідок зливи: 20 t/ha

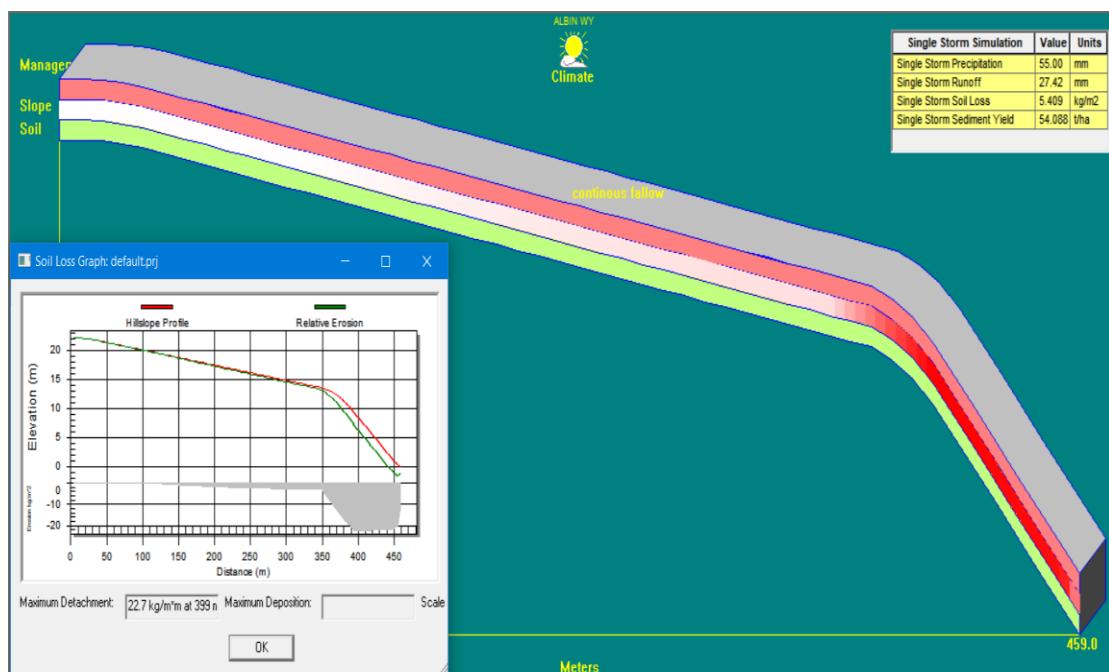


Рис 3.5 – Розрахунок ерозії (Схил 3)

Результати показують, що на схилі з більшим нахилом (15 градусів) спостерігається значний змив ґрунту, що може призвести до серйозних ерозійних процесів і втрат родючості ґрунту. Ці результати вказують на високий ризик ерозії, що може призвести до значних втрат родючого ґрунту, особливо на більш крутих ділянках.

На рис. 3.6–3.8 показаний результат внесення даних [30] у блоці «Ґрунт» для отримання просторового процесу змиву у програмі WEPP.

Soil Database Editor: SOIL11.sol

Soil File Name: SOIL11 Soil Texture: SIL Albedo: 0.23 Initial Sat. Level [%]: 75

Interrill Erodibility: (Kg's/m²4) Have Model Calculate

Rill Erodibility: (s/m) Have Model Calculate

Critical Shear: (Pa) Have Model Calculate

Eff. Hydr. Conductivity: (mm/h) Have Model Calculate

Layer	Depth(mm)	Sand(%)	Clay(%)	Organic(%)	CEC(meq/t)	Rock(%)
1	2540	62.0	26.5	1.610	9.9	0.0
2	5080	49.3	29.7	1.520	6.8	0.0
3	7620	53.6	29.3	1.520	6.8	0.0
4	1.016e+004	62.0	26.1	1.200	6.8	0.0
5	1.27e+004	58.3	27.3	1.200	6.8	0.0
6	1.524e+004	57.7	29.6	1.150	6.8	0.0
7	2.032e+004	55.0	26.8	0.900	6.8	0.0
8	2.54e+004	44.5	24.3	0.700	6.8	0.0
9						

Use Restricting Layer

Anisotropy Ratio: 25 Ksat (mm/h): 0

English Units

Print Save As Save Cancel Help

Рис. 3.5 – Характеристика чорнозему малогумусного середньопотужного на лесових породах (№ 1)

Soil Database Editor: SOIL12.sol

Soil File Name: SOIL12 Soil Texture: SIL Albedo: 0.23 Initial Sat. Level [%]: 75

Interrill Erodibility: (Kg's/m²4) Have Model Calculate

Rill Erodibility: (s/m) Have Model Calculate

Critical Shear: (Pa) Have Model Calculate

Eff. Hydr. Conductivity: (mm/h) Have Model Calculate

Layer	Depth(mm)	Sand(%)	Clay(%)	Organic(%)	CEC(meq/t)	Rock(%)
1	100	74.8	17.0	0.520	9.9	0.0
2	200	69.4	12.3	0.430	6.8	0.0
3	300	72.5	11.6	0.420	6.8	0.0
4	400	75.0	12.8	0.360	6.8	0.0
5	500	72.9	13.1	0.360	6.8	0.0
6	600	70.0	19.8	0.360	6.8	0.0
7	800	65.0	18.2	0.300	6.8	0.0
8						
9						

Use Restricting Layer

Anisotropy Ratio: 25 Ksat (mm/h): 0

English Units

Print Save As Save Cancel Help

Рис. 3.6 – Характеристика чорнозему слабогумусного середньопотужного на елювії пісковиків (№ 2)

Layer	Depth(mm)	Sand(%)	Clay(%)	Organic(%)	CEC(meq/t)	Rock(%)
1	100	74.8	17.0	0.450	9.9	0.0
2	200	69.4	12.3	0.430	6.8	0.0
3	300	72.5	11.6	0.420	6.8	0.0
4	400	75.0	12.8	0.340	6.8	0.0
5	500	72.9	13.1	0.360	6.8	0.0
6	600	70.0	19.8	0.320	6.8	0.0
7						
8						
9						

Рис. 3.7 –Характеристика чорнозему слабогумусного середньопотужного слабовмитого на елювії пісковиків (№ 3)

Як видно, перший тип ґрунтів має найвищий вміст глини та органічного вуглецю, що свідчить про його підвищену здатність утримувати вологу та поживні речовини. Високий вміст органічної речовини також вказує на більшу родючість цього ґрунту порівняно з іншими типами. Результати моделювання водної ерозії, проведеного за умов 10 % інтенсивності зливи для земель, які знаходяться в чорному парі, для двох досліджуваних полів, представлені в таблиці 3.1. Ці дані дозволяють оцінити вплив водної ерозії на різні типи ґрунтів за умов відсутності рослинного покриву, що є важливим для визначення стійкості ґрунтів до ерозії та розробки рекомендацій щодо збереження родючості землі.

Таблиця 3.1

Результати моделювання за заданих умов 10 % зливи для чистого пару

Схил	Обсяг зливи	Обсяг поверхневого стоку	Ерозійні втрати ґрунту внаслідок зливи	Транзитні втрати ґрунту внаслідок зливи
1	55,0 mm	26, 81 mm	3,607 kg/m ²	29,385 t/ha
2	55,0 mm	27,73 mm	9,211 kg/m ²	92,107 t/ha
3	55,0 mm	27,42 mm	5,409 kg/m ²	54,088 t/ha
Середні значення	55,0 mm	27,32 mm	6,076 kg/m ²	58, 527 t/ha

У результаті моделювання водної ерозії для різних схилів було виявлено значний змив ґрунту, зокрема на ділянках з великим нахилом. Найбільші втрати ґрунту спостерігались на схилах з крутим нахилом, де ерозія була більш інтенсивною. Загальний обсяг зливи для всіх схилів становив 55,0 мм, а обсяг поверхневого стоку — 26 мм. Ерозійні втрати ґрунту варіювались від 2 до 3 kg/m², а транзитні втрати коливалися від 20 до 29 t/ha. Це свідчить про високий ризик деградації земель та зниження родючості, особливо на більш крутих схилах, що потребує вжиття заходів для боротьби з ерозією.

Таблиця 3.2

Допустимі норми ерозії для чорноземів типових [31]

Ступінь еродованості	Значення, т/гарік
Відсутня	0,2
Слабка	0,6
Середня	1,1
Сильна	1,5

Як бачимо, середні значення втрат ґрунту значно перевищують допустимі норми. Отже, еродованість досліджуваних ґрунтів характеризується як «сильна», перевищуючи максимальне значення градації майже в 14 разів. Тому доцільно застосовувати протиерозійні заходи для покращення якості ґрунтів досліджуваної ділянки сільськогосподарського призначення на території Харківського району Харківської області.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЕРОЗІЙНОЇ СИТУАЦІЇ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ

У результаті дослідження було встановлено, що сільськогосподарські землі Харківського району потребують впровадження заходів для боротьби з ерозією. Зважаючи на специфіку цієї території, у роботі були розроблені та запропоновані кілька варіантів протиерозійного облаштування полів 1 та 2. Одним з варіантів є вирощування люцерни на 60 % території схилу, починаючи від самого верху, з додаванням лісонасаджень та створення лісового буферу на підніжжі схилу. Інший варіант включає чергування люцерни і чорного пару на однакових відрізках схилу, а також розміщення лісового буферу внизу. Також можливий варіант з чергуванням чорного пару та люцерни в пропорції 25 % на кожному відрізку схилу, а також зонування території на чотири частини з розміщенням лісового буферу в підніжжі.

Люцерна є кормовою культурою, яка покращує структуру ґрунту, зокрема його фізичні властивості, захищає від водної ерозії, збагачує ґрунт органічними речовинами та азотом [32]. Вона ефективно мінімізує ерозійні процеси на схилах з крутим нахилом.

Лісовий буфер, на відміну від звичайних лісонасаджень, являє собою територію, що включає чагарники, дерева та іншу рослинність, і розташовується біля водних об'єктів. Він фільтрує пестициди, поживні речовини та відходи з стоку сільськогосподарських угідь, укріплює берегову лінію, зменшує водну ерозію та фільтрує осади, що підтверджує його доцільність для розміщення на підніжжі схилу [33].

У подальших розрахунках ми змінимо критерій моделі з "чорного пару" на "люцерну". Це дозволить порівняти, як вирощування люцерни впливає на стан ґрунту, зменшує змив та ерозію. Очікується, що наявність люцерни покращить структуру ґрунту, знизить рівень ерозійних втрат і зменшить поверхневий стік, що позитивно позначиться на збереженні родючості та стійкості ґрунтів. Після зміни критерію, було отримано наступні результати:

На рис. 4.1–4.3 показано просторовий процес змиву чорноземів при застосуванні запропонованих протиерозійних заходів.

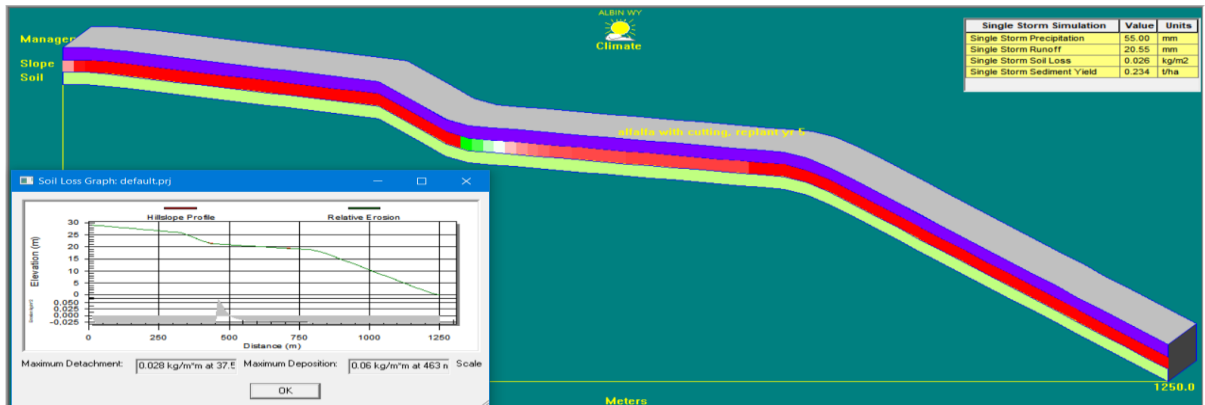


Рис. 4.1 – Просторовий процесу змиву ґрунту для схилу 1
(alfalfa – forest – forest buffer)

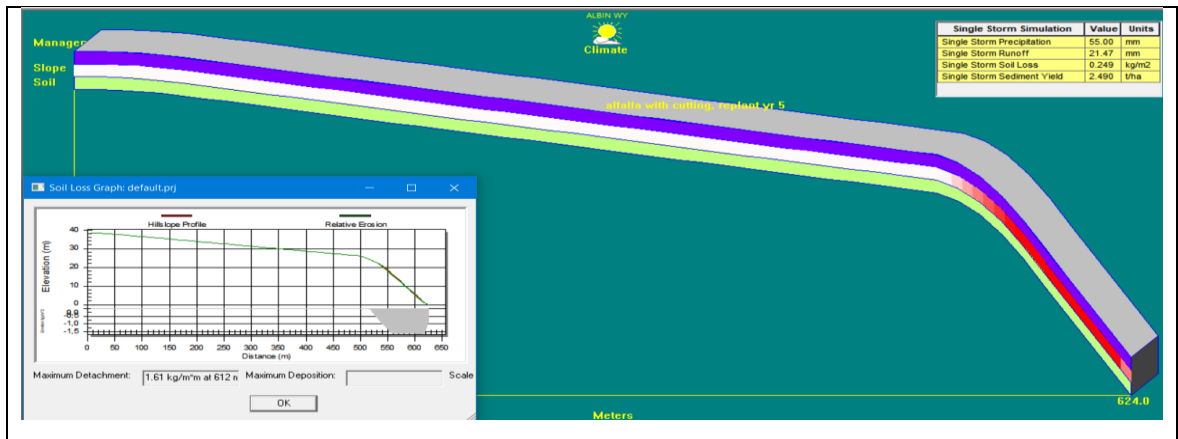


Рис. 4.2 – Просторовий процесу змиву ґрунту для схилу 2
(fallow –alfalfa – fallow – alfalfa – forest buffer)

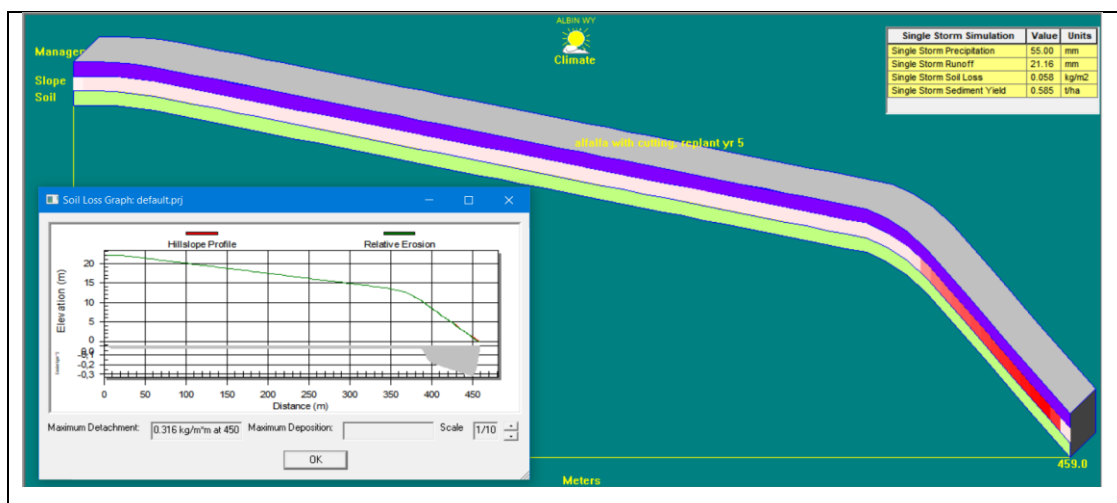


Рис. 4.3 – Просторовий процесу змиву ґрунту для схилу 3
(fallow –alfalfa – fallow – alfalfa)

Результати дослідження:

Схил 1:

- Обсяг зливи: 55,0 mm
- Поверхневий стік: 20 mm
- Ерозійні втрати: 0,03 kg/m²
- Транзитні витрати: 0,2 t/ha

Схил 2:

- Обсяг зливи: 55,0 mm
- Поверхневий стік: 21 mm
- Ерозійні втрати: 0,2 kg/m²
- Транзитні витрати: 2 t/ha

Схил 3:

- Обсяг зливи: 55,0 mm
- Поверхневий стік: 21 mm
- Ерозійні втрати: 0,06 kg/m²
- Транзитні витрати: 0,6 t/ha

Результати моделювання показують, що вирощування люцерни на схилах значно зменшує ерозію ґрунту, порівняно з використанням чорного пару. Зокрема, на схилах, де застосовувалася люцерна, спостерігається менше поверхневого стоку та ерозійних втрат ґрунту. Це підвищує стабільність ґрунтового покриву, покращує його фізичні властивості і сприяє збереженню родючості на схилах. Найбільші змиви та втрати ґрунту спостерігалися на схилі з найвищим рівнем поверхневого стоку і ерозійними втратами (Схил 2), що свідчить про важливість вибору відповідних агротехнічних заходів для мінімізації ерозії.

У таблиці 4.1 представлені середні значення обсягу поверхневого стоку, ерозійних та транзитних втрат ґрунту, після застосування всіх протиерозійних заходів.

Таблиця 4.1

Результати моделювання після впровадження протиерозійних заходів

Схил	Обсяг зливи	Обсяг поверхневого стоку	Ерозійні втрати ґрунту внаслідок зливи	Транзитні втрати ґрунту внаслідок зливи
1	55,0 mm	20,5 mm	0,026 kg/m ²	0,234 t/ha
2	55,0 mm	21,47 mm	0,249 kg/m ²	2,490 t/ha
3	55,0 mm	21,16 mm	0,058 kg/m ²	0,585 t/ha
Середні значення	55,0 mm	21,04 mm	0,111 kg/m ²	1,103 t/ha

Порівнюючи результати для схилів, на яких було застосовано чорний пар і люцерну, можна зробити кілька важливих висновків. Використання чорного пару сприяє значним ерозійним і транзитним втратам ґрунту. Середні показники для чорного пару становлять 6 кг/м² для ерозійних втрат і 58 т/га для транзитних втрат, що свідчить про серйозний змив ґрунту. Крім того, поверхневий стік на таких ділянках досягає 27 mm, що вказує на велику кількість води, що змиває ґрунт.

Натомість, вирощування люцерни значно зменшує ці негативні показники. Ерозійні втрати знижуються до 0,1 кг/м² (одна десята кілограма на метр квадратний), транзитні втрати — до 1 т/га, а обсяг поверхневого стоку зменшується до 21 mm. Це значне зниження свідчить про те, що люцерна ефективно зменшує ризик ерозії завдяки своїй кореневій системі, яка утримує ґрунт і знижує швидкість стоку води. Крім того, зменшення поверхневого стоку сприяє збереженню більше вологи в ґрунті, що покращує його родючість.

Таким чином, вирощування люцерни є потужним засобом боротьби з водною ерозією, зберігаючи родючість ґрунтів і сприяючи стабільності агроєкосистем.

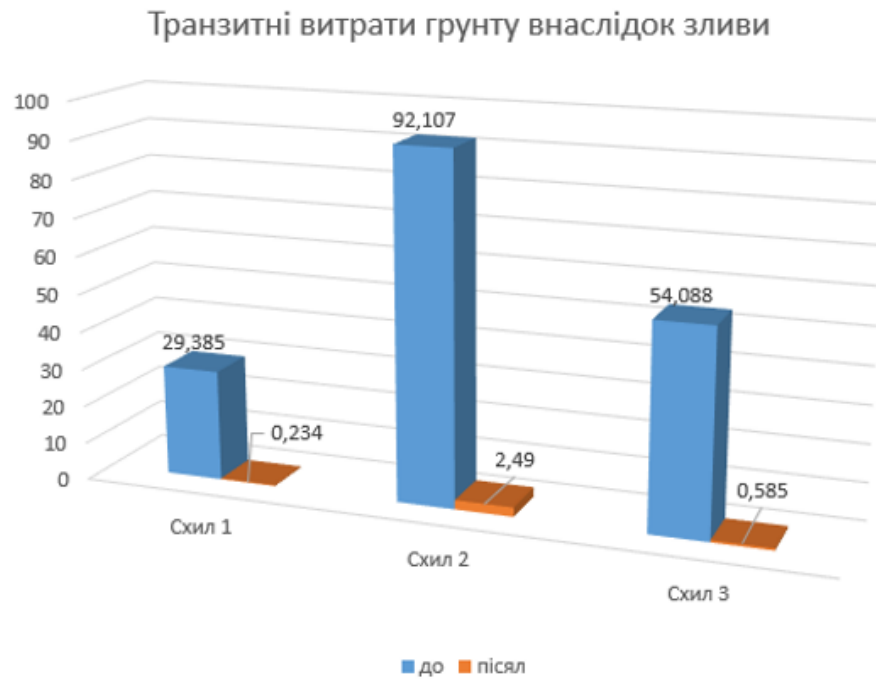


Рис. 4.4 – Порівняння середніх значень транзитних втрат ґрунтів після застосування люцерни та лісонасаджень відповідно до допустимих норм ерозії для типових чорноземів

Порівнюючи показники до і після впровадження протиерозійних заходів, можна зробити висновок, що застосування запропонованих методів призводить до значного зменшення втрат ґрунту. Зокрема, спостерігається істотне зниження рівня ерозії, що підтверджує ефективність використаних заходів. Крім того, згідно з градаціями допустимих норм ерозії для типових чорноземів, еродованість земель у результаті застосування таких методів класифікується як «середня», що вказує на достатню стабільність ґрунтів після впровадження заходів.

Таким чином, враховуючи характер ґрунтів і кліматичні умови території, ці протиерозійні заходи, такі як вирощування люцерни та висадка лісових насаджень, виявляються надзвичайно ефективними для збереження родючості ґрунтів і мінімізації ерозії. Вони не тільки сприяють поліпшенню фізичних властивостей ґрунтів, але й допомагають зберегти їх довгострокову придатність для сільськогосподарського використання. Тому ці заходи можуть бути рекомендовані для широкого застосування на досліджуваних територіях сільськогосподарського призначення, як ефективні та сталий метод боротьби з ерозією ґрунтів.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження було здійснено аналіз ерозійних втрат ґрунту та розроблено рекомендації для покращення ерозійної ситуації на досліджуваних територіях.

1. При 10% зливі на схилах без рослинного покриву (чорний пар) було зафіксовано значні ерозійні втрати. На схилі 1 ці втрати становили 3 кг/м², на схилі 2 – 9 кг/м², а на схилі 3 – 5 кг/м². Це свідчить про високу еродованість території, особливо на крутіших ділянках.

2. Транзитні втрати ґрунту були найвищими на схилі 2 (92 т/га), тоді як на схилі 1 ці втрати становили 29 т/га, що вказує на різний рівень інтенсивності водної ерозії залежно від характеристики схилу.

3. Заміна чорного пару на люцерну значно покращила ситуацію з ерозійними та транзитними втратами ґрунту. Після впровадження люцерни на схилах ерозійні втрати зменшилися до 0,11 кг/м², а транзитні втрати – до 1 т/га, що є значним поліпшенням порівняно з показниками без рослинного покриву.

4. Конкретні результати: на схилі 1 транзитні втрати становили 0,2 т/га, на схилі 2 – 2,5 т/га, а на схилі 3 – 0,6 т/га. Це свідчить про ефективність вирощування люцерни в зменшенні ерозійних процесів, оскільки її густе коріння утримує ґрунт і зменшує поверхневий стік.

Враховуючи високий рівень ерозії на схилах без рослинного покриву, впровадження люцерни як основної протиерозійної культури є необхідним кроком для збереження ґрунтів. Люцерна, завдяки своїй потужній кореневій системі, значно знижує поверхневий стік води, що є основною причиною водної ерозії. Її корені ефективно утримують ґрунт, знижуючи інтенсивність змиву і покращуючи структуру ґрунту. Це особливо важливо на ділянках із крутішими схилами, де ерозія є найбільш інтенсивною, оскільки навіть невеликі дощі можуть призвести до значних втрат ґрунту.

Особливо важливо продовжувати використання люцерни на ділянках із більшими нахилами, де водна ерозія відбувається з більшою швидкістю і з великими втратами ґрунту. Вирощування цієї культури на схилах допоможе не тільки утримати ґрунт, але й

зберегти вологу в ґрунті, що підвищить його родючість. Люцерна також має додаткові переваги, такі як покращення фізичних властивостей ґрунту, збагачення його азотом і органічними речовинами, що сприяє розвитку інших сільськогосподарських культур в майбутньому.

Окрім вирощування люцерни, доцільно запровадити комплексні протиерозійні заходи, щоб забезпечити сталий захист від ерозії. Одним з таких заходів є висадка лісових буферних зон на підніжжях схилів. Лісові буфери, що складаються з дерев, чагарників та іншої рослинності, не тільки зменшують інтенсивність стоку води, але й фільтрують пестициди, поживні речовини і відходи, що потрапляють у водойми. Вони також допомагають стабілізувати берегову лінію, що має велике значення для збереження екосистем і водних ресурсів.

Результати дослідження підтверджують, що вирощування люцерни є надзвичайно ефективним методом боротьби з водною ерозією. Це дозволяє значно знизити як ерозійні, так і транзитні втрати ґрунту, що, у свою чергу, зменшує ризики деградації ґрунтів. Водночас, збереження родючості ґрунтів є ключовим фактором для сталого сільськогосподарського використання території в майбутньому. Крім того, застосування таких заходів сприяє підвищенню екологічної стабільності в регіоні, зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище та покращуючи умови для подальшого агровиробництва.

Отже, для забезпечення ефективного збереження ґрунтів і підтримки їх родючості, важливо реалізовувати комплексні протиерозійні заходи, включаючи вирощування люцерни та створення лісових буферних зон. Це дозволить значно знизити ризики ерозії, покращити стан ґрунтів та забезпечити сталий розвиток сільськогосподарського виробництва на території.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Adhikari B., Nadella K. Ecological economics of soil erosion: a review of the current state of knowledge. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2011. Vol. 1219(1). Pp. 134–152. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05910.x>.
2. Bakker M. M., Govers G., Jones R. A., Rounsevell M. D. A. The Effect of Soil Erosion on Europe's Crop Yields. *Ecosystems*. 2007. Vol. 10(7). Pp. 1209–1219. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9090-3>.
3. Dennis C. Flanagan, James R. Water Erosion Prediction Project (WEPP) : Windows Interface Tutorial. Indiana, 2002. 75 p.
4. Kucher A. Sustainable soil management in the formation of competitiveness of agricultural enterprises: monograph. Plovdiv: Academic publishing house «Talent», 2019. 444 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19554.07366>.
5. Kucher A. Economics of soil erosion in Ukraine. Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion (c. Rome, 15–17 May 2019). Rome: FAO, 2019. Pp. 628–632
6. Kucher A., Kucher L., Sysoieva I., Pohrishchuk B. Economics of soil erosion: case study of Ukraine. *Agricultural and Resource Economics*. 2021. Vol. 7. No. 4. Pp. 27–41. <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.04.02>.
7. Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewell C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015. Vol. 54. Pp. 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>.
8. Panagos P., Standardi G., Borrelli P., Lugato E., Montanarella L., Bosello F. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land Degradation & Development*. 2018. Vol. 29(3). Pp. 471–484. <https://doi.org/10.1002/ldr.2879>.

9. Riparian Forest Buffers. USDA : веб-сайт. URL: <https://www.fs.usda.gov/nac/practices/riparian-forest-buffers.php> (дата звернення: 12.11.2022)
10. Soil Erosion Assessment Tool - Water Erosion Prediction Project (WEPP) / Kim, M.K. and al. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 2010. Volume 41. I. 4. P. 235–238.
11. Watershed Erosion Prediction Project (WEPP). *Climate change resource center* : веб-сайт. URL: <https://www.fs.usda.gov/ccrc/tool/watershed-erosion-prediction-project-wepp> (дата звернення: 13.10.2022)
12. WEPP. *Wikipedia* : веб-сайт. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/WEPP> (дата звернення: 20.10.2022)
13. Ачасов А. Б. Ґрунтово-ґеоінформаційні засади протиерозійної оптимізації агроландшафтів: теорія і практика. Автореф. дис. ... док. с.-г. наук: 06.01.03. Нац. Ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ, 2009. 40 с
14. Ачасов А. Б., Куришко Р. В. Картографічне забезпечення процесу математичного моделювання водної ерозії. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. № 3–4. 2012. С. 13–17.
15. Бакка М. Т., Стрельченко В. П., Божок П. Т. Основи ведення сільського господарства та охорона земель : навч. посіб. Житомир, 2000. 366 с.
16. Булигін С. Ю., Вітвіцький С. В. Кількісна оцінка ерозійної небезпеки сільськогосподарських угідь. *Ґрунтознавство та агрохімія*. С. 110–121. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Agronomija/article/download/12165/10541>
17. Булигін С.Ю., Ачасов А.Б. Моделювання процесів водної ерозії за допомогою схилової версії моделі WEPP : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу: «Охорона ґрунтів та моніторинг». Київ, 2004. С. 19–20.
18. Вітрова ерозія – чому виникає і що робити. *Скажений агроном* : веб-сайт. URL: <https://crazyagro.com/vitrova-eroziya/> (дата звернення: 29.09.2022)
19. Водна ерозія ґрунтів. *Блог про природу* : веб-сайт. URL: <https://nrv.org.ua/vodna-eroziya-gruntiv-zemli-vydu-prychyny/#nav4> (дата звернення: 03.10.2022)

20. Деградація ґрунтів. *Головний сайт для агрономів* : веб-сайт. URL: <https://superagronom.com> (дата звернення: 11.09.2022)
21. Деградація ґрунтів. *Головний сайт для агрономів* : веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/degradaciya-gruntiv-id20241> (дата звернення: 04.09.2022)
22. ДСТУ 7081:2009. Якість ґрунту. Ерозія ґрунту. Допустимі норми. [Чинний від 2010-07-01]. Київ, 2010. 11 с.
23. Еродованість ґрунтів України. *Головний сайт для агрономів* : веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/karty/erodovanist-gruntiv-ukrainy> (дата звернення: 05.10.2022)
24. Ерозія ґрунту. *Агроконсалтинг* : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/0Kh1q19> (дата звернення: 17.09.2022)
25. Ерозія ґрунту. *Агроконсалтинг* : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/0Kh1q19> (дата звернення: 18.09.2022)
26. Ерозія ґрунтів – загроза їх родючості. *Голос України*. URL: <http://www.golos.com.ua/article/193664> (дата звернення: 09.10.2022)
27. Ерозія ґрунтів і заходи боротьби з нею : веб-сайт. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ros1/wp-content/uploads/sites/20/lekcija-11.erozija-gruntiv-i-zahody-borotby-z-neju.pdf> (дата звернення: 01.10.2022)
28. Ерозія ґрунтів. URL: <https://kegt.rshu.edu.ua> (дата звернення: 01.10.2022)
29. Ерозія. *Вікіпедія* : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/4BA1mpG> (дата звернення: 10.10.2022)
30. Забруднення літосфери та її наслідки. *Vuzlit* : веб-сайт. URL: <https://vuzlit.com> (дата звернення: 23.09.2022)
31. Лищук Т. М. Оцінка агроекологічного стану ґрунтів ФГ «Рибчака П. І.» Теплицького району : дипломна робота / Вінницький національний аграрний університет. Вінниця, 2019. 66 с.
32. Люцерна. *Riva* : веб-сайт. URL: <http://www.riva.net.ua/liutsierna/p504> (дата звернення: 12.11.2022)

33. Методика з визначення меж водоохоронних зон, прибережних захисних смуг і смуг відведення з особливим режимом використання / Шевчук С. А., Вишневський В. І., Козицький О. М., Ворошнов С. М., Шевченко І. А. Київ : Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України, 2016. 43 с.

34. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в

35. Недвига М. В., Рассадіна І. Ю. Охорона ґрунтів і відтворення їх родючості : Курс лекцій та лабораторний практикум. Умань : Уманський НУС, 2020. 144 с. URL: <https://agrochem.udau.edu.ua/assets/files/robochi-programi-ta-silabusi-14.06.20/ohorona-gruntiv-i-vidtvorennya-ih-rodyuchosti.pdf>

36. Питання вітрової ерозії. *Охорона ґрунтів* : веб-сайт. URL: <https://www.iogu.gov.ua/blog/pres-centr/novini/pytannya-vitrovoji-eroziji/> (дата звернення: 27.09.2022)

37. Світличний О. О., П'яткова А. В. Прикладне ерозієзнавство : навч. посіб. Одеса, 2020. 137 с.

38. Світличний О. О., П'яткова А. В. Прикладне ерозієзнавство : навчальний посібник. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2020. 137 с.

39. Україна – аграрна держава. *Наукова бібліотека* : веб-сайт. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/biblioteka/1044/> (дата звернення: 03.10.2022)

40. Україні у 2020 році. Київ : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2021. 420 с.