

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 ЕРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Виконав: студент 2 курсу, групи ЗДЕ-72

спеціальності: 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Автор _____ Артур ШАХБАЗЯН
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

Рецензент _____ Борис ШУЛКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

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

Нормоконтроль _____ Валентина ШАПОВАЛОВА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ Світлана БУРЧЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2022 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Інститут: Навчально – науковий інститут екології

Кафедра: екології та менеджменту довкілля

Рівень вищої освіти: магістр

Спеціальність: 101 «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

проф. Андрій АЧАСОВ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« 20 » квітня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Артуру ШАХБАЗЯНУ

(ім'я та прізвище)

Тема роботи: Оцінка ерозійної небезпеки земель сільськогосподарського призначення за допомогою математичного моделювання

керівник роботи Андрій АЧАСОВ, доктор сільськогосподарських наук, професор
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «10» листопада 2022 року № 4301-5/1990

2. Строк подання студентом роботи «24» листопада 2022 року

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. провести аналіз наукових джерел з досліджуваної тематики;
2. побудувати математичну модель та зробити прогноз втрат ґрунту від водної ерозії;
3. надати рекомендації щодо покращення ерозійної ситуації досліджуваної території.

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 « 20 » квітня 2022 року

Студент _____ **Артур ШАХБАЗЯН**
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ **Андрій АЧАСОВ**
(підпис) (ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

**ОЦІНКА ЕРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЗЕМЕЛЬ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ
МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Артур ШАХБАЗЯН

Кваліфікаційна робота «Оцінка ерозійної небезпеки земель сільськогосподарського призначення за допомогою математичного моделювання» містить 47 сторінок, 4 розділи, 5 таблиць, 34 рисунки, 34 використані джерела.

Мета роботи: оцінка ерозійної небезпеки сільськогосподарських земель Харківського району Харківської області за допомогою математичного моделювання.

Актуальність роботи. Наслідком зростання навантаження на агроландшафти в результаті сільськогосподарської діяльності людини стає збільшення площ еродованих земель. В умовах інтенсивного сільського господарства та підвищеної розораності сільськогосподарських земель водна ерозія ґрунтів є одним з найбільш поширених і небезпечних ґрунтово-деградаційних процесів, що завдає великого економічного й екологічного збитку.

Ерозія загрожує існуванню ґрунту, який є основним засобом сільськогосподарського виробництва і незамінним компонентом біосфери, тому захист і збереження родючості агроландшафтів є актуальною темою сьогодні.

Завдання передбачали створення моделі ерозійної ситуації та прогноз втрат ґрунту від водної ерозії, надання рекомендацій щодо покращення ерозійної ситуації досліджуваної території.

Методи: аналітичний, статистичний, моделювання і прогнозування.

Результати: середні значення транзитних втрат ґрунту при порівнянні з градаціями допустимих норм ерозії для чорноземів типових значно перевищують допустимі норми (майже в 14 разів). Отже, еродованість досліджуваних ґрунтів характеризується як «сильна». Тому доцільно застосовувати протиерозійні заходи для покращення якості ґрунтів досліджуваної ділянки. Аналіз можливих сценаріїв

протиерозійного захисту досліджуваних полів показав, що оптимальним варіантом буде заліснення нижньої найбільш крутої частини схилу та вирощування люцерни на більшій частині території. За таким сценарієм втрати ґрунту зменшуються в 18 разів.

Результати апробовано на XVIII Всеукраїнській науковій on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології».

ГРУНТ, ЕРОЗІЙНА НЕБЕЗПЕКА, ВОДНА ЕРОЗІЯ, ДЕГРАДАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ,
ПРОТИЕРОЗІЙНІ ЗАХОДИ

ANNOTATION

ASSESSMENT OF EROSION DANGER OF AGRICULTURAL LANDS USING MATHEMATICAL MODELING

Artur SHAHBAZYAN

The qualification work «Assessment of the erosion risk of agricultural land using mathematical modeling» contains 47 pages, 4 sections, 5 tables, 34 figures, 34 used sources.

The purpose of the work: assessment of the erosion risk of agricultural lands of the Kharkiv district of the Kharkiv region using mathematical modeling.

Relevance of work. The consequence of the increase in the load on agricultural landscapes as a result of human agricultural activity is the increase in the area of eroded lands. In the conditions of intensive agriculture and increased plowing of agricultural lands, water erosion of soils is one of the most widespread and dangerous soil degradation processes, which causes great economic and ecological damage.

Erosion threatens the existence of the soil, which is the main means of agricultural production and an irreplaceable component of the biosphere, therefore the protection and preservation of the fertility of agricultural landscapes is an urgent topic today.

The tasks involved creating a model of the erosion situation and forecasting soil loss from water erosion, providing recommendations for improving the erosion situation of the studied territory.

Methods: analytical, statistical, modeling and forecasting.

Results: the average values of soil transit losses when compared with the gradations of permissible erosion norms for typical chernozems significantly exceed the permissible norms (almost 14 times). Therefore, the erodibility of the studied soils is characterized as «strong». Therefore, it is advisable to apply anti-erosion measures to improve the quality of the soils of the studied area. The analysis of possible scenarios for anti-erosion protection of the studied fields showed that the best option

would be afforestation of the lower steepest part of the slope and cultivation of alfalfa on most of the territory. Under this scenario, soil losses are reduced 18 times.

The results were tested at the 18th All-Ukrainian scientific online conference of higher education graduates and young scientists with international participation «Modern Problems of Ecology».

SOIL, EROSION HAZARD, WATER EROSION, LAND DEGRADATION,
ANTI-EROSION MEASURES

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ГРУНТІВ.....	11
1.1 Основні поняття ерозієзнавства.....	11
1.2 Аналіз ерозійної небезпеки ґрунтів України.....	16
1.3 Математичне моделювання та прогнозування водної ерозії на прикладі моделі WEPP.....	19
РОЗДІЛ 2 УМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ГРУНТІВ.....	22
2.1 Опис досліджуваної території	22
2.2 Методика моделювання процесів водної ерозії.....	24
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ГРУНТІВ.....	30
РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЕРОЗІЙНОЇ СИТУАЦІЇ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ.....	38
ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

Актуальність дослідження. Ерозійні процеси виникають та розвиваються під впливом як природних, так і соціально-економічних факторів. Наслідком зростання навантаження на агроландшафти в результаті сільськогосподарської діяльності людини стає збільшення площ еродованих земель. В умовах інтенсивного сільського господарства та підвищеної розораності сільськогосподарських земель водна ерозія ґрунтів є одним з найбільш поширених і небезпечних ґрунтово-деградаційних процесів, що завдає великого економічного й екологічного збитку.

Ерозія загрожує існуванню ґрунту, який є основним засобом сільськогосподарського виробництва і незамінним компонентом біосфери, тому захист і збереження родючості агроландшафтів є актуальною темою сьогодні.

Мета дослідження – оцінка ерозійної небезпеки 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 досліджуваної тематики;
- побудувати математичну модель та зробити прогноз втрат ґрунту від водної ерозії;
- надати рекомендації щодо покращення ерозійної ситуації досліджуваної території.

Об’єкт дослідження – землі сільськогосподарського призначення фермерського господарства, розташованого у Харківському районі Харківської області.

Предмет дослідження – ерозійна ситуація на землях сільськогосподарського призначення Харківського району Харківської області.

Основна гіпотеза (постановка проблеми) дослідження: виявлення можливостей математичного моделювання при оцінці ерозійної небезпеки в конкретному агроландшафті.

Наукова новизна одержаних результатів: застосування методів математичного моделювання для розробки сценаріїв безпечного використання конкретних територій, що використовуються у сільському господарстві.

Методи дослідження: аналітичний, статистичний, моделювання і прогнозування.

Практичне значення отриманих результатів:

1) отримані результати можуть бути ефективно використані при проти-ерозійному захисті досліджуваної території;

2) розроблений алгоритм досліджень може бути використаний для розробки сценаріїв безпечного використання земель у будь яких інших агроландшафтах.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ҐРУНТІВ

1.1. Основні поняття ерозієзнавства

Деградацію земель визначають як природний або антропогеннозумовлений процес зниження родючості ґрунтів, погіршення функцій та їх корисних властивостей, який виникає в результаті змін умов ґрунтоутворення.

На рисунку 1.1 зображено існуючі типи деградації земель.



Рис. 1.1 – Типи деградації земель

Найбільш серйозним фактором, що призводить до деградації агроландшафтів та зниження продуктивності земельних ресурсів, є ерозія [1].

Ерозія ґрунту – це зміщення верхнього шару ґрунту (його руйнування чи роз'їдання), яке може утворюватися в результаті дії таких ерозійних факторів, як: вітер, вода, лід, сніг, сільськогосподарська діяльність людини тощо [2]. Інтенсифікація таких процесів сьогодні спричиняє значні збитки в аграрному секторі та взагалі наражає на небезпеку розвиток людства.

Приклад наслідків ерозії ґрунтів зображено на рисунку 1.2.



Рис. 1.2 – Приклад наслідків ерозії ґрунтів [2]

Ерозію ґрунтів за походженням поділяють на природну (або геологічну) та прискорену (або руйнівну).

Природна (або геологічна) ерозія – це процес, який відбувається без впливу людини, тобто є природним. Така ерозія здійснюється повільно і запобігти їй майже неможливо. Вона не чинить значної шкоди і майже не знижує родючість ґрунту. В природі відбувається як звичайний геологічний процес (в результаті вітрової діяльності, дії води). До природних чинників, що викликають ерозійні процеси відносяться клімат, рельєф, ґрунт, рослинність, температура повітря, вітер та опади.

Прискорена (або руйнівна) ерозія – це процес, який виникає при антропогенній діяльності в результаті неправильного ведення будівництва, лісового господарства, промисловості, нераціональної господарської діяльності, неправильного використання земельних угідь, прокладання доріг тощо, коли руйнується цілісність верхнього шару ґрунту. Як результат дії такої ерозії виникають борозни, канави, яри тощо [3]. Така ерозія відбувається швидко.

За ступенем змитості ґрунти поділяють на:

- слабозмиті;
- середньозмиті;
- сильнозмиті.

У таблиці 1.1 наведено характеристику ґрунтів за ступенем змитості їх верхніх прошарків [4].

Таблиця 1.1

Характеристику ґрунтів за ступенем змитості їх верхніх прошарків [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.

Також окрім змитих, існують намиті ґрунти, тобто ті, на яких відкладені продукти процесу ерозії. За товщиною намитого шару продуктів ерозії намиті ґрунти поділяються на:

- малонамиті – менше 20 см;
- середньонамиті – від 20 до 40 см;
- сильнонамиті – більше 40 см [5].

В залежності від факторів руйнування ерозію поділяють на два основних види: вітрову та водну (рис. 1.3) [6].

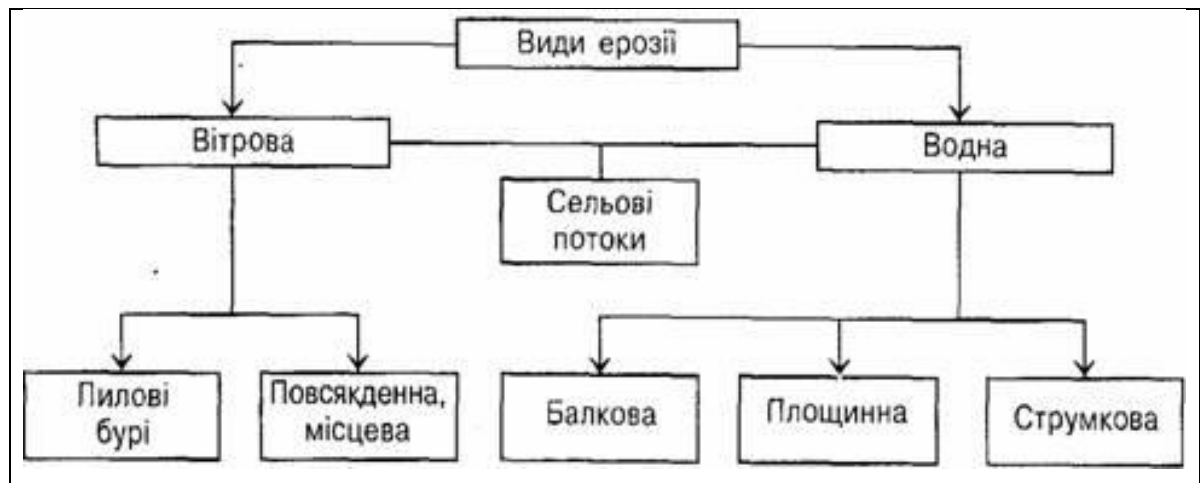


Рис. 1.3 – Види ерозії ґрунтів [6]

Вітровою ерозією називають процес знищення гірських порід та ґрунтового покриву в результаті вітрової діяльності.

Передумовою вітрової ерозії можуть бути певні кліматичні умови місцевості, руйнування структури ґрунту як результат неправильного його обробітку, знищення ґрунтозакріплюючої рослинності, знищення лісів тощо.

Від вмісту гумусу та гранулометричного складу ґрунту залежить інтенсивність його видування [7].

Так, наприклад, на ґрунтах, що мають супіщаний гранулометричний склад, даний вид ерозії ґрунтів виникає якщо швидкість вітру складає 3-4 м/с, на легкосуглинкових – при швидкості вітру 4-6 м/с, на важкосуглинкових – 5-7 м/с та на глинистих – 7-8 м/с [8].

Вітрова ерозія буває двох типів: повсякденна і пилові бурі.

Повсякденна вітрова ерозія проходить повільно, зумовлюється вітрами малих швидкостей, відбувається на карбонатних, супіщаних і піщаних ґрунтах. В результаті можуть відбуватись оголення насіння, пошкодження молодих сходів рослин тощо.

Вітрова ерозія характерна для пустельної, пустельно-степової та степової зон. Пилові бурі виникають в результаті сильних вітрів і являються найбільш шкідливим видом вітрової ерозії [9]. За декілька годин пилова буря може перенести орний шар ґрунту більш ніж на сто кілометрів. Далі пил, що піднялася в результаті такого явища, спричиняє забруднення водних об'єктів, які розташовані поблизу, та чинить запилення атмосфери [10].

Вітрова ерозія посилюється в результаті таких процесів:

- розорювання супіщаних та піщаних видів ґрунтів;
- неправильно проведена меліорація земель;
- постійне та безперервне вирощування монокультур [9].

Водна ерозія ґрунтів – це процес руйнування ґрунту, який проявляється у змиванні його верхнього шару або розмиванні у глибину під впливом талих, дощових та іригаційних вод. В результаті з ґрунту вимиваються частинки кальцію, азоту тощо [11, 12].

Вона буває поверхневою (змив верхнього родючого шару) та глибокою (зумовлює появу ярів). Водна ерозія, як правило, виникає на розораних схилах, в більшості на територіях, де оранку здійснюють вздовж схилу. В результаті це призводить до появи подовжених борозень, по яких відбувається стік дощової та талої вод. Якщо на цих територіях засівають ті сільськогосподарські культури, для росту яких потрібна більша площа живлення, ситуація сильно погіршується [13].

Водна ерозія може бути обумовлена як природними, так і антропогенними факторами та посилюватись в результаті таких процесів:

- випадіння значної кількості опадів;
- знищення лісів та трав'яного покриву;
- неправильно проведена меліорація земель;
- неглибока оранка та розорювання схилів [10].

На рисунку 1.4 зображено класифікацію водної ерозії за руйнівною дією води [13].

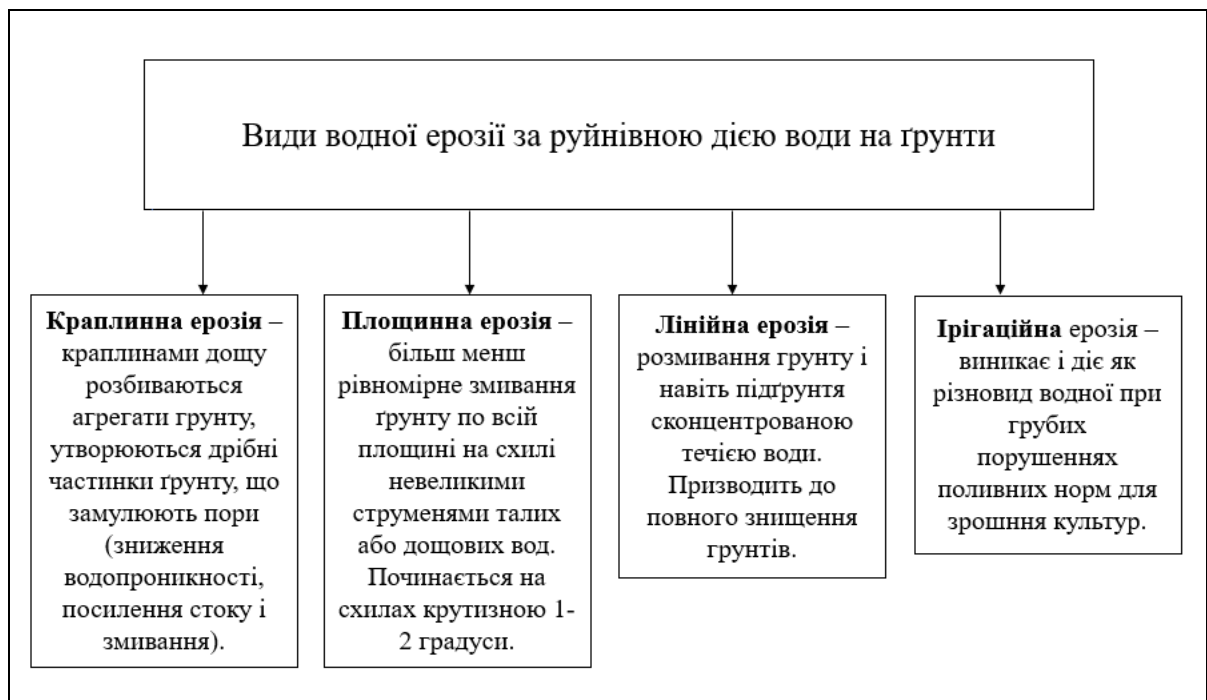


Рис. 1.4 – Водна ерозія за руйнівною дією води [13]

Ділянки, які постраждали в результаті водної ерозії, стають болотами і в результаті стають непридатними для вирощування сільськогосподарських культур, тобто перестають приносити урожай. Проте через 7-10 років ґрунт відновлюється, хоча його родючість помітно втрачається. Під час самовідновлення ґрунту, на ньому з'являється значна кількість бур'янів [14].

У еродованих ґрунтів погіршуються агрохімічні, фізичні, біологічні та інші властивості. Наслідки ерозії призводять до зниження або повної відсутності врожайності агрокультур, замулювання водойм, збільшення концентрації пилу в атмосферному повітрі тощо [14].

1.2 Аналіз ерозійної небезпеки ґрунтів України

Україна – це велика аграрна держава, яка володіє значним потенціалом розвитку сільського господарства, має 1/3 світових чорноземів та являється першою країною на аграрних ринках світу з виробництва та виготовлення соняшникової олії, зерна, меду та цукру [15].

Сільськогосподарські угіддя України, від загальної її площі, складають 70,3 %, причому оброблювані землі сільськогосподарських площ становлять 81 %.

Чорноземи є найпоширенішими ґрунтами, які займають 60,6 % від загальної площі земель сільськогосподарського призначення в Україні, на другому місці – темно-сірі лісові, які складають 21,3 %.

В Україні 41,5 % від усієї території займає степ, який є найбільшим зональним природним комплексом. Сільськогосподарські угіддя степової зони країни складають більше 76 %, біля 63 % займають оброблювані землі.

У Лісостепу, який займає 33 % території, там де природні умови є сприятливими для сільськогосподарської діяльності, дуже висока частина оброблюваних сіножатей та земель.

У Поліссі, на значній частині якого розташовані ліси та кущі, є багато площ під пасовища та відносно невелика частина культивованих земель.

Найпотужнішим компонентом довкілля в територіальній площині є ґрунти та їх стан. Продуктивність виробництва у сільському господарстві, немалою мірою, має залежність від стану ґрунтового покриву [16]. І, сьогодні, ерозія, у сучасних агроландшафтах України, є головним деградаційним процесом, що чинить значну економічну та екологічну шкоду. Сьогодні, інтенсифікація процесів ерозії в Україні, призводить до істотної деградації ґрунтів та великих збитків в аграрному секторі.

Близько 16000000 га земель України є еродованими і ці процеси продовжують розповсюджуватись на кожний 5 гектар з тих, які ще не зазнали її. Дуже небезпечним процесом деградації ґрунтів являється втрата основної органічної речовини – гумусу, яка на зазначених землях уже становить 30-70 %. На значній території країни поширене явище яружної ерозії, яка займає близько 157 тис. га земель (приблизно 600 тис. ярів).

На рисунку 1.5 зображено карту еродованості ґрунтів України, що відображає ступінь еродованості у відсотках по кожній області [17].

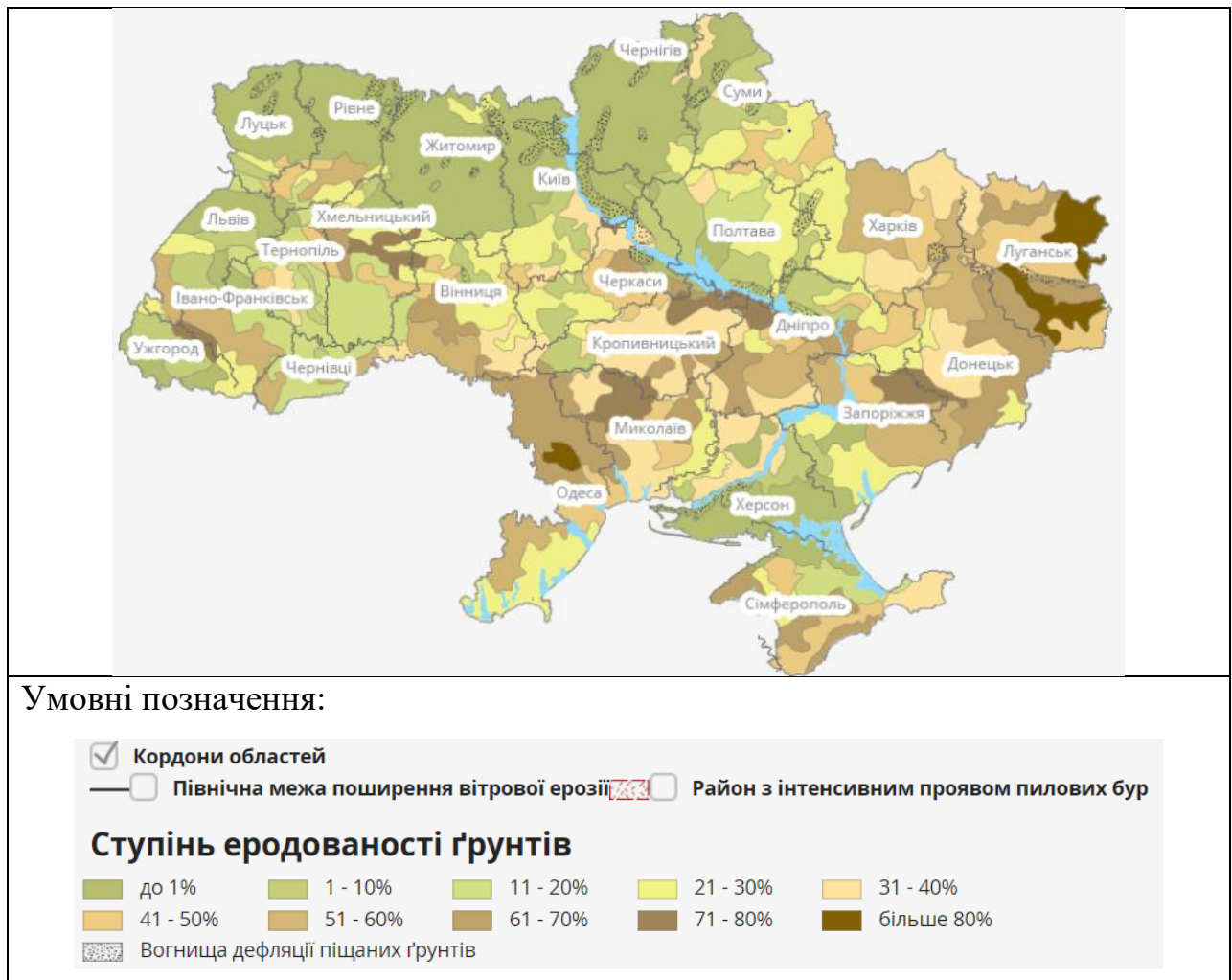


Рис. 1.5 – Карта еродованості ґрунтів України [17]

Як бачимо, найбільший ступінь еродованості ґрунтів визначається у Луганській області, найменший – у Луцькій, Рівненській, Житомирській та Чернігівській областях.

Щорічно, в результаті ерозійних процесів, в Україні втрачається від 300 до 600 млн. тон (далі – т) ґрунту. Це призводить до втрати гумусу (до 15 млн. т), азоту (до 0,9 млн. т), фосфору (до 900 тис. т), калію (до 12 млн. т), що набагато більше за кількість, яка потрапляє із добривами.

В порівнянні з нееродованими ґрунтами, на еродованих ґрунтах урожайність менша на 20-60 %. Втрати врожайності на таких землях, за оцінкою експертів, досягають 9-12 млн. т зернових, збитки перевищують 10 млрд. доларів щороку.

Більше 6 млн. га постійно підлягають вітровій ерозії, а в періоди з пиловими бурями – близько 20 млн. га.

Водна ерозія руйнує в Україні понад 13,3 млн. га сільськогосподарських угідь, що складає 32 % від загальної площі, у тому числі орних земель – 10,6 млн. га. Еродовані землі займають 4,5 млн. га ґрунтів, які є сильно- та середньозмитими, та 68 тис. га таких, у яких відсутній гумусовий горизонт [18].

Виходячи з вищесказаного, для безпечного ведення та розвитку сільського господарства в Україні потрібно застосовувати ряд протиерозійних заходів, таких як: агро меліоративні, гідромеліоративні, організаційно-господарські та лісомеліоративні [19]. Проектування таких заходів повинно ґрунтуватися на точній інформації та розрахунках.

1.3 Математичне моделювання та прогнозування водної ерозії на прикладі моделі WEPP

Сьогодні існує багато моделей, що застосовуються або рекомендуються для розрахунку інтенсивності ерозійних процесів, які руйнують ґрунт. На рисунку 1.6 зображено групи методів оцінки ерозійної небезпеки та їх характеристика [20].



Рис. 1.6 – Методи оцінки ерозійної небезпеки та їх характеристика [20]

Модель Water Erosion Prediction Project (WEPP) відносять до теоретичних математичних моделей, що є найбільш визнаним та перспективним інструментом для прогнозування водної ерозії ґрунтів.

Проект WEPP, бере свій початок з 1985 року, моделює безліч фізичних процесів, включаючи стік, відшарування потоку, транспортування осаду, інфільтрацію ріст рослин, відшарування дощових крапель, осадження та розкладання залишків [21].

На рисунку 1.7 наведено порядок проведення кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту із застосуванням ГІС та моделі WEPP [22].

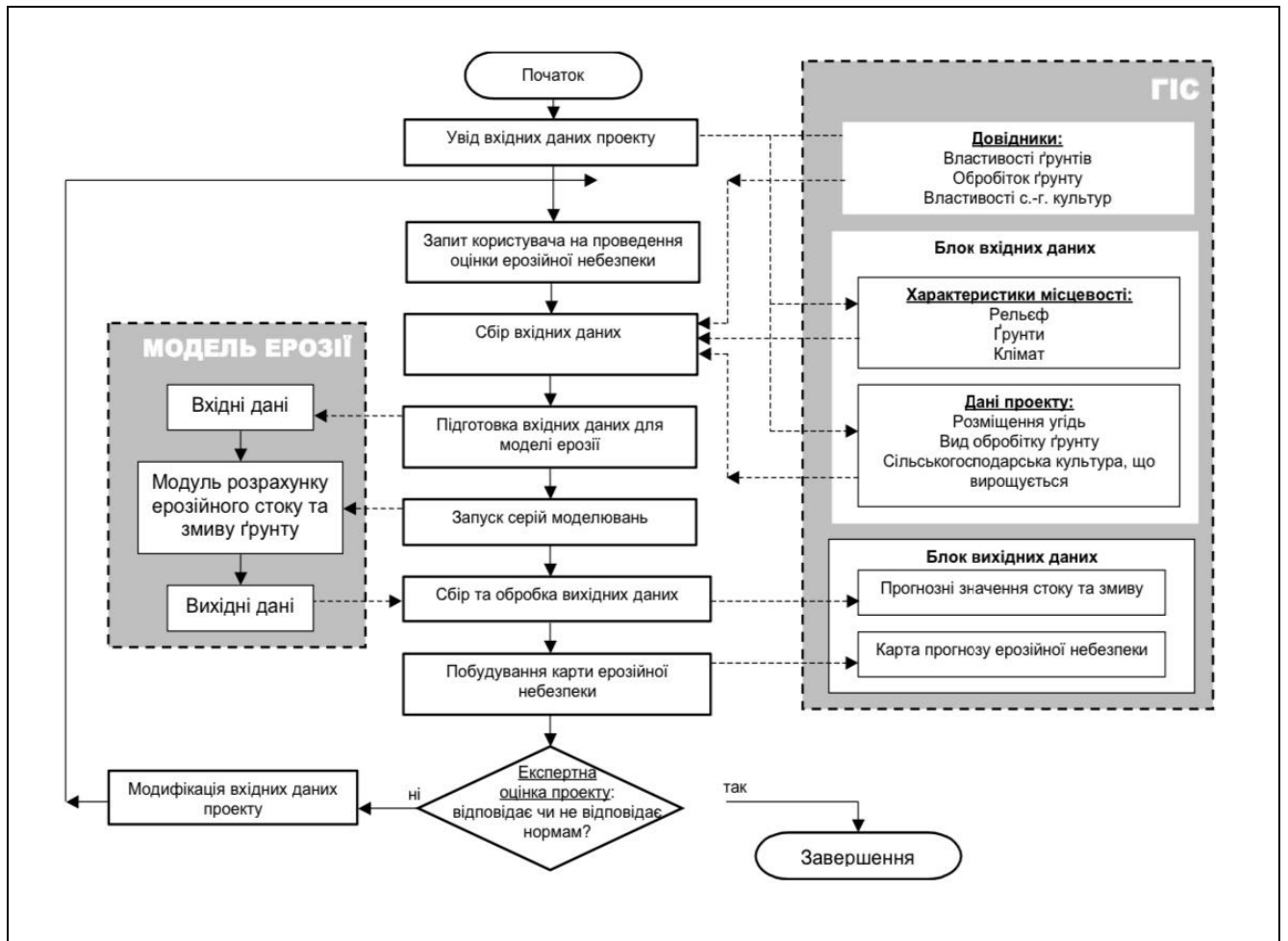


Рис. 1.7 – Порядок проведення кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту із застосуванням ГІС та моделі WEPP [22]

Модель Water Erosion Prediction Project об'єднує науку про рослини, гідрологію, гідравліку та ерозійну механіку для прогнозування ерозії на вододілах та схилах пагорбів. Вона може моделювати та оцінювати різноманітні гідрологічні умови, клімат та землекористування. За допомогою WEPP можна зробити модель

ерозійних процесів гірських схилів, в тому числі накопичення і танення снігу, глибоку перколяцію ґрунтових вод тощо [23].

Програма WEPP містить такі блоки, як: «Клімат», «Рельєф», «Агрофон» та «Ґрунти» [24]. Модель імітації водної ерозії дає можливість дослідити транспортування змиву та стоку по рельєфу до місця виходу водозбору. Існують два режими моделювання: довготермінове або одиничне. Вхідні дані для моделювання включають у себе відомості про рельєф, рослинність на сільськогосподарських угіддях, ґрунти водозбору, обробіток ґрунту та кліматичні особливості місцевості [25].

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ҐРУНТІВ

2.1 Опис досліджуваної території

Об'єктом дослідження даної роботи було обрано земельну ділянку сільськогосподарського призначення, розташовану у Харківському районі Харківської області.

На рисунку 2.1 зображено місцезоташування досліджуваної території.



Рис. 2.1 – Розташування досліджуваної земельної ділянки сільськогосподарського призначення

Експериментальна ділянка, площа якої складає 60 га, розташована у західній частині Харківської області поблизу м. Люботин біля автодороги «Київ-Харків» та оточена іншими землями сільськогосподарського призначення. В межах території об'єкту дослідження пролягає заплава р. Люботинка, абсолютна висота якої

становить 117-118 м. Для неї характерний слабовиражений мікрорельєф. Ширина варіюється в межах 250-400 м. Територія, у геоморфологічному відношенні, являє два схили – південно-східної та північно-західної експозиції. Південно-східний схил – високий та в нижній третині – розчленований ярами, крутий із похилом поверхні до 7-9°. Більш пологим є північно-західний схил з абсолютною висотою до 150 м, крутизна якого відмічається до 3-5° [26].

Ділянка розташована в межах Лісостепової зони, клімат місцевості типовий для м. Харкова, тобто є помірно-континентальним. Середня температура у місяці січні становить -7,2 °С, для липня середня температура відповідає +20,7 °С. Річна кількість опадів становить близько 530 мм [27].

Максимальне значення відмітки поверхні території вивчення складає 181 метрів над рівнем моря, мінімальна – 118 метрів.

Характерний ґрунтовий покрив території досить строкатий та представлений чорноземами типовими, опідзоленими та сірими лісовими ґрунтами.

Характерним для обраної земельної ділянки є опис профілю, який висвітлено у таблиці 2.1 [26].

Таблиця 2.1

Опис профілю чорнозему опідзоленого важкосуглинкового на лесоподібному суглинку

Горизонт	Глибина, см	Характеристика
He гумусово-елювіальний	0-28	темно-сірий, свіжий, припорошений SiO ₂ по гранях структурних агрегатів, слабоущільнений, важкосуглинковий, порохувато-грудкувато-плитчастий, перехід ясний
Hі 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

Продовження таблиці 2.1

Рі перехідний	62-73	червоно-бурий, важкосуглинковий, перехід різкий, свіжий, призмоподібно-грудкуватий, гарно помітний по скипанню від НСІ
Рк лесоподібний суглинок	73-120	бурувато-палевий, важкосуглинковий, карбонатний, карбонати у вигляді псевдоміцелію, свіжий

В першу частину вегетаційного періоду, ґрунтово-екологічна провінція, в якій знаходиться експериментальна ділянка, визначається як підвищено-зволожена, в другу – недостатньо зволожена та в холодний періоди – добре гумідна. Вміст гумусу варіюється від 2,1 % до 4,3 %. Середньоарифметичний вміст фізичної глини складає 51 % [26].

2.2 Методика моделювання процесів водної ерозії

Для моделювання водної ерозії земельної ділянки сільськогосподарського призначення, розташованої у Харківському районі Харківської області, було задіяно програмний комплекс Water Erosion Prediction Project для ОС Windows. У роботі були використані такі методи дослідження, як: математичне моделювання та прогнозування.

Програмний комплекс WEPP дає можливість користувачу симулювати різні профілі схилів пагорбів і невеликі вододіли та контролювати усі вхідні дані моделі. Також, веб-інтерфейси дають можливість легко та швидко використовувати модель та обирати інформацію з існуючих баз даних щодо ґрунту, клімату та агрофону [28].

На рисунку 2.2 відображено загальний вигляд головного екрану запуску програми, яку використовували для створення імітації.

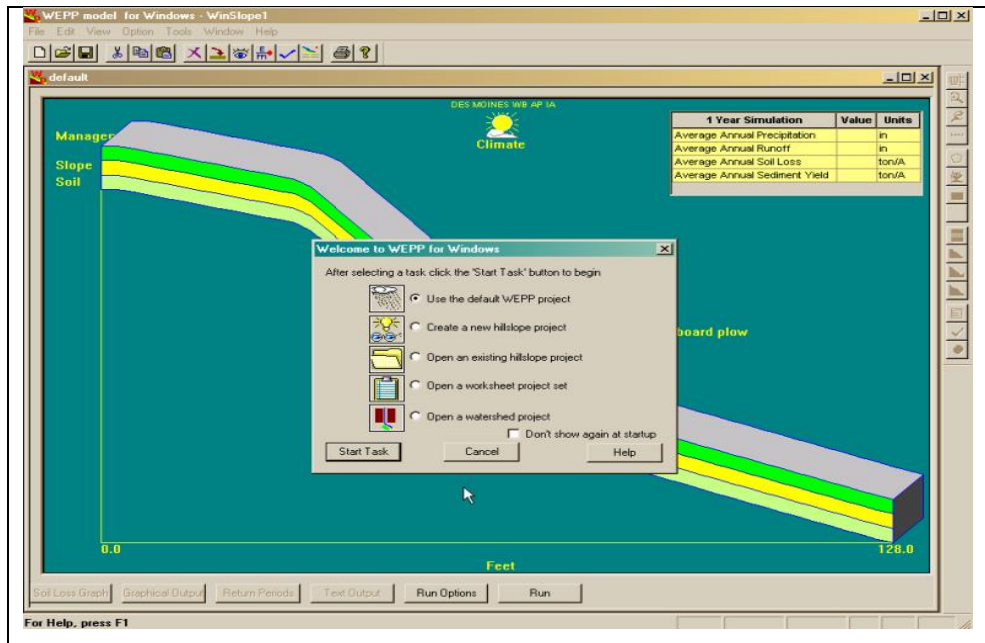


Рис. 2.2 – Загальний вигляд головного екрану запуску програмного комплексу Water Erosion Prediction Project версії 2006.5 [29]

Початковий екран дозволяє запускати проект WEPP за замовчуванням або отримувати доступ до інших типів проектів: новий проект, вже існуючий проект або набір проектів тощо [29].

Після обрання типу проекту отримуємо графічне зображення профілю схилу з різними областями та доступ до вхідних баз даних і відображення вихідних даних зображено на рисунку 2.3.

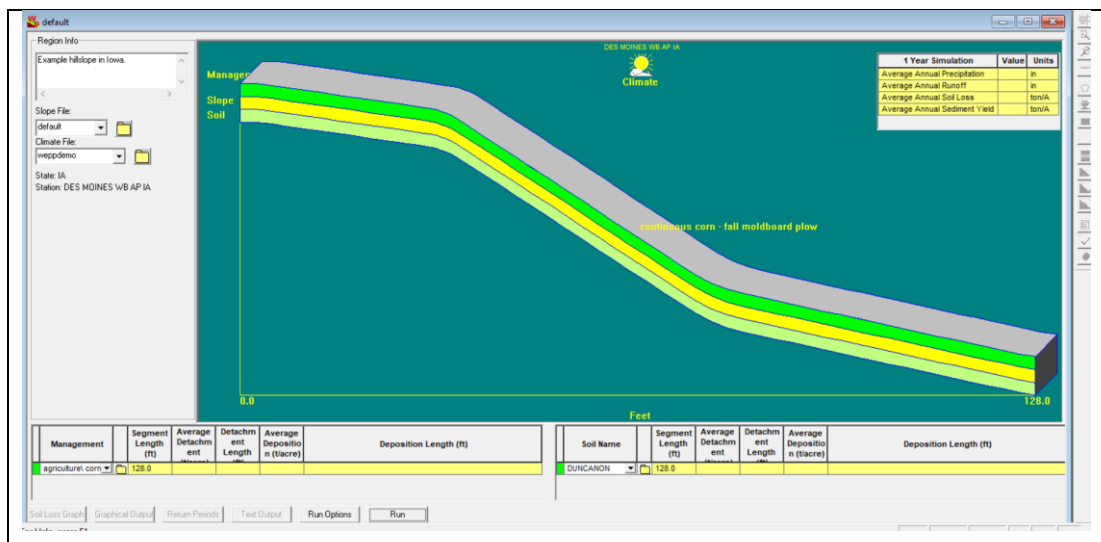


Рис. 2.3 – Графічне зображення профілю схилу з різними областями [29]

Симуляція моделі WEPP, при вводі даних, відображається при натисканні кнопки «Run» внизу екрана. Після запуску моделі результати з'являються у таблиці в правому верхньому куті. Модель дозволяє здійснити комплексний облік факторів, які призводять до виникнення ерозії.

Для початку роботи потрібно обрати одиниці виміру, при проведенні дослідження було використано метричні.

Робота з блоком «Рельєф». Містить інформацію, яка дає можливість описати схили будь-якої конфігурації при наявності даних про довжину (м) і нахил (%).

Розрахунок змиву виконується по розрахунковим профілям, які прокладаються на карті та співпадають з лініями стікання води від найвищих точок схилу перпендикулярно горизонталям до найнижчих. Зазвичай використовують топографічні карти з масштабом від 1:10000 до 1:25000 [30].

Числові значення довжини та нахилу в роботі розраховували за допомогою топографічної карти експериментальної ділянки масштабом 1:10000 (рис. 2.4).

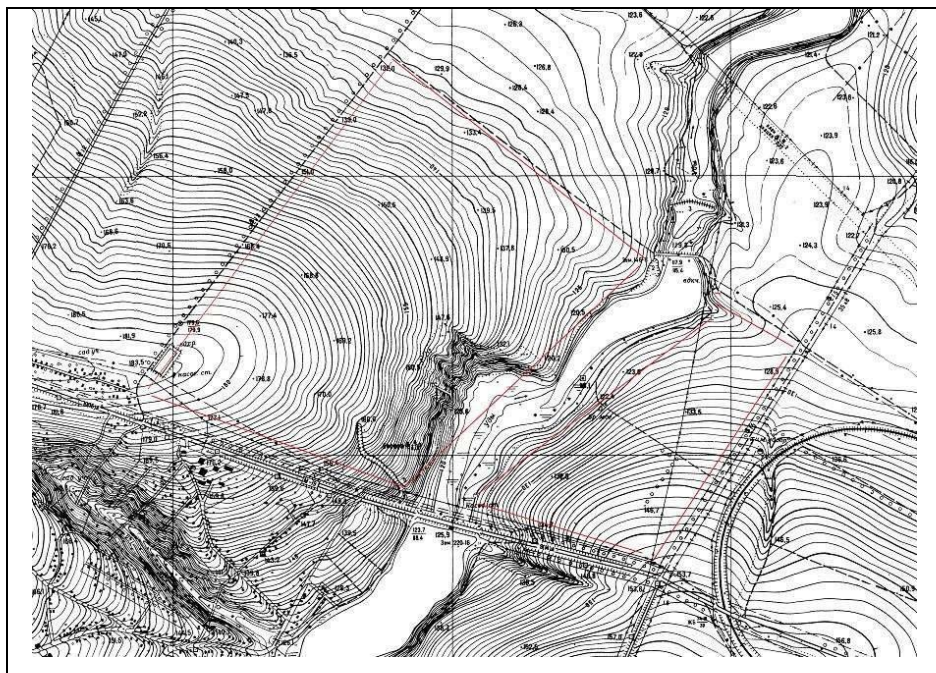


Рис. 2.4 – Топографічна карта експериментальної ділянки масштабом 1:10000

Приклад редактору профілю схилу у програмі WEPP зображено на рисунку 2.5.

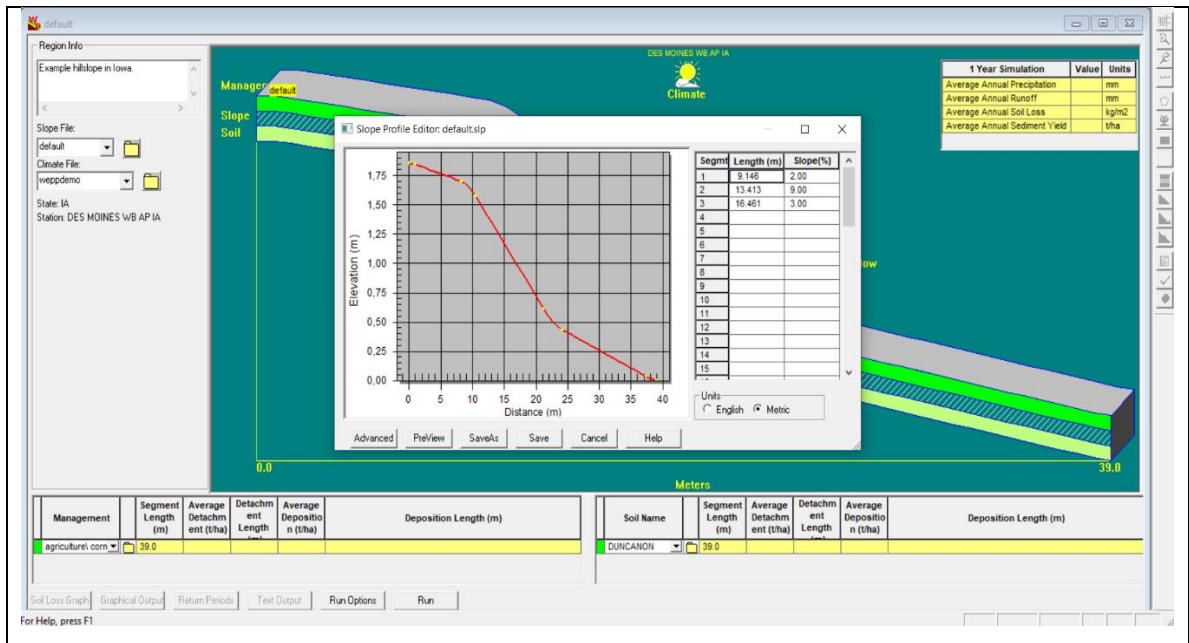


Рис. 2.5 – Редактор профілю схилу [29]

Схил складається з сегментів, які відображаються у табличній формі справа та у графічній формі на рисунку зліва. У розширених параметрах можна змінити кількість переходів, а також умови схилу у верхній і нижній частині профілю, змінювати довжину та крутизну схилу, а потім переглядати форму профілю, доки не отримаємо потрібний результат моделювання [29]. Після збереження даних, постійно оновлюються кількісні показники у таблиці, що розташована у верхньому правому куті екрану (стік, втрати ґрунту, осадження).

Блок «ґрунт» характеризує ґрунтовий покрив місцевості, а саме протиерозійну здатність ґрунтів, які є її складовою. Екран «Soil Database Editor» із завантаженою наявною інформацією про ґрунт показано на рисунку 2.6 [29]. Інформація у верхній частині редактора стосується ґрунту в цілому, тоді як значення потужності горизонту, вмісту глини, органічної речовини, піску, кам'янистості, ємності катіонного обміну вводяться в таблицю внизу екрана власноруч.

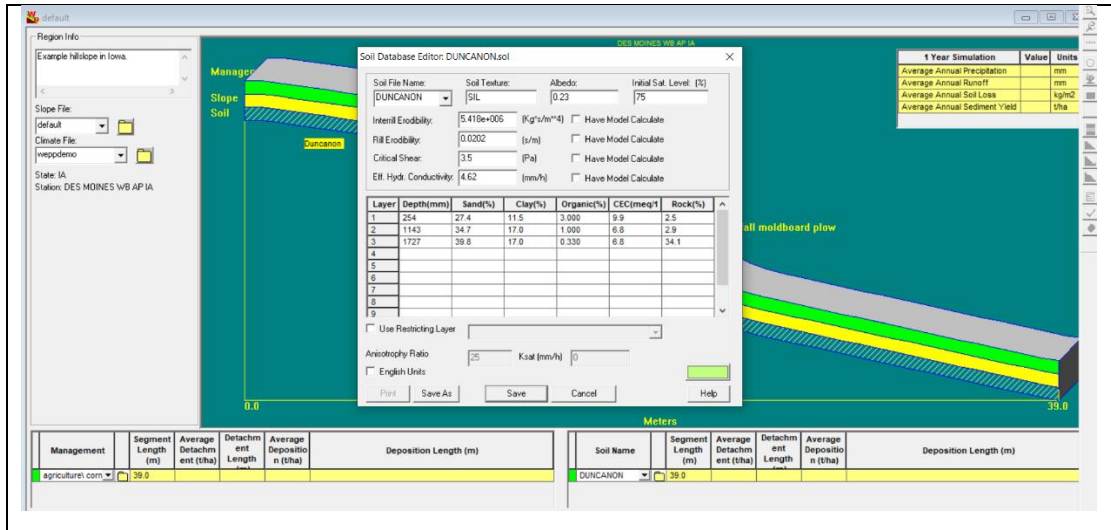


Рис. 2.6 – Soil Database Editor [29]

Блок «Клімат» використовується для прогнозу обсягів та інтенсивності випадання злив, стоку та інфільтрації. У даному блоці зазначається інформація, яка відображена на рисунку 2.7 [29].

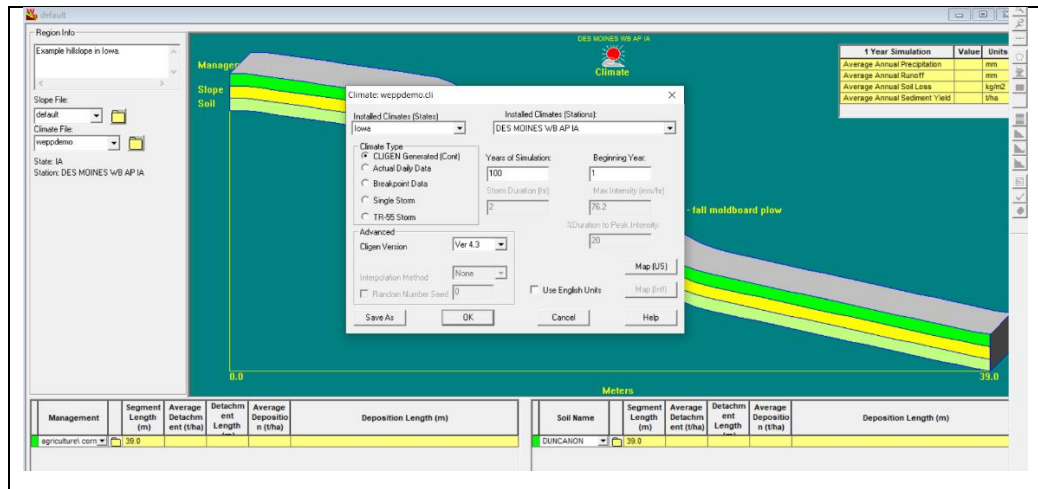


Рис. 2.7 – Опис блоку «Клімат» [29]

Зверху спливаючого вікна відображається перелік доступних метеостанцій та штатів США. Метеобазы, адаптованої для України, поки не існує. Тому, у роботі, було використано типову для території Харківської області інформацію про зливу 10 % ступеню ймовірності, тобто потужну зливу, яка відбувається 1 раз на 10 років.

На рисунку 2.8 показано вікно опису блоку «Агрофон».

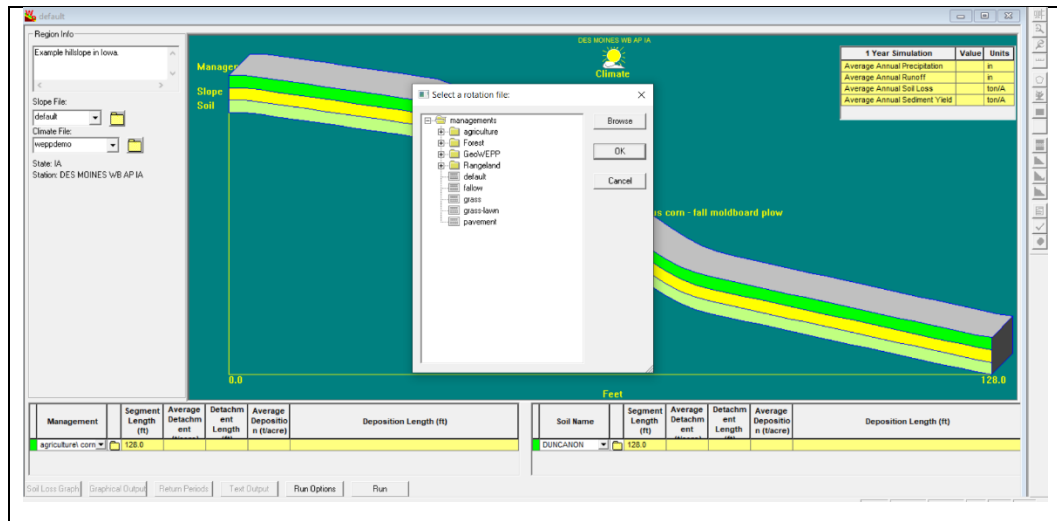


Рис. 2.8 – Опис блоку «Агрофон» [29]

Для роботи було обрано найжорсткіші умови – «fallow» або чорний пар. Такі умови характеризуються повною відсутністю рослинності, що роблять ґрунт дуже уразливим до виникнення ерозії. В результаті поставлених умов, вода швидко стікає, не затримується та не поглинається ґрунтом [31].

Після отримання моделі ерозії рахуються ерозійні втрати ґрунтів, а для надання рекомендацій, можна задати нові умови та простежити зміни, які можуть відбутися.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ҐРУНТІВ

Досліджувану територію у роботі умовно розділили на дві ділянки: поле 1 та поле 2.

На рисунках 3.1 та 3.2 зображено результат нанесення на топографічну карту та супутникові знімки профілів, які є репрезентативними для даної території дослідження.

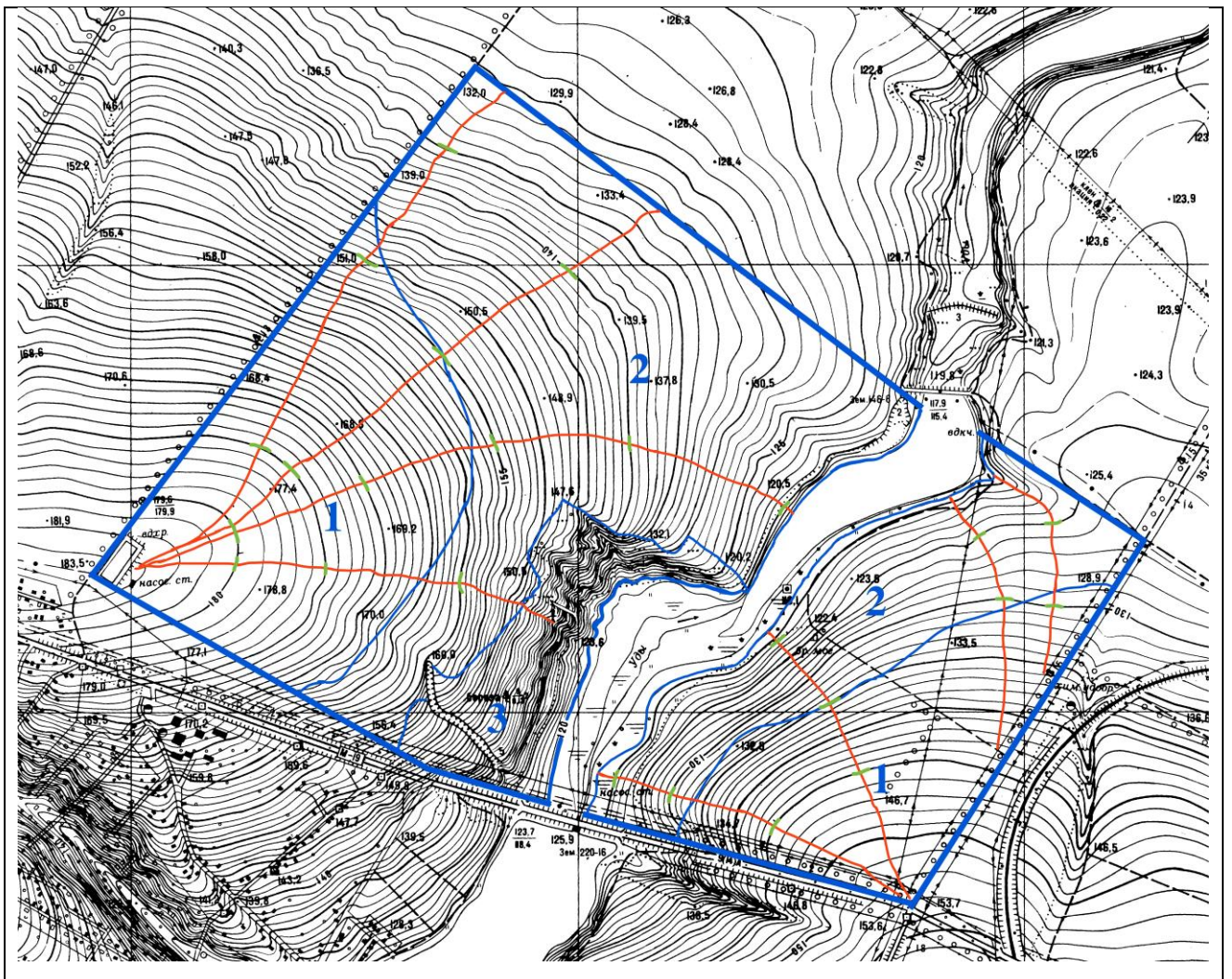


Рис. 3.1 – Результат нанесення репрезентативних профілів для території дослідження на топографічній карті масштабом 1:10000

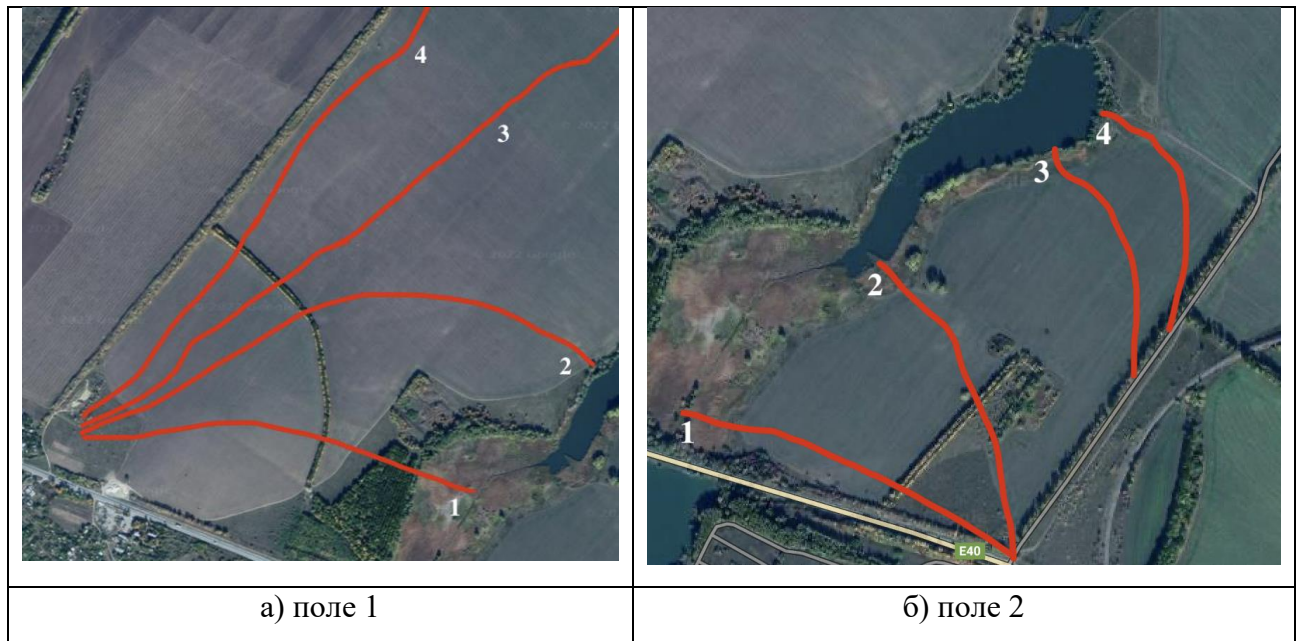


Рис. 3.2 – Супутникове зображення полів 1 та 2 із нанесенням ліній, які відображають потік води по схилам

У даній роботі було побудовано 4 лінії на кожній ділянці, які відображають водостоки, що визначають рух води по даним схилам на даному ландшафті. Кожен схил, який визначався за абсолютними висотами на топографічній карті, розділявся на відрізки, для кожного розраховували довжину та нахил. Довжина першого відрізка визначалась від початку схилу (найвища точка), довжина наступного – від кінця попереднього.

Також на рисунку 3.1 бачимо розподіл характерних типів ґрунтів для досліджуваних полів. Перше поле представлено чорноземом малогумусним середньопотужним на лесових породах (№ 1), чорноземом слабогумусним середньопотужним на елювії пісковиків (№ 2) та чорноземом слабогумусним середньопотужним слабозмитим на елювії пісковиків (№ 3). Як бачимо, для другої ділянки характерні ті ж самі ґрунти під № 1 та 2.

На рисунках 3.3-3.4 показані результати графічного зображення рельєфу поля 1 та 2 з даними довжин та нахилів поверхні, що визначались для кожного нанесеного репрезентативного профілю.

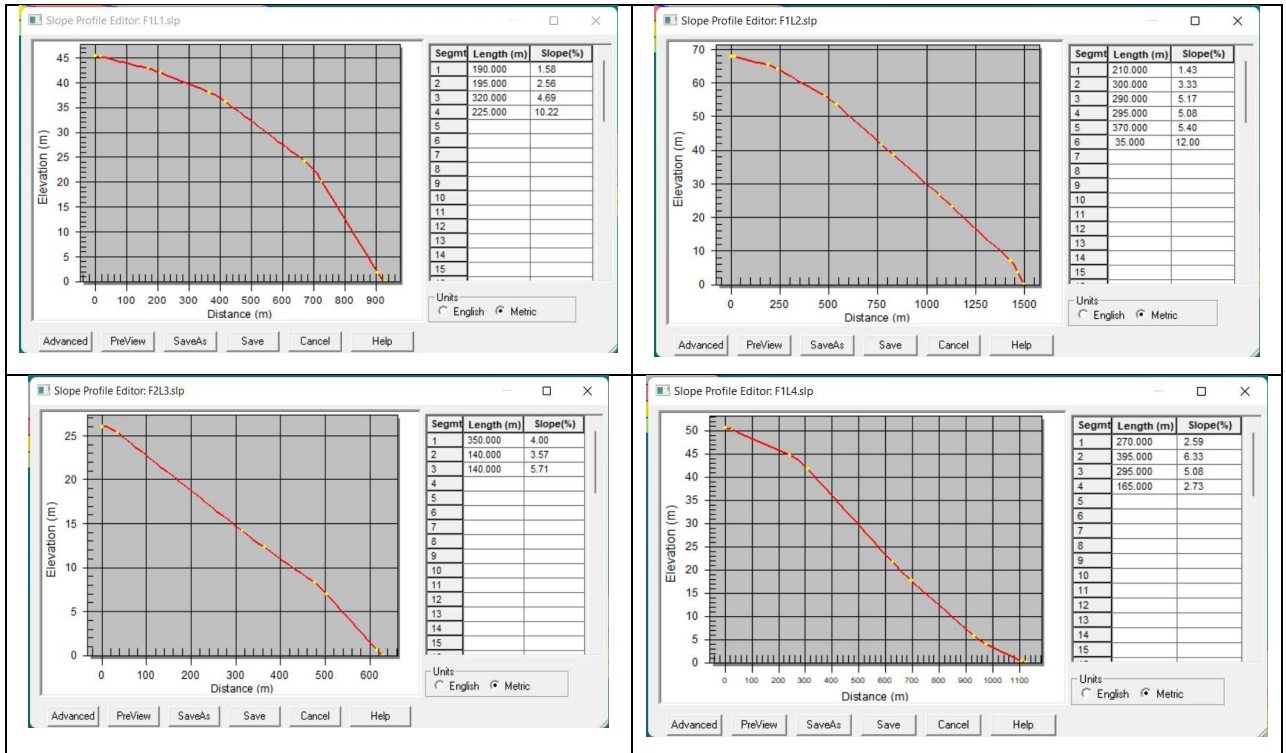


Рис. 3.3 – Графічне відображення рельєфу поля 1

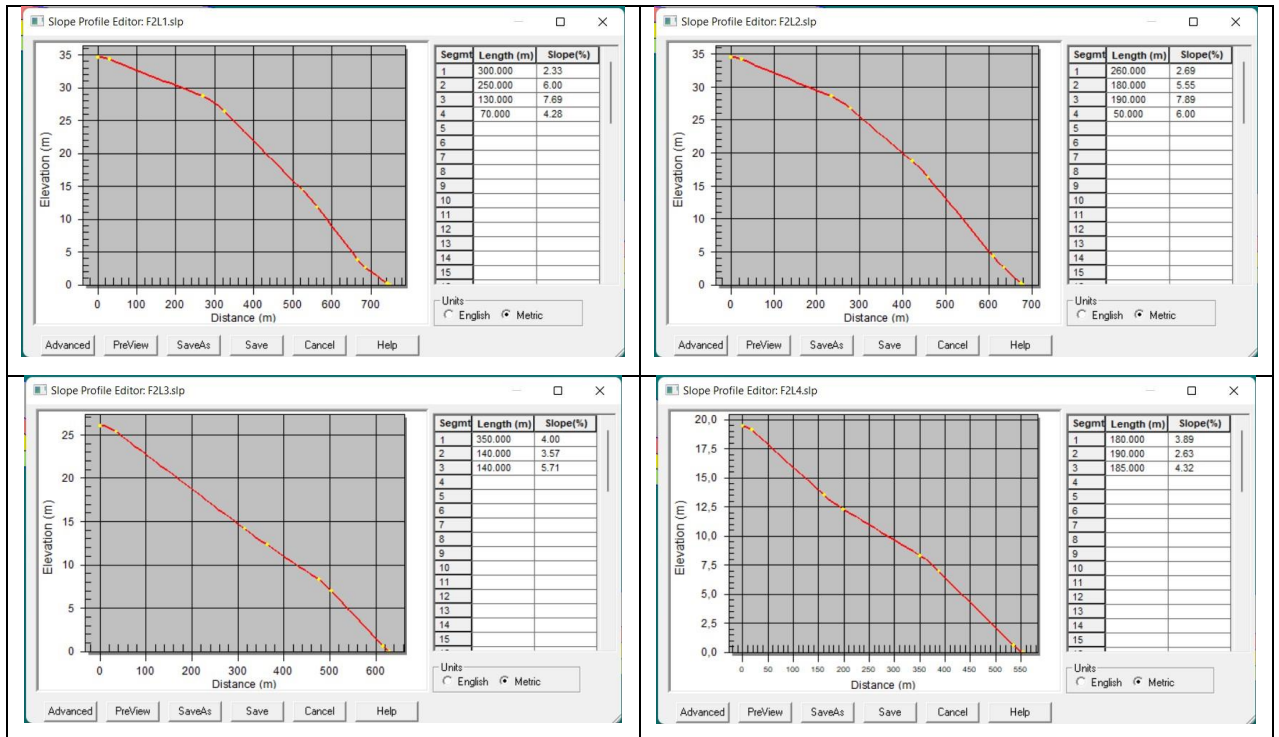


Рис. 3.4 – Графічне відображення рельєфу поля 2

Отже, так як рельєф даної території представлений схилами, можемо сказати, що на такій поверхні полів особливо виражена площинна ерозія.

На рисунках 3.5-3.7 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/m**4) 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/m**4) 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 еловій пісковиків (№ 2)

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

Як бачимо, перший тип ґрунтів характеризується найбільшим вмістом глини та органічного вуглецю.

Результати моделювання за заданих умов 10 % зливи для чистого пару для ґрунтів поля 1 та 2 показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Результати моделювання за заданих умов 10 % зливи для чистого пару для ґрунтів поля 1 та 2

Схил	Обсяг зливи, мм	Обсяг поверхневого стоку, мм	Ерозійні втрати ґрунту внаслідок зливи, кг/м ³	Транзитні втрати ґрунту внаслідок зливи, т/га
Поле 1				
1	55	46,31	3,787	35,389
2	55	46,11	3,443	34,429
3	55	45,95	1,714	10,828
4	55	46,18	1,944	9,722
Середні значення	55	46,14	2,722	22,592

Продовження таблиці 3.1

Поле 2				
1	55	46,21	2,851	19,396
2	55	46,34	2,921	24,384
3	55	46,00	2,028	19,059
4	55	45,80	1,479	13,499
Середні значення	55	46,09	2,320	19,084

Порівнюючи середні значення обсягів зливи та обсягів поверхневого стоку бачимо, що 8,86 мм просочилося і поглинулося типовими ґрунтами першого поля, 8,91 мм – поглинулося полем № 2. Середні значення ерозійних втрат ґрунту внаслідок 10 % зливи при умові чорного пару становлять на полі № 1 – 2,722 кг/м², а транзитні втрати – 22,592 т/га. Для поля № 2, характерні середні значення ерозійних втрат ґрунту складають 2,320 кг/м³, транзитні втрати становлять 19,084 т/га, що є дещо менше ніж на полі № 1.

Отже, результати дослідження вказують на те, що вся досліджувана сільськогосподарська територія Харківського району Харківської області потребує протиерозійного захисту.

На рисунках 3.8 та 3.9 відображено просторовий процес змиву чорноземів, характерних для поля № 1 та № 2, які відобразив WEPP для репрезентативних схилів.

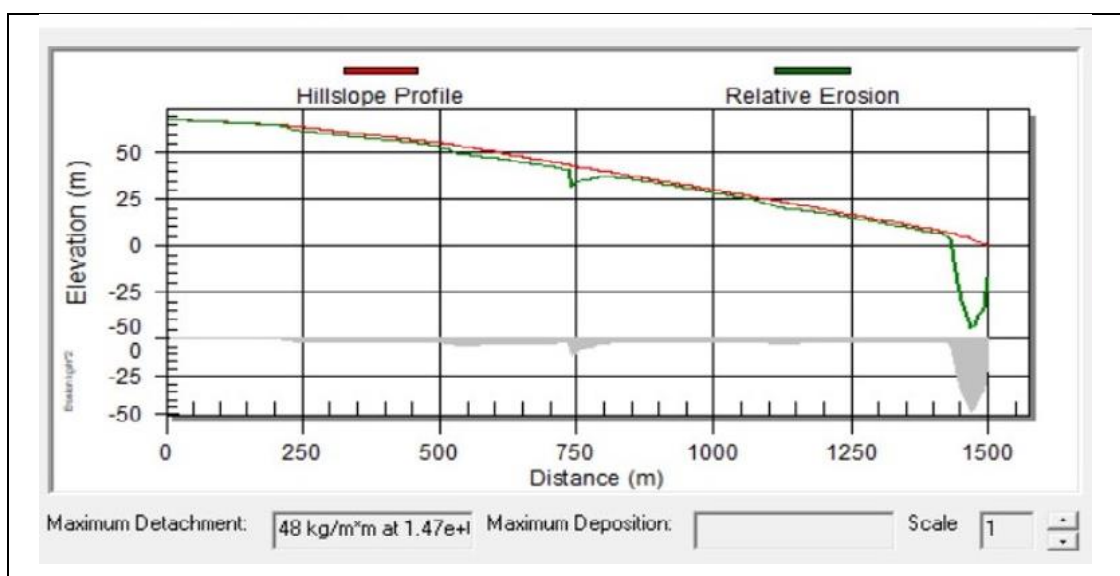


Рис. 3.8 – Просторовий процес змиву ґрунту поля № 1

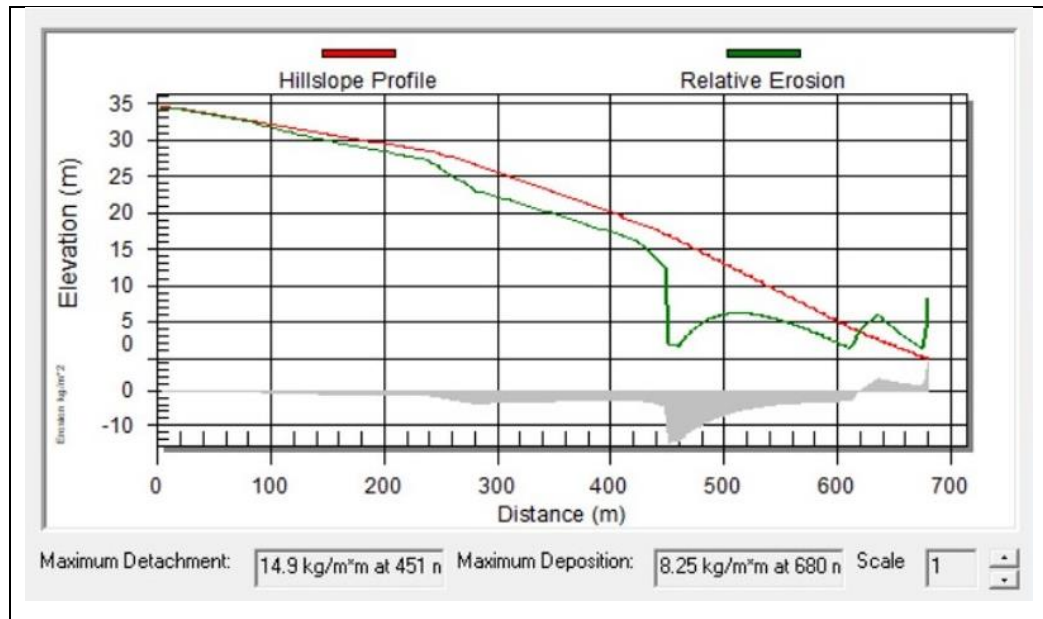


Рис. 3.9 – Просторовий процесу змиву ґрунту поля № 2

Можемо бачити, що змив ґрунту підвищується зі зростанням крутизни схилу. Такі результати дослідження підтверджують необхідність захисту даної території сільськогосподарського призначення від ерозійних процесів та можуть бути основою для її протиерозійного облаштування.

Після отримання фінальних значень розрахунків, доцільно надати оцінку ерозійної небезпеки досліджуваної території. Для цього було порівняно середні значення транзитних втрат досліджуваних ґрунтів з градаціями допустимих норм ерозії для чорноземів типових, які нормуються відповідно до ДСТУ 7081:2009 [32] (табл.3.2).

Таблиця 3.2

Допустимі норми ерозії для чорноземів типових [32]

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

На рисунку 3.10 відображено порівняння середніх значень транзитних втрат досліджуваних ґрунтів з градаціями допустимих норм ерозії для чорноземів типових.

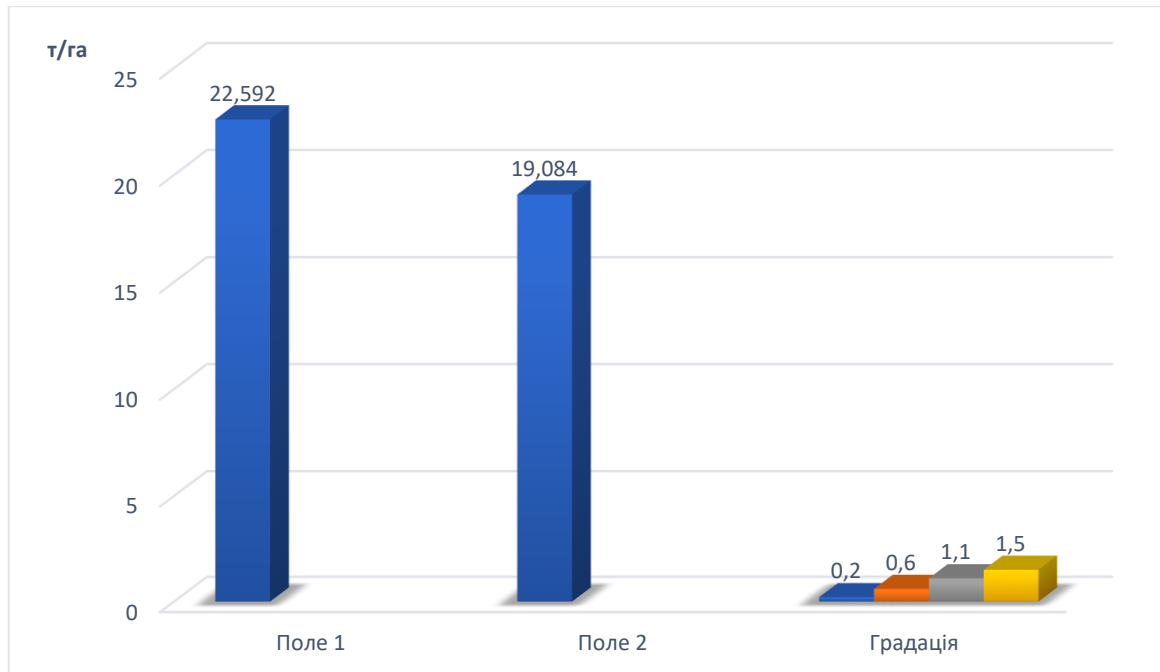


Рис. 3.10 – Порівняння середніх значень транзитних втрат досліджуваних ґрунтів з градаціями допустимих норм ерозії для чорноземів типових.

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

В результаті дослідження було виявлено, що територія сільськогосподарського призначення на території Харківського району Харківської області потребує застосування протиерозійних заходів.

Враховуючи особливості території, у роботі розроблено та запропоновано декілька сценаріїв протиерозійного облаштування території для кожного схилу полів 1 та 2, а саме: вирощування люцерни від початку схилу на 60 % території, висадка лісонасаджень та розміщення лісового буферу у підніжжі схилу; інший варіант передбачає чергування на однакових відрізках схилу вирощування люцерни, далі задання умов чорного пару, знову вирощування люцерни, потім знову умови чорного пару та у підніжжя схилу розміщення лісового буферу; наступний варіант: чорний пар (25 %) – люцерна (25 %) – чорний пар (25 %) – люцерна (25 %); зонування території на чотири однакові частини схилу з чергуванням чорного пару і люцерни та у підніжжя розміщення п'ятої зони – лісового буферу тощо.

Люцерна – кормова культура, яка сприяє покращенню структури ґрунту, особливо його фізичних властивостей, захищає від водної ерозії, збагачує ґрунт органічною речовиною та азотом [33]. Дану культуру дає дуже гарний результат для мінімізації ерозійних процесів на крутих схилах.

Forest buffer (лісовий буфер) на відміну від звичайних лісонасаджень, це територія, що включає в себе чагарники, дерева та іншу рослинність, та прилягає до водного об'єкта, фільтруючи пестициди, поживні речовини та відходи зі стоку сільськогосподарських угідь, укріплює та стабілізує берегову лінію, зменшує водну ерозію, фільтрує осад зі стоків тощо, яку доцільно розміщувати у підніжжя схилу [34].

На рисунках 4.1-4.4 показано просторовий процес змиву чорноземів, характерних для поля № 1, при застосуванні запропонованих протиерозійних заходів.

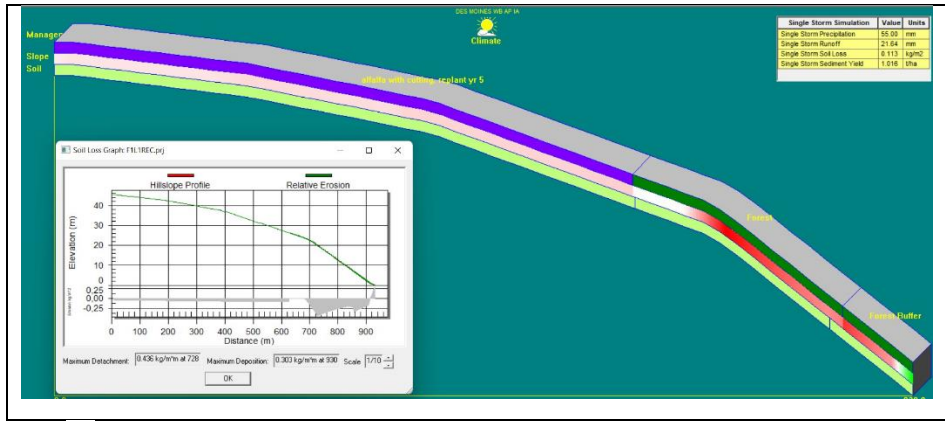


Рис. 4.1 – Просторовий процесу змиву ґрунту поля № 1 для схилу 1 (alfalfa – forest – forest buffer)

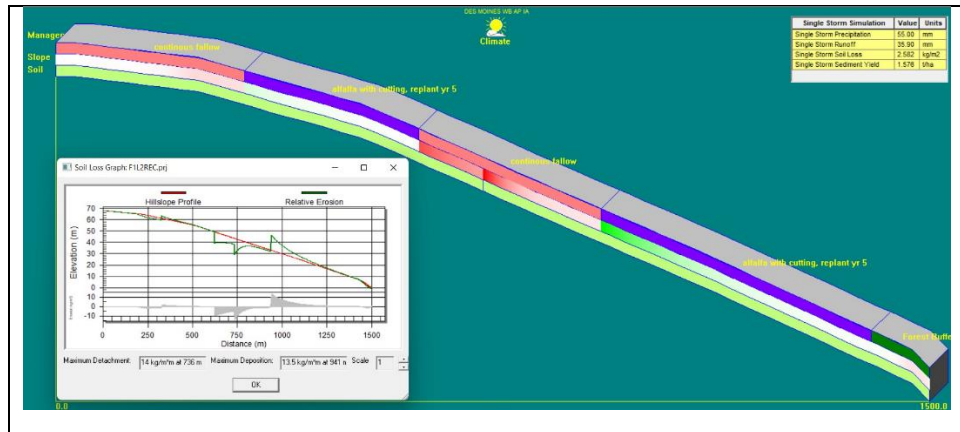


Рис. 4.2 – Просторовий процесу змиву ґрунту поля № 1 для схилу 2 (fallow –alfalfa – fallow – alfalfa – forest buffer)

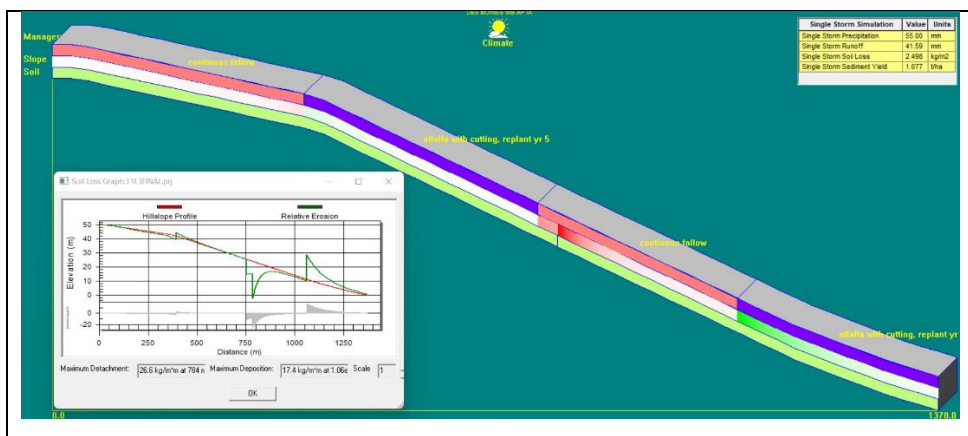


Рис. 4.3 – Просторовий процесу змиву ґрунту поля № 1 для схилу 3 (fallow –alfalfa – fallow – alfalfa)

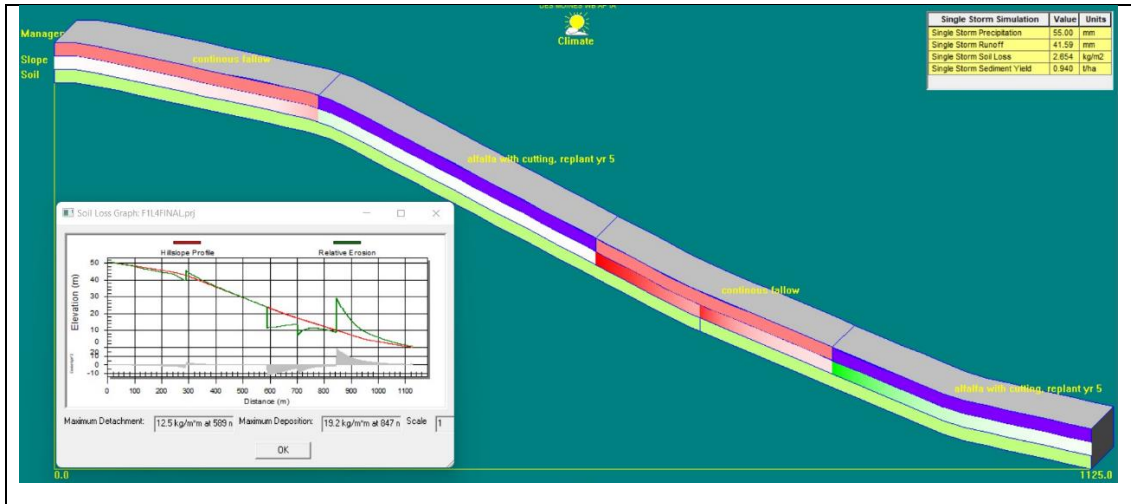


Рис. 4.4 – Просторовий процесу змиву ґрунту поля № 1 для схилу 4 (fallow –alfalfa – fallow – alfalfa)

Бачимо, що найкращий результат виявлено на моделі просторового процесу змиву ґрунту поля № 1 для схилу 1 (alfalfa – forest – forest buffer) (рис. 4.1). За таких умов значення ерозійних втрат ґрунту складають 0,1 кг/м², а транзитні втрати – 1 т/га.

На рисунках 4.5-4.8 показано просторовий процес змиву чорноземів, характерних для поля № 2, при застосуванні запропонованих протиерозійних заходів.

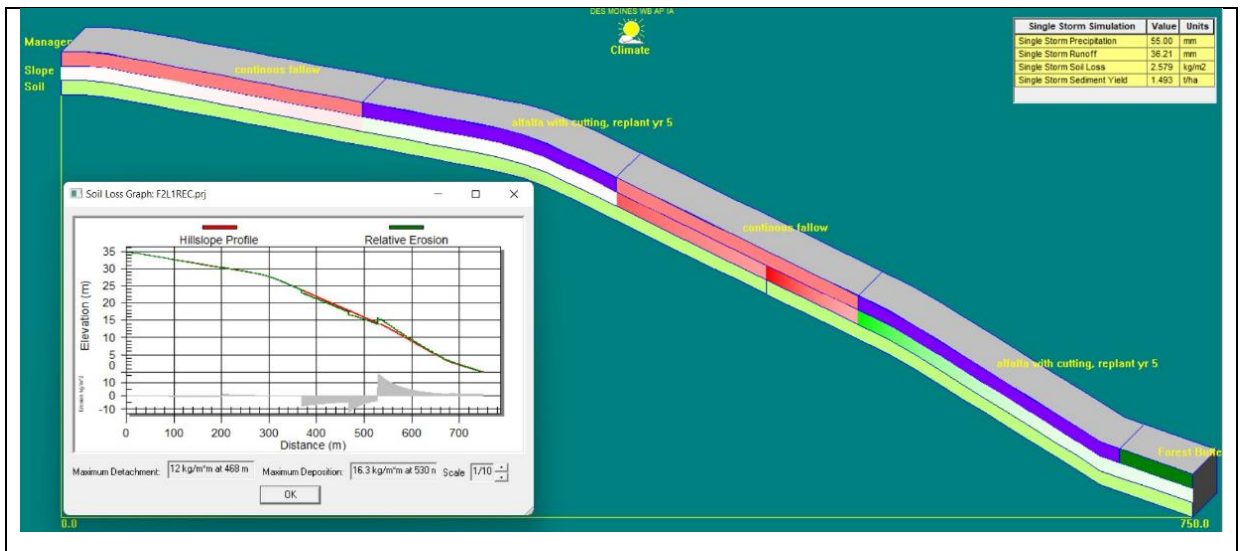


Рис. 4.5 – Просторовий процесу змиву ґрунту поля № 2 для схилу 1 (fallow –alfalfa – fallow – alfalfa – forest buffer)

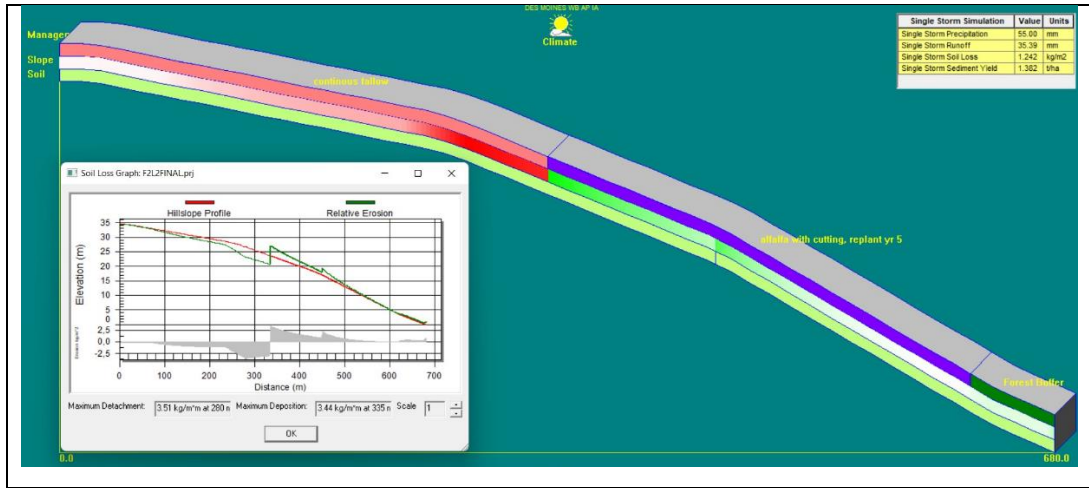


Рис. 4.6 – Просторовий процесу змиву ґрунту поля № 2 для схилу 2 (fallow – alfalfa – forest buffer)

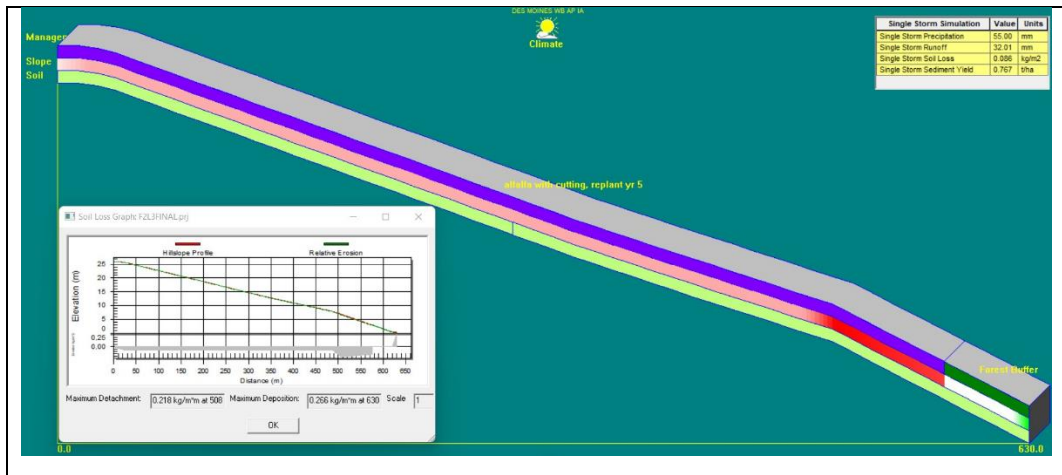


Рис. 4.7 – Просторовий процесу змиву ґрунту поля № 2 для схилу 3 (alfalfa – forest buffer)

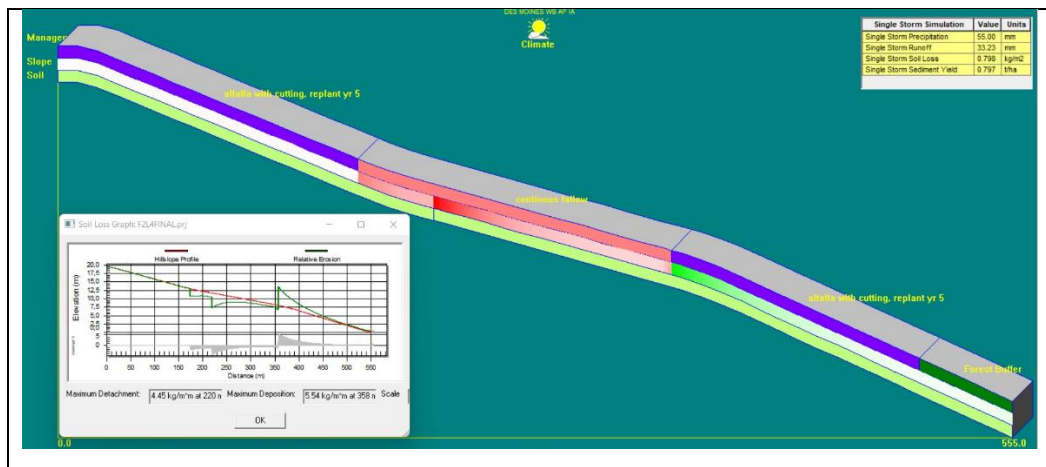


Рис. 4.8 – Просторовий процесу змиву ґрунту поля № 2 для схилу 4 (alfalfa – fallow – alfalfa – forest buffer)

Отже, найменші ерозійні втрати ґрунту спостерігаються на моделі просторового процесу змиву ґрунту поля № 2 для схилу 4 (alfalfa – forest buffer) на рисунку 4.7. За таких умов значення ерозійних втрат ґрунту складають $0,1 \text{ кг/м}^2$, а транзитні втрати – $0,8 \text{ т/га}$. Просліджується загальна тенденція, що після умов чорного пару, відбувається намив ґрунту.

Бачимо, що при застосуванні кожного сценарію протиерозійного облаштування території, значно зменшуються ерозійні втрати ґрунтів. Найкращим варіантом протиерозійного облаштування даної території буде чергування сівозміни. Найбільш економічним варіантом серед запропонованих, що дає непоганий результат, включаючи в себе різноманітну зональність, яка включає чергування на чотирьох однакових ділянках люцерни і чорного пару та у підніжжя схилу розміщення лісового буферу, який буде укріплювати берегову лінію, фільтрувати осад та зменшувати ерозію чорноземів (рис. 4.5).

У таблиці 4.1 представлені середні значення обсягу поверхневого стоку, ерозійних та транзитних втрат ґрунту, після застосування всіх протиерозійних заходів для поля № 1 та № 2.

Таблиця 4.1

Результати моделювання після впровадження протиерозійних заходів

Показник	Поле 1	Поле 2
Обсяг зливи, мм	55	55
Обсяг поверхневого стоку, мм	35,2	34,2
Ерозійні втрати ґрунту, кг/м^2	2	1,2
Транзитні трати ґрунту, т/га	1,2	1,1

При порівнянні результатів дослідження до та після впровадження запропонованих сценаріїв протиерозійних заходів, бачимо, що середні значення ерозійних та транзитних втрат ґрунту значно зменшились. На такий результат вплинула зональність запропонованих заходів, вирощування люцерни на верхній

частині схилу, яка, завдяки волокнистій корінній системі стримує ґрунт та запобігає ерозії та розміщення лісової буферної зони у підніжжя схилу.

На рисунку 4.9 зображено порівняння середніх значень транзитних втрат досліджуваних ґрунтів після застосування вирощування люцерни та висадки лісу з градаціями допустимих норм ерозії для чорноземів типових.

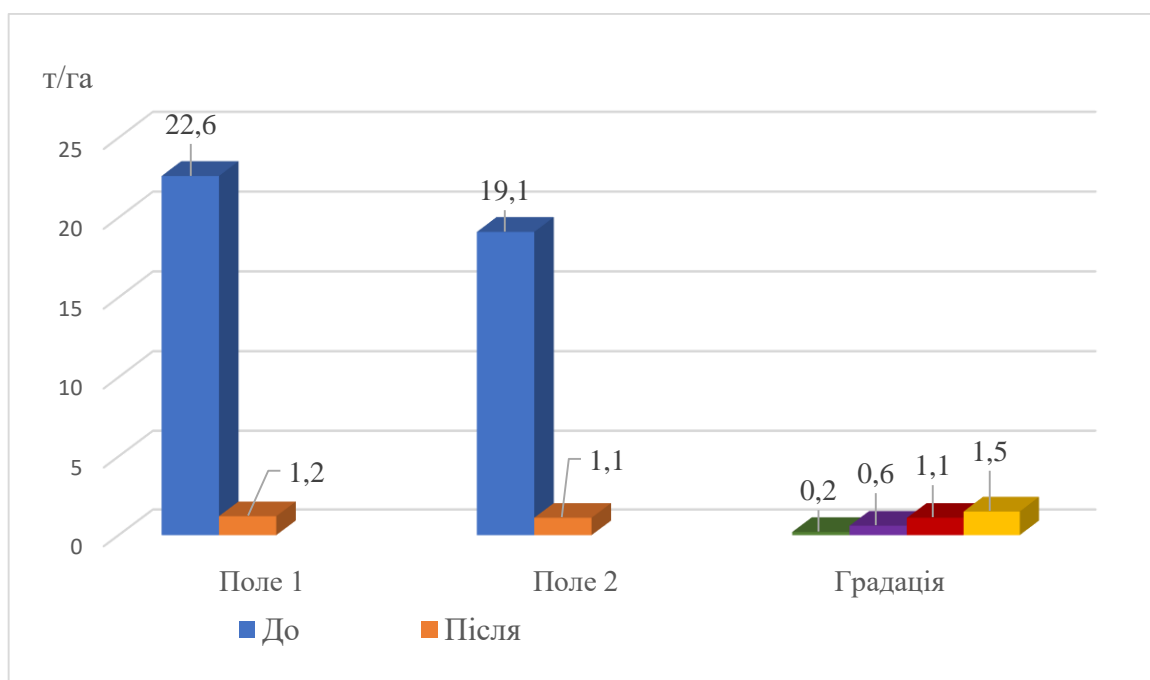


Рис. 4.9 – Порівняння середніх значень транзитних втрат ґрунтів після застосування вирощування люцерни та висадки лісу з градаціями допустимих норм

Порівнюючи значення до застосування та після впровадження вищезазначених протиерозійних заходів бачимо, що при їх застосуванні значно зменшуються показники втрат ґрунту, а еродованість даних земель, відповідно до градацій допустимих норм ерозії для чорноземів типових, характеризується як «середня». Тому, для досліджуваної території сільськогосподарського призначення, враховуючи всі особливості представлених ґрунтів, запропоновані заходи є ефективними.

ВИСНОВКИ

1. Середні значення ерозійних втрат ґрунту внаслідок 10 % зливи при умові чорного пару становлять на полі № 1 – 27 т/га, а транзитні втрати – 22,6 т/га. Для поля № 2, характерні середні значення ерозійних втрат ґрунту складають 23 т/га, транзитні втрати – 19,1 т/га.

2. Середні значення транзитних втрат ґрунту при порівнянні з градаціями допустимих норм ерозії для чорноземів типових значно перевищують допустимі норми (майже в 14 разів). Отже, еродованість досліджуваних ґрунтів характеризується як «сильна». Тому доцільно застосовувати протиерозійні заходи для покращення якості ґрунтів досліджуваної ділянки.

3. Вважаючи, що досліджуваний полігон є типовим агроландшафтом для Харківського району Харківської області можна припустити, що аналогічна ситуація може спостерігатись й на інших полях зазначеної території, що вимагає їх протиерозійного захисту.

4. Аналіз можливих сценаріїв протиерозійного захисту досліджуваних полів показав, що оптимальним варіантом буде заліснення нижньої найбільш крутої частини схилу та вирощування люцерни на більшій частині території. За таким сценарієм втрати ґрунту зменшуються в 18 разів: для першого поля – з 22,7 т/га до 1,2 т/га, а для поля № 2 – з 19,1 т/га до 1,1 т/га.

5. Головною рекомендацією для виробництва є обов'язкове розроблення сценаріїв протиерозійного захисту сільськогосподарських угідь за допомогою математичного моделювання ерозійних процесів. Відповідно подальші конкретні рекомендації щодо раціонального землекористування залежатимуть від отриманих результатів, а також від економічних та соціальних особливостей кожного досліджуваного сільськогосподарського підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Деградація ґрунтів. *Головний сайт для агрономів* : веб-сайт. URL: <https://superagronom.com> (дата звернення: 11.09.2022)
2. Ерозія ґрунту. *Агроконсалтинг* : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/0Kh1ql9> (дата звернення: 17.09.2022)
3. 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>
4. 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.
5. Бакка М. Т., Стрельченко В. П., Божок П. Т. Основи ведення сільського господарства та охорона земель : навч. посіб. Житомир, 2000. 366 с.
6. Забруднення літосфери та її наслідки. *Vuzlit* : веб-сайт. URL: <https://vuzlit.com> (дата звернення: 23.09.2022)
7. Питання вітрової ерозії. URL: <https://cutt.ly/mMvGco1> (дата звернення: 27.09.2022)
8. Вітрова ерозія – чому виникає і що робити. *Скажений агроном* : веб-сайт. URL: <https://crazyagro.com/vitrova-eroziya/> (дата звернення: 29.09.2022)
9. Ерозія ґрунтів. URL: <https://kegt.rshu.edu.ua> (дата звернення: 01.10.2022)
10. Ерозія ґрунтів і заходи боротьби з нею : веб-сайт. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ros1/wp-content/uploads/sites/20/lekcija-11.eroziya-gruntiv-i-zahody-borotby-z-neju.pdf> (дата звернення: 01.10.2022)
11. Деградація ґрунтів. *Головний сайт для агрономів* : веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/degradaciya-gruntiv-id20241> (дата звернення: 04.09.2022)

12. Ерозія ґрунту. *Агроконсалтинг* : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/0Kh1ql9> (дата звернення: 18.09.2022)
13. Лищук Т. М. Оцінка агроекологічного стану ґрунтів ФГ «Рибчака П. І.» Теплицького району : дипломна робота / Вінницький національний аграрний університет. Вінниця, 2019. 66 с.
14. Водна ерозія ґрунтів. *Блог про природу* : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/JMvHqz7> (дата звернення: 03.10.2022)
15. Україна – аграрна держава. *Наукова бібліотека* : веб-сайт. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/biblioteka/1044/> (дата звернення: 03.10.2022)
16. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 році. Київ : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2021. 420 с.
17. Еродованість ґрунтів України. *Головний сайт для агрономів* : веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/karty/erodovanist-gruntiv-ukrainy> (дата звернення: 05.10.2022)
18. Ерозія ґрунтів – загроза їх родючості. *Голос України*. URL: <http://www.golos.com.ua/article/193664> (дата звернення: 09.10.2022)
19. Ерозія. *Вікіпедія* : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/4BA1mpG> (дата звернення: 10.10.2022)
20. Світличний О. О., П'яткова А. В. Прикладне ерозієзнавство : навчальний посібник. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2020. 137 с.
21. 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.
22. 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>
23. 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)

24. Ачасов А. Б., Куришко Р. В. Картографічне забезпечення процесу математичного моделювання водної ерозії. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. № 3-4. 2012. С. 13-17.

25. Шахбазян А. А., Ачасов А. Б. Оцінка ерозійної небезпеки земель сільськогосподарського призначення на основі моделі прогнозування водної ерозії (WEPP). *Сучасні проблеми екології*: зб. матеріалів XVIII Всеукр. наук. on-line конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю. Житомир, 2022.

26. Ачасов А. Б. Ґрунтово-геоінформаційні 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.

27. Люботин. *Wikipedia* : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/PB0HMM8> (дата звернення: 19.10.2022)

28. WEPP. *Wikipedia* : веб-сайт. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/WEPP> (дата звернення: 20.10.2022)

29. Dennis C. Flanagan, James R. Water Erosion Prediction Project (WEPP) : Windows Interface Tutorial. Indiana, 2002. 75 p.

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

31. 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.

32. ДСТУ 7081:2009. Якість ґрунту. Ерозія ґрунту. Допустимі норми. [Чинний від 2010-07-01]. Київ, 2010. 11 с.

33. Люцерна. *Riva* : веб-сайт. URL: <http://www.riva.net.ua/liutsierna/p504> (дата звернення: 12.11.2022)

34. Riparian Forest Buffers. USDA : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/IMvHkFf> (дата звернення: 12.11.2022)