

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ
ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛІ WERP**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
щодо виконання практичних робіт

Харків – 2024

УДК 502.521:504.121

М 74

Рецензенти:

С. Ю. Булигін – академік НААН України, доктор с.-г. наук, професор;

Б. О. Шуліка – кандидат геогр. наук, старший викладач ФГГРТ.

*Затверджено до друку рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 8 від 18 травня 2022 року)*

М 74 **Моделювання** процесів водної ерозії за допомогою моделі WEPP : методичні вказівки щодо виконання практичних робіт / уклад. А. Б. Ачасов, Г. В. Тітенко, О. Ю. Селіверстов, Д. О. Мельник, А. Г. Кот. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. – 28 с.

Методичні вказівки призначені для формування в майбутніх фахівців теоретичних знань і практичних навичок використання моделі WEPP з метою одержання інформації, необхідної для прийняття рішень щодо оцінки стану та використання природних ресурсів. Практичні роботи з курсу здобувачі виконують із застосуванням сучасного комп'ютерного обладнання за допомогою програм, дозволених для вільного використання з навчальною метою.

УДК 502.521:504.121

© Харківський національний
університет імені В. Н. Каразіна, 2024
© Ачасов А. Б., Тітенко Г. В., Селіверстов О. Ю.,
Мельник Д. О., Кот А. Г., уклад., 2024
© Дончик І. М., макет обкладинки, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. СТРУКТУРА МОДЕЛІ WEPP	5
1.1. Загальні відомості про WEPP	5
1.2. Профільна версія моделі WEPP	5
2. ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ З МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОФІЛЬНОЇ ВЕРСІЇ МОДЕЛІ WEPP	11
2.1. Підготовка даних щодо території, яка досліджується, для роботи з моделлю WEPP	11
2.2. Робота з комп'ютерною програмою WEPP	12
3. ПРИКЛАД ПРОВЕДЕННЯ КОМП'ЮТЕНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОФІЛЬНОЇ ВЕРСІЇ МОДЕЛІ WEPP	19

ВСТУП

Проблема ерозії ґрунтів є однією з найактуальніших проблем сучасності. Інтенсифікація ерозійних процесів та їх поширення на величезні території призводять до істотної деградації ґрунтів, спричинюють великі збитки в сільському господарстві та загалом ставлять під загрозу безпечний розвиток людства. У світі найбільшу вагу серед процесів деградації мають процеси водної та вітрової ерозії (56% та 28% відповідно).

На жаль, ерозія ґрунтів є однією з головних екологічних проблем в Україні. Боротьба з будь-яким негативним процесом вимагає наявності вичерпної інформації про нього. Для захисту території від водної ерозії необхідно знати, як тривають процеси змиву, перенесення та відкладення ґрунту в часі та просторі. При цьому бажано не лише констатувати результат в ході досліджень, але й робити прогноз ерозійних процесів залежно від конкретних умов. Такий прогноз дозволить розробити різні сценарії протиерозійного захисту території. Одним з найпотужніших засобів моделювання водної ерозії є програмний комплекс WEPP (Water Erosion Prediction Project), основу якого складають 4 блоки:

- блок «ГРУНТ» характеризує ґрунтовий покрив території, а саме протиерозійну здатність ґрунтів, які входять до його складу;
- блок «РЕЛЬЄФ» описує схил практично будь-якої конфігурації і характеризується двома показниками: довжиною та нахилом поверхні;
- блок «КЛІМАТ» призначений для прогнозування обсягів та інтенсивності випадання злив, інфільтрації і стоку;
- блок «АГРОТЕХНІКА» містить інформацію про тип рослинності, вид обробітку ґрунту, стан поверхні ґрунту на момент моделювання.

Одержані результати мають використовуватись при математичному моделюванні процесів водної ерозії за допомогою моделі WEPP. Результати такого моделювання об'єктивно та кількісно характеризують просторово-часову картину розвитку ерозійних процесів на досліджуваній території та можуть слугувати основою для протиерозійного захисту території.

1. СТРУКТУРА МОДЕЛІ WEPP

1.1. Загальні відомості про WEPP

Модель WEPP (Water Erosion Prediction Project) – проект прогнозу водної ерозії (Nearing et al., 1989), розроблена національною лабораторією дослідження ерозії ґрунтів США з метою заміни моделі USLE (Universal Soil Loss Equation – універсальне рівняння втрат ґрунту, (Flanagan, Laflen, 1993)), що раніше використовувалась для цих цілей і призначена для використання службою охорони ґрунтів США.

Модель WEPP, заснована на пізнанні об'єктивних природних законів фізики і, зокрема, фізики ерозійно-акумулятивних процесів, радикально відрізняється від емпіричної моделі USLE і, в силу цього, є досить універсальною, щоб її застосування стало можливим не тільки в США, але й в інших державах.

WEPP – модель щоденної імітації, що обчислює стан ґрунту, рослин і стан поверхні, що важливо для прогнозу, виносу і відкладення ґрунту в просторово-тимчасових координатах (Flanagan, Laflen, 1993). Мережа змиву (чи намиву) ґрунту представляється в моделі мінімум 100 точками, розташованими вниз по схилу, і визначається після кожної зливи, що викликає ерозію. До кінця періоду імітації ці значення використовуються для одержання щоденних, щомісячних, щорічних і / чи середньорічних результатів.

Модель WEPP реалізована у вигляді пакета програм для персональних комп'ютерів типу IBM PC 386 і вище, що працює в середовищі операційної системи MS DOS та Windows, об'єднаних однією інтегрованою оболонкою, що дозволяє вносити вихідні дані для моделювання, проводити моделювання і переглядати його результати. Вихідні дані формуються за допомогою генератора файлів даних і являють собою файли в ASCII-кодах, які можна аналізувати і корегувати як за допомогою генератора файлів WEPP, так і за допомогою будь-якого текстового редактора. Результати моделювання записуються у вихідні файли і являють собою файли в ASCII-кодах і графіки.

Моделювання може здійснюватися для трьох основних видів землекористування: рілля, пасовище, ліс.

1.2. Профільна версія моделі WEPP

Численні дослідження показали, що WEPP може стати надійним «інженерним» інструментом, за допомогою якого можливо проводити моделювання різноманітних сценаріїв протиерозійного упорядкування агроландшафтів.

Найпростішим варіантом подібного сценарію є імітація реальної зливи певного ступеня вірогідності для конкретного поля з моделюванням різних типів агрофону на ньому. Подібна операція дозволить оцінити просторові ерозійні втрати ґрунту при певному типі агрофону та надасть змогу надалі планувати протиерозійні заходи для даної території.

Для такого моделювання можна використовувати профільну версію моделі WEPP, яка дозволяє імітувати процеси змиву для ділянки, яка має довжину та форму відповідно зі схилом та шириною до 100 м.

При моделюванні ерозійних процесів модель WEPP працює із декількома блоками даних, основними з яких є: «ГРУНТ», «РЕЛЬЄФ», «КЛІМАТ», «АГРОТЕХНІКА». Як видно з назв блоків, кожний з них характеризує певний шар інформації про стан агроландшафту, що впорядковується.

1.2.1. Блок «ГРУНТ»

Характеризує ґрунтовий покрив території, а саме протиерозійну здатність ґрунтів, що його складають. Цей блок моделі WEPP визначає зміну найважливіших гідрологічних і ерозійних параметрів в основному під впливом обробітки й усадки з часу обробітки (унаслідок перебігу часу, злив, зволоження і висихання тощо) залежно від погодних умов.

Для створення блоку «ГРУНТ» необхідно заповнити для кожного виділу ґрунту, які виділені на схилі, що вивчається, відповідну базу даних:

- альbedo ґрунту;
- вологість ґрунту на початок моделювання;
- коефіцієнт міжструмкової ерозії;
- коефіцієнт струмкової ерозії;
- критичний зсув;
- коефіцієнт водопроникності насиченого ґрунту.

Для кожного горизонту (шару) ґрунту задаються такі параметри:

- потужність горизонту;
- вміст піску, глини;
- вміст вуглецю;
- ємність катіонного обміну, мекв/100г;
- кам'янистість.

Параметри ерозійної стійкості ґрунту (коефіцієнт міжструмкової ерозії, коефіцієнт струмкової ерозії, критичний зсув), що входять у модель WEPP, визначаються методом фізичного моделювання зливової ерозії за оригінальною американською технологією або ж розраховуються за вмістом органічного вуглецю та гранулометричним складом.

1.2.2. Блок «РЕЛЬЄФ»

Для створення блоку «РЕЛЬЄФ» заповнюється відповідна база даних. Для всього схилу задається:

- експозиція схилу;
- ширина профілю.

Схил, що має складну форму, поділяється на однорідні, за нахилом, відрізки. Кожен відрізок характеризується двома показниками: довжиною та нахилом поверхні. Довжина першого відрізка відраховується від початку схилу, довжина наступного – від кінця попереднього. Результируюча довжина схилу являє собою сумарну довжину відрізків.

Програмна оболонка WEPP має у своєму розпорядженні засоби, що дозволяють побачити графічне зображення описаної конфігурації схилу.

Як видно з вищевикладеного, таким способом можна описати схил практично будь-якої конфігурації, отже, підготовка вихідних даних для моделювання, що описують рельєф, не викликає жодних ускладнень.

1.2.3. Блок «КЛІМАТ»

Призначений для прогнозування обсягів і інтенсивностей випадання злив, інфільтрації і стоку. WEPP використовує програму генерації погоди, названу CLIGEN (Climate Generator), для прогнозування щоденних значень зливи, температури, сонячної радіації, параметрів вітру.

CLIGEN обробляє багаторічні дані спостережень більше ніж 1000 метеостанцій США, що містяться в комп'ютерних базах даних, для одержання статистичних параметрів, використовуваних для прогнозу кліматичних перемінних. Метеостанція, місце розташування якої відповідає місцевості, для якої проводиться моделювання, вибирається користувачем, потім за допомогою CLIGEN проводиться імітація кліматичних умов, у результаті чого виходить набір наступних значень для кожного з 12 місяців року, що моделюється:

- середньомісячні мінімальні і максимальні значення температури повітря;
- середньомісячне значення сонячної радіації;
- середньомісячна кількість опадів.

Важливою особливістю CLIGEN є те, що крім тривалої імітації клімату він дозволяє одержати прогноз для одного конкретного дня, для чого у вихідних даних для моделювання клімату (крім середньомісячних значень) указуються наступні значення кліматичних параметрів для конкретної дати:

- кількість і тривалість випадання опадів;
- відношення тривалості зливи до пікової тривалості зливи;

- відношення максимальної інтенсивності зливи до середньої інтенсивності зливи;
- сонячна радіація;
- швидкість і напрямок вітру;
- точка роси.

Таких дат у межах однієї імітації може бути описано безліч, і для кожної вказуються перераховані вище показники.

Більше того, існує можливість моделювання одиничної події (зливи), для чого у вихідних даних крім показників для одноденної імітації, перерахованих вище, необхідно вказати конкретні моменти часу (в описуваний день) і кумулятивну кількість опадів у кожен момент часу.

Інформація про погодні умови для заданої дати потім використовується для обчислення інтенсивності інфільтрації та поверхневого стоку. Інфільтрація розглядається при обчисленні як двоступінчастий процес, що складається у визначенні інфільтрації до і після повного насичення ґрунту водою. Основним параметром інфільтрації є гранична водопроникність.

Компонент зимових процесів моделі WEPP використовується для моделювання стоку й ерозії в тих місцевостях, де переважає ерозія від сніготанення. Тобто де особливо важливо враховувати зимові процеси. Зимові процедури WEPP прогнозують замерзання і відтавання в шарах ґрунту, нанос і танення снігу. В обчисленнях також враховується гранична водопроникність при замерзанні ґрунту і параметр збільшення ерозійної небезпеки, коли поверхня ґрунту знаходиться в замерзлому стані чи відтає.

1.2.4. Блок «АГРОТЕХНІКА»

Містить інформацію про тип рослинності, вид обробітку ґрунту, стан поверхні ґрунту на момент початку моделювання тощо. Блок «АГРОТЕХНІКА» має складну структуру і складається з декількох баз даних, що перебувають у реляційному співвідношенні.

Модель WEPP прогнозує зріст рослин шляхом визначення потенційної біомаси як функції фотосинтетичної активності, визначення впливу вологи і тепла на ріст і показники врожайності, простежує шляхи розподілу рослинних залишків від самих останніх вирощуваних культур, від попередніх, а також від усіх культур, що передували двом останнім вирощуваним культурам.

Файл вихідних даних для проведення такого моделювання повинний містити наступні дані:

- кількість культур, вирощуваних на схилі (чи елементі рельєфу) протягом періоду, що досліджується;

– наявність (чи відсутність) іригаційної системи, її тип і режим іригації (при наявності такої);

– перелік культур, для кожної з яких задається набір параметрів, що описують властивості рослин (вирощуваних культур), на підставі яких моделлю розраховуються наступні показники:

1) оптимальна врожайність описаної культури в безпечних умовах;

2) коефіцієнт покриття рослинністю, відстань між рослинами в рядку;

3) висота рослинності, діаметр стебла зрілої рослини, максимальна площа листя;

4) відношення біомаси до енергії;

5) основна денна температура повітря, оптимальна температура для росту рослин;

6) параметр покриття рослинними залишками, вага післязбиральних залишків;

7) фактор максимального тертя живої рослини;

8) показники зміни поверхневої і підповерхневої біомаси, показник специфічної посухостійкості, максимальна глибина кореневмісного шару тощо;

– перелік обробок (оранок), що проводились на даній території за період моделювання, для кожної з яких указується: дата оранки, глибина оранки, тип обробки, середня шорсткість і висота брил після оранки, міжрядний інтервал;

– кількість рядків рослин, кількість міжрядь, кількість рядків культиватора, розташування культиватора;

– перелік контурів (комбінацій довжини схилу, крутості схилу, висоти гребеня в одному елементі рельєфу), для кожного контуру вказуються ухил контуру, відстань між рядами, довжина ряду, висота гребеня;

– для кожного елемента рельєфу задається набір початкових умов періоду імітації:

1) сільськогосподарське використання, система землеробства, що застосовувалася до початку періоду імітації (щорічна обробка, луг, чорний пар);

2) початкове покриття рослинністю, початкове міжструмкове та струмкове покриття;

3) тип рослинних решток, що знаходилися в ґрунті на початок імітації;

4) кількість днів після останньої оранки, кількість днів після останнього збирання;

5) початкова шорсткість і висота рослинних залишків після останньої оранки;

6) питома щільність після останньої оранки, кумулятивна кількість опадів після останньої оранки;

7) початкова висота снігу, початкова глибина промерзання, початкова глибина відтавання;

– кількість врожаїв, вирощуваних на даному схилі (елементі) протягом одного року, для кожного з яких указується: тип культури (з переліку культур), система землеробства, тип оранки (з переліку), тип контуру (з переліку), глибина вторинної оранки, глибина первинної оранки, дата посадки, дата збирання, ширина рядів, а також можливі варіанти обробки післязбиральних залишків.

Як бачимо, блоки «КЛІМАТ» та «АГРОТЕХНІКА» WEPР мають досить складну структуру.

2. ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ З МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОФІЛЬНОЇ ВЕРСІЇ МОДЕЛІ WEPP

2.1. Підготовка даних щодо території, яка досліджується, для роботи з моделлю WEPP

Для виконання практичної роботи з визначення ерозійної ситуації для певної території на першому етапі студентам роздаються завдання щодо формування блоків даних «ГРУНТ» та «РЕЛЬЄФ».

Завдання роздаються у вигляді топографічних карт, масштабом 1:10000-1:25000 з нанесеними на них трьома профілями, що прокладені вздовж схилу. Вибір профілю рекомендується проводити залежно від типу місцевості, що вивчається. Найкраще обирати профілі, які були б репрезентативними для даної території та, водночас, відрізнялись за формою між собою. Бажано також, щоб профілі мали достатньо складну форму для більш повного уявлення дії механізмів ерозії.

До топографічної карти додається ґрунтова карта тієї самої території, а також дані, стосовно головних фізико-хімічних та хімічних властивостей ґрунтів, що представлені на даній території.

Завдання студента полягає в:

- 1) визначенні форми схилу та виділенні на ньому відрізків з однаковою крутизною;
- 2) кількісній оцінці довжини та нахилу всіх цих відрізків;
- 3) суміщенні топографічної та ґрунтової карти даної території;
- 4) визначенні кількості ґрунтових ареалів, що перетинаються заданим профілем;
- 5) створення бази даних щодо параметрів всіх ґрунтів, які розташовані на заданому профілі.

Визначення таких параметрів, як: довжина схилу, нахил схилу, кількість відрізків схилу з однаковою крутизною (форма схилу), не потребує ніякого спеціального обладнання і можуть бути виконані студентом на основі знання масштабу карти та наявності таких інструментів, як лінійка та вимірювач.

В результаті виконання всіх цих завдань студентом буде сформовано блоки «РЕЛЬЄФ» та «ГРУНТ» для подальшого їх використання в моделі WEPP.

Блоки «КЛІМАТ» і «АГРОТЕХНІКА», в силу їх складної структури, рекомендується не заповнювати самостійно, а вибрати серед існуючих в базах даних моделі WEPP.

2.2. Робота з комп'ютерною програмою WEPP

Комп'ютерний варіант моделі WEPP реалізований у вигляді програми, яка адаптована під операційну систему Windows для IBM та IBM-сумісних персональних комп'ютерів.

Щоб розпочати роботу з програмою, потрібно натиснути кнопку «Пуск», вибрати команду «Программы» і знайти програму «WEPP Interface», а потім клацнути її значок.

Після цього на екрані з'явиться стартове меню (рис. 2.1):

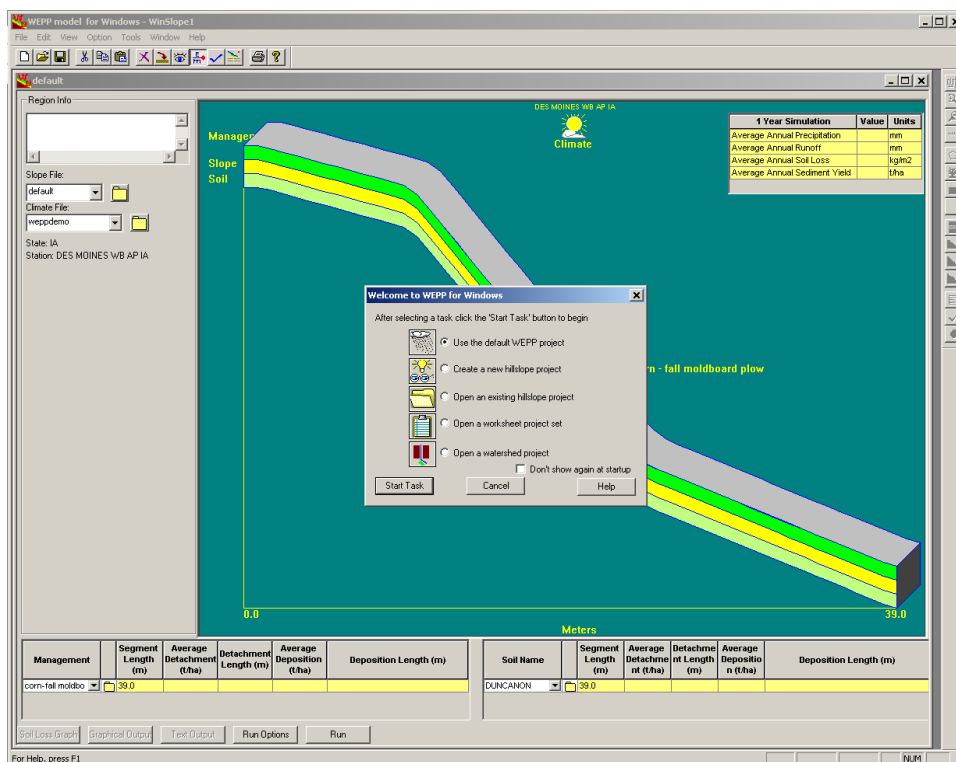


Рис. 2.1. Стартове меню «WEPP Interface»

Для роботи зі схиловою версією моделі потрібно обрати пункт меню **Use the default WEPP project** та натиснути кнопку **Start Task** (рис. 2.2), при цьому одразу ж почнеться моделювання для умов демонстраційного проекту, або натиснути кнопку **Cancel**, що також дозволить перейти до схилової версії моделі, але без автоматичного запуску моделювання.

Далі необхідно створити свій проект. Для цього потрібно заповнити бази даних по кожному з блоків моделі: «ГРУНТ», «РЕЛЬЄФ», «КЛІМАТ», «АГРОТЕХНІКА».

Для створення бази даних властивостей ґрунту, який досліджується, потрібно підвести курсор до нижнього шару (**Soil**) зображеного на екрані профілю (рис. 2.3).

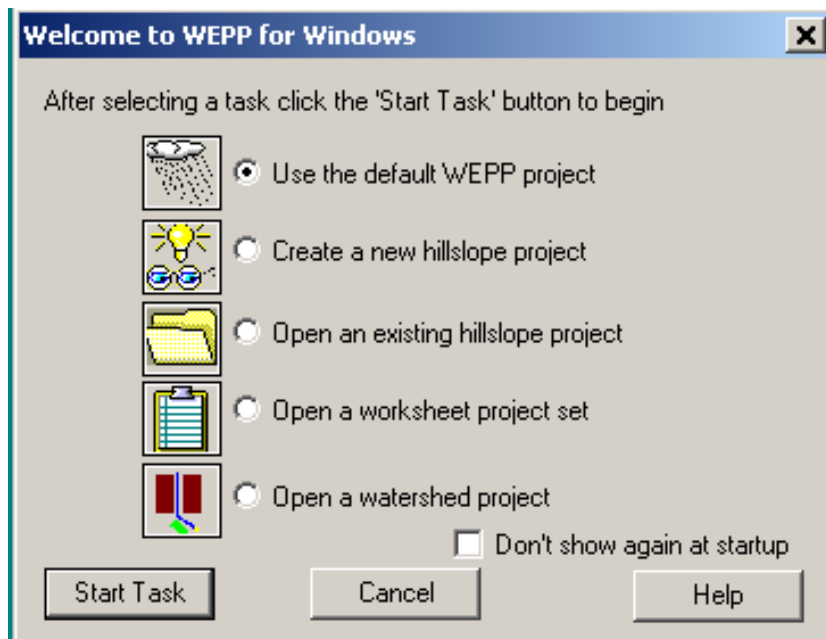


Рис. 2.2. Меню Use the default WEPP project

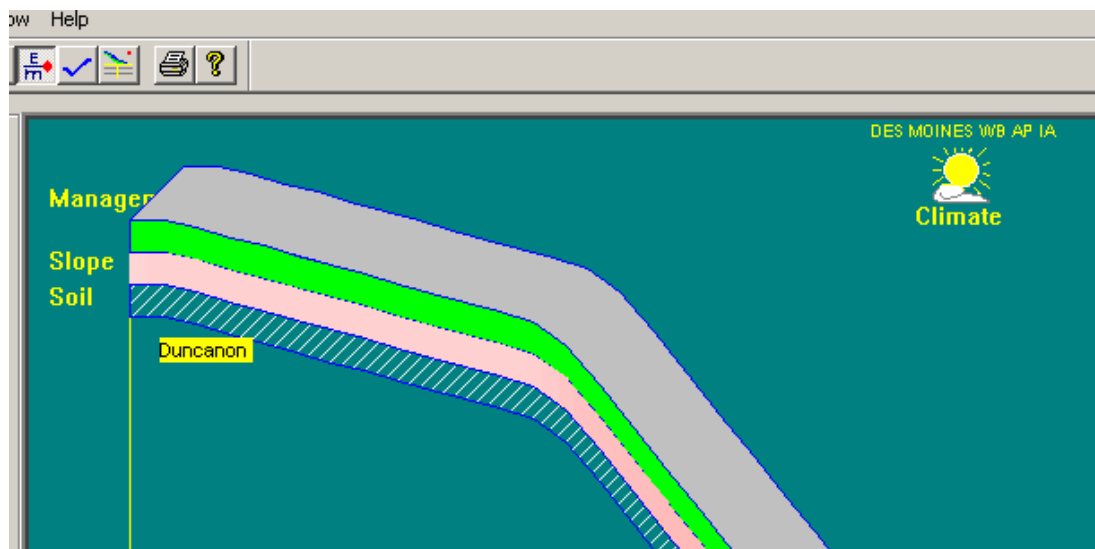


Рис. 2.3. Нижній шар (Soil)

В демонстраційному проекті файл, що відповідає базі ґрунтів, має назву **Duncanon**. Для створення свого файлу необхідно двічі клацнути на шарі **Soil**. З'явиться меню блоку «ГРУНТ» (рис. 2.4).

Для створення своєї бази даних необхідно замінити всі дані, що наведені у файлі **Duncanon**, на ті, що вказані в завданні. Після цього натиснути кнопку **Save As** та зберегти новостворений файл під ім'ям, яке ви задасте.

Після цього для підключення вашого файлу до чинного проекту необхідно натиснути кнопку **Save**.

oil Database Editor: DUNCANON.sol

Soil File Name: DUNCANON Soil Texture: SIL Albedo: 0.23 Initial Sat. Level: (%) 75

Interrill Erodibility: 5.418e+006 (Kg*s/m**4) Have Model Calculate

Rill Erodibility: 0.0202 (s/m) Have Model Calculate

Critical Shear: 3.5 (Pa) Have Model Calculate

Eff. Hydr. Conductivity: 4.62 (mm/h) Have Model Calculate

Layer	Depth(mm)	Sand(%)	Clay(%)	Organic(%)	CEC(meq/10)	Rock(%)
1	254	27.4	11.5	3.000	9.9	2.5
2	1143	34.7	17.0	1.000	6.8	2.9
3	1727	39.8	17.0	0.330	6.8	34.1
4						
5						
6						
7						
8						
9						

English Units

Print Save As Save Cancel Help

Рис. 2.4. Меню блоку «ГРУНТ»

Для моделювання необхідно обов'язково заповнити такі чарунки цієї таблиці:

1) Soil File Name – для створення та подальшого збереження вашої інформації потрібно вписати назву файлу, яку ви обираєте самі;

2) Albedo – альbedo ґрунту, %. Загальний інтервал, що рекомендується, – 0,05-0,02. Для чорноземів рекомендується прийняти альbedo рівним 0,15; для темно-сірих ґрунтів – 0,20; для дерново-підзолистих – 0,25;

3) Initial Saturation Level – вологість ґрунту на початок моделювання, %. Загальний можливий інтервал – 0-100. Рекомендується встановити значення вологості ґрунту на початок моделювання 70 %;

4) Depth – потужність кожного горизонту або шару ґрунту, см. Надається в завданні. Вводити дані необхідно підсумовуючи потужності вищерозташованих горизонтів, наприклад: горизонт Н – 450 мм, горизонт Нр – 700 мм;

5) Sand – вміст піску, % (за класифікацією USDA). Надається в завданні. Заповнюється для кожного ґрунтового горизонту або шару. Якщо в завданні надаються характеристики гранулометричного складу ґрунту за класифікаційною шкалою Качинського-Годліна, яка прийнята в Україні, то необхідно перевести ці характеристики до класифікації USDA. Для цього потрібно скласти першу (вміст часток розміром від 1 до 0,25 мм) та другу (вміст часток розміром від 0,25 до 0,05 мм) градації гранулометричного складу за Качинським-Годліним. Сума цих двох фракцій буде дорівнювати показнику **Sand**;

6) Clay – вміст глини, % (за класифікацією USDA). Надається в завданні. Заповнюється для кожного ґрунтового горизонту або шару. Якщо в завданні надаються характеристики гранулометричного складу ґрунту за класифікаційною шкалою Качинського-Годліна, яка прийнята в Україні, то необхідно перевести ці характеристики до класифікації USDA. Для цього потрібно використати емпіричну формулу перерахунку вмісту мулу (**M**) (вміст часток розміром менш 0,001 мм) за класифікацією Качинського-Годліна до вмісту глини за класифікацією USDA:

$$\text{Clay} = 0,398 + 1,099 * \text{M};$$

7) Organic Matter – вміст вуглецю, %. Надається в завданні. Заповнюється для кожного ґрунтового горизонту або шару. Якщо в завданні наведені дані про вміст гумусу (**H**) в ґрунті у відсотках, то для переведення вмісту гумусу до значень вмісту вуглецю необхідно скористатись такою формулою:

$$\text{Organic Matter} = \text{H} / 1,72;$$

8) Cation Exchange Capacity (CEC) – ємність катіонного обміну, мекв/100 г. Надається в завданні. Заповнюється для кожного ґрунтового горизонту або шару;

9) Rock – каменястість, %. Надається в завданні. Заповнюється для кожного ґрунтового горизонту або шару. Для більшості ґрунтів України цей показник можна прийняти за 0 %.

Такі параметри, як **Interrill Erodibility** (коефіцієнт міжструмкової ерозії), **Rill Erodibility** (коефіцієнт струмкової ерозії), **Critical Shear** (критичний зсув), **Effective Hydraulic Conductivity** (коефіцієнт водопроникності насиченого ґрунту), при відсутності необхідних заповнювати не слід. Напроти кожного з цих параметрів потрібно виставити галочку у вікні **Have Model Calculate**.

Необов'язковими для заповнення є також чарунка **Soil Texture** – інформація щодо назви структури ґрунту.

Для створення бази даних параметрів рельєфу досліджуваної території виконуємо аналогічні операції по відношенню до середнього шару **Slope** (рис. 2.3). В демонстраційному проекті файл, що відповідає базі рельєфу, має назву **default**. Для створення свого файлу необхідно двічі клацнути на шарі. З'явиться меню блоку «РЕЛЬЄФ» (рис. 2.5).

Потрібно виконати всі кроки, що були описані, для створення нового файлу рельєфу з даними, що були задані.

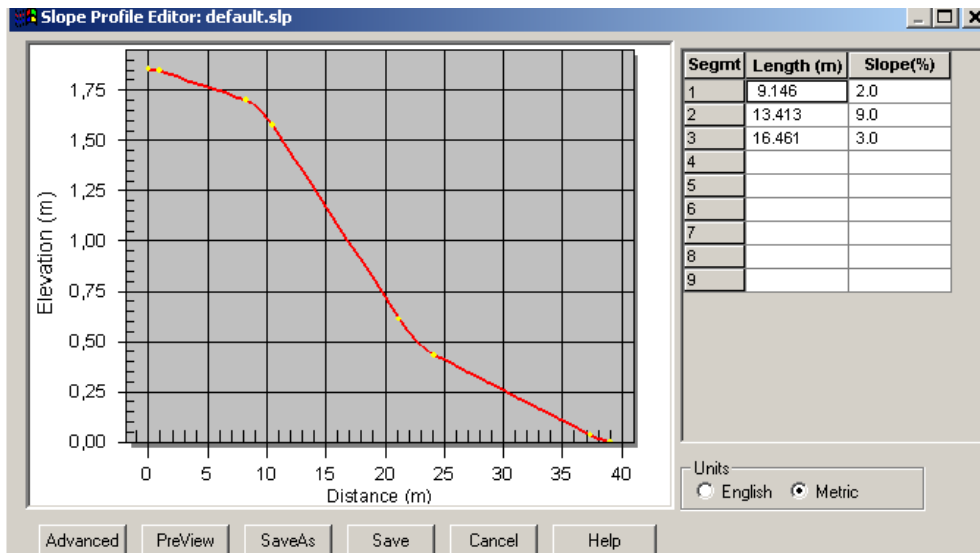


Рис. 2.5. Меню блоку «РЕЛЬЄФ»

Блоки «КЛІМАТ» і «АГРОТЕХНІКА» в силу їх складної структури рекомендується не заповнювати самостійно, а вибрати серед існуючих в базах даних моделі WEPP.

Для вибору файла агротехніки потрібно підвести курсор до верхнього шару **Management** та натиснути праву клавішу мишки. В меню, що з'явилося на екрані, вибрати пункт **Import**. Після цього вибрати файл, що відповідає завданню, тобто виду агротехнічної обробки та агрофону, які будуть моделюватись.

В демонстраційному проекті програми блок «АГРОТЕХНІКА» представлений файлом **Continuous Corn – Fall Moldboard Plow**. Рекомендується вибрати контрастні за протиерозійною дією агрофону: чистий пар та багаторічні трави. В списку файлів таким агрофонам відповідають **Fallow** і **Alfalfa With Cutting**. Вибір файлів відбувається через меню правої клавіші мишки, пункт **Import**.

Для вибору файла клімату потрібно підвести курсор до значка «сонечко» (рис. 2.3) та двічі натиснути праву клавішу мишки. З'явиться вікно редактора блоку «КЛІМАТ» (рис. 2.6).

У вікні **Installed Climates (States)** потрібно вибрати файл, що вказується в завданні, та натиснути кнопку **Save As**. Також, в залежності від завдання, потрібно вибрати термін моделювання (в роках) у вікні **Years of Simulation**. Рекомендований термін – 1 рік. Однією з додаткових можливостей WEPP є вибір моделювання разової зливи – пункт меню **Single storm**.

Для моделювання кліматичних умов Лісостепу рекомендується вибрати близький за головними параметрами файл **Oklahoma**, для умов Степу – файл **Wyoming**, для умов Полісся – **Illinois**.

Запуск процесу моделювання водної ерозії здійснюється через вибір кнопки **Run**.

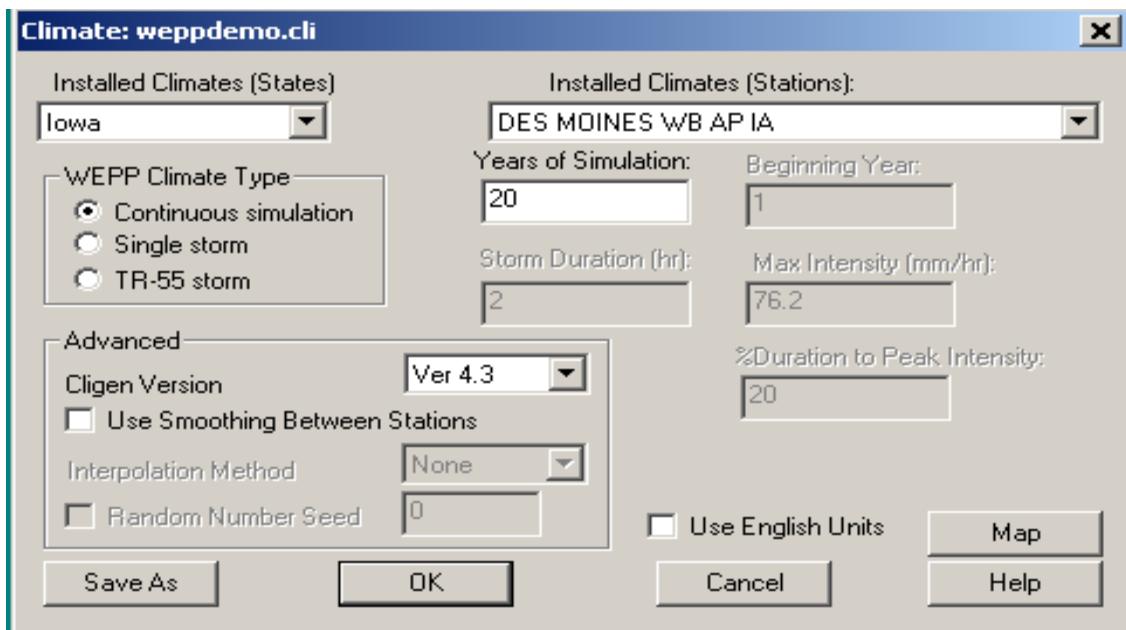


Рис. 2.6. Запуск процесу моделювання водної ерозії

Головні результати моделювання будуть відображені у верхньому правому куті екрана WEPP в таблиці (рис. 2.7). У верхньому рядку таблиці вказується:

- 1) строк моделювання – **1 Year Simulation**;
- 2) значення – **Value**;
- 3) одиниці виміру – **Units**.

1 Year Simulation	Value	Units
Average Annual Precipitation	838.20	mm
Average Annual Runoff	71.05	mm
Average Annual Soil Loss	0.583	kg/m ²
Average Annual Sediment Yield	5.827	t/ha

Рис. 2.7. Головні результати моделювання

Основними показниками результатів моделювання є:

- 1) **Average Annual Precipitation** – середньорічна кількість опадів;
- 2) **Average Annual Runoff** – середньорічний поверхневий стік;
- 3) **Average Annual Soil Loss** – середньорічні втрати ґрунту;
- 4) **Average Annual Sedimentation** – середньорічні транзитні втрати ґрунту.

Таким чином можна одержати дані щодо середньорічних питомих втрат ґрунту з даного схилу. Для оцінки просторового перерозподілу змитого та намитого ґрунту потрібно натиснути кнопку **Soil Loss Graph**. В результаті одержуємо графік втрат ґрунту, що має такий вигляд (рис. 2.8):

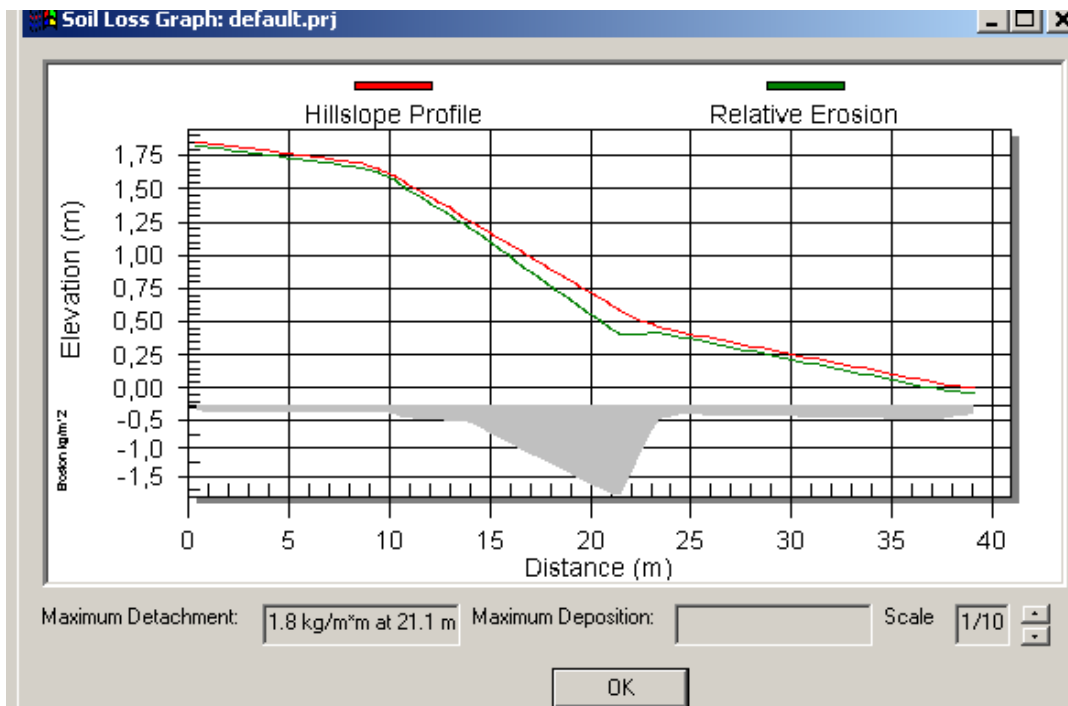


Рис. 2.8. Графік витрат ґрунту

Більш детальну інформацію стосовно результатів моделювання можна одержати, вибравши пункт **Text Output**, а в ньому опцію **WEPP Main Output**. В текстовому файлі, що з'явиться, можна одержати інформацію про кількість дощів, що було промодельовано, їх об'єм, про результати весняного сніготанення та об'єм поверхневого стоку. Також в цьому файлі представлені детальні дані щодо просторового перерозподілу змитого ґрунту, а також його гранулометричного складу.

3. ПРИКЛАД ПРОВЕДЕННЯ КОМП'ЮТЕНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОФІЛЬНОЇ ВЕРСІЇ МОДЕЛІ WEPP

Для опрацювання питання впливу різних типів агрофонів в якості своєрідного «полігону» була обрана територія Донецького інституту агропромислового виробництва (ДІАП).

Для моделювання впливу агрофону була використана профільна версія моделі WEPP, яка дозволяє імітувати процеси змиву для ділянки, яка має довжину та форму відповідно зі схилом та має ширину 100 м.



Рис. 3.1. Космічний знімок полігону, який розташований на території ДІАП (АБ – профіль схилу, який вивчався)

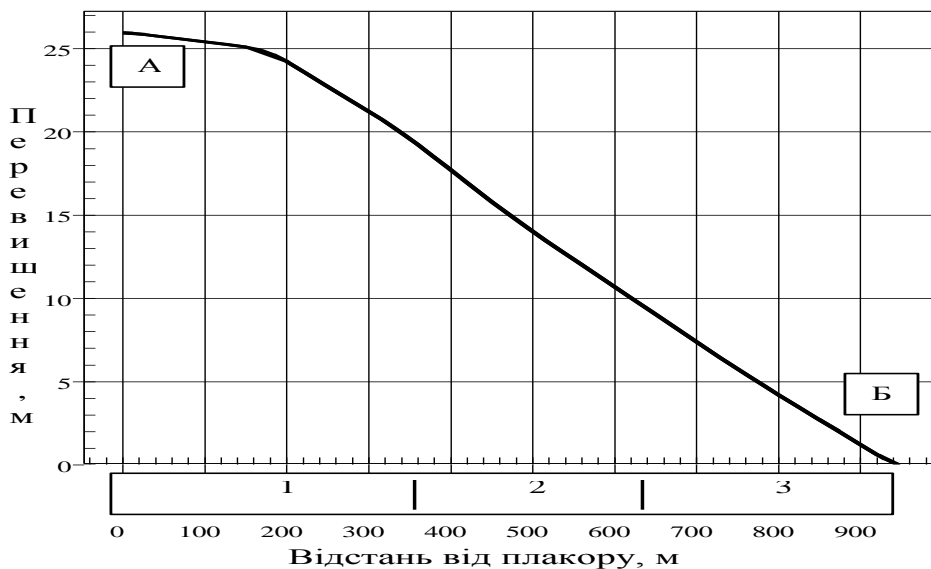


Рис. 3.2. Профіль схилу, який вивчався

На рис. 3.1 представлений космічний знімок території дослідного господарства ДІАП. Для моделювання ерозійних процесів на цьому полі нами був обраний схил, що відмічений на рис. 3.1 лінією АБ. Надалі для цього схилу був сформований відповідний блок даних для використання в моделі WEPP. Головні характеристики схилу наведені на рис. 3.2.

Трансекта АБ перетинає 3 ґрунтові ареали (рис. 3.2):

- 1 – чорнозем малогумусний середньопотужний на лесових породах;
- 2 – чорнозем слабогумусний середньопотужний на елювії пісковиків;
- 3 – чорнозем слабогумусний середньопотужний на елювії пісковиків.

У блоці «КЛІМАТ» була використана інформація про зливу 10% ступеня ймовірності, типову для території Донецької області (табл. 3.1). Файл з характеристиками такого дощу був створений за даними багаторічних досліджень на метеостанції м. Донецьк. Кількість опадів за зливу – 55.08 мм. Тривалість зливи – 36 хв.

Таблиця 3.1

Плювіограма зливи 10% ступеня ймовірності

Відрізок часу, хв	Інтенсивність зливи, мм/год
0	41,33
3,6	87
7,2	102
10,8	103,33
14,4	101,33
18	101,33
21,6	97,83
25,2	95,5
28,8	91,17
32,4	97,17
36	0

У таблицях 3.2 - 3.4 наведені ґрунтові характеристики, які увійшли до блоку «ГРУНТ» моделі WEPP. Відмітимо, що параметри ерозійної стійкості ґрунтів, а саме: критичний зсув (τ_c), коефіцієнт струмкової ерозії (Kr), коефіцієнт міжструмкової ерозії (Ki), були визначені за допомогою матеріалів космічної зйомки.

Параметри ерозійної стійкості чорнозему малогумусного середньопотужного на лесових породах:

- критичний зсув (τ_c) – 1,4 Па;
- коефіцієнт струмкової ерозії (Kr) – 1,7 с/м;
- коефіцієнт міжструмкової ерозії (Ki) – $3 \cdot 10^5$ кг·с/м⁴.

Таблиця 3.2

**Параметри чорнозему малогумусного середньопотужного
на лесових породах**

Глибина, см	Вміст часток <0.05 мм, %	Вміст часток <0.002 мм, %	Вміст органічного вуглецю, %
0-10	61,96	26,55	1,61
10-20	49,29	29,74	1,52
20-30	53,63	29,25	1,52
30-40	61,96	26,14	1,2
40-50	58,25	27,33	1,2
50-60	57,66	29,64	1,15
70-80	55,01	26,78	0,9
90-100	44,51	24,28	0,7

Параметри ерозійної стійкості чорнозему слабогумусного середньопотужного на елювії пісковиків:

- критичний зсув (τ_c) – 4 Па;
- коефіцієнт струмкової ерозії (Kr) – 2,4 с/м;
- коефіцієнт міжструмкової ерозії (Ki) – $7 \cdot 10^4$ кг·с/м⁴.

Таблиця 3.3

**Параметри чорнозему слабогумусного середньопотужного
на елювії пісковиків**

Глибина, см	Вміст часток <0.05 мм, %	Вміст часток <0.002 мм, %	Вміст органічного вуглецю, %
0-10	74,78	16,97	0,52
10-20	69,43	12,30	0,43
20-30	72,46	11,59	0,42
30-40	74,96	12,83	0,36
40-50	72,93	13,05	0,36
50-60	69,96	19,82	0,36
70-80	65,04	18,18	0,3

Параметри ерозійної стійкості чорнозему малогумусного середньопотужного на елювії пісковиків:

- критичний зсув (τ_c) – 2,9 Па;
- коефіцієнт струмкової ерозії (Kr) – 2,1 с/м;
- коефіцієнт міжструмкової ерозії (Ki) – $5 \cdot 10^5$ кг·с/м⁴.

Таблиця 3.4

**Параметри чорнозему малогумусного середньопотужного
на елювії пісковиків**

Глибина, см	Вміст часток <0.05 мм, %	Вміст часток <0.002 мм, %	Вміст органічного вуглецю, %
0-10	72,8	24,7	0,98
10-20	75,4	20,30	0,90
20-30	74,4	21,59	0,85

Блок «ТЕХНОЛОГІЯ» включає певні специфічні характеристики технологічних операцій обробки ґрунту, терміни їх проведення, характеристики с.-г. культур (табл. 3.5–3.7). В нашому випадку проводилось імітування ерозійних процесів для чистого пару та озимої пшениці. Стан агрофонів моделювався в розрахунку на умовну дату – 1 червня.

Блок «ТЕХНОЛОГІЯ» для чистого пару складається з двох частин:

а) початкові параметри поля на 1 січня умовного року для чистого пару;

б) обробка поля 15 травня «дискон з зміщенням», легка після-жнивнева обробка перед наступною оранкою.

Таблиця 3.5

Початкові параметри поля під чистим паром

Назва параметра	Величина або опис параметра
1	2
Попередник	Соняшник
Щільність, г/см ³	1.2
Проективне покриття, %	0
Кількість діб з останньої обробки	40
Кількість діб з останнього збирання врожаю	400
Початкова глибина промерзання, см	0
Початкова площа міжструмкової зони, %	0
Тип кореневої системи попередника (однорічна, багаторічна культура або пар)	Однорічна культура
Кількість опадів із дня останньої обробки, мм	600
Початкова висота гребеня з останньої обробки, см	2
Початкова площа струмкової зони, %	0
Початкова шорсткість після останньої обробки, см	2
Середня ширина між струмками, см	0
Тип струмкової мережі	Тимчасова
Початкова глибина снігу, см	0
Початкова глибина відтаювання, см	0

Продовження таблиці 3.5

1	2
Глибина шару допоміжної обробки, см	10
Глибина шару основної обробки, см	20
Початкова ширина струмка, см	0
Початкова маса мертвих коренів, кг/м ²	0
Початкова маса втоплених залишків, кг/м ²	0

Таблиця 3.6

Параметри поля після обробки «диском зі зміщенням»

Назва параметра	Величина або опис параметра
1	2
Залишки, які утоплені (сховані) на міжструмкових ділянках для ламких культур, %	55
Залишки, які утоплені (сховані) на міжструмкових ділянках для неламких культур, %	25
Кількість рядів від знаряддя обробки	0
Код знаряддя обробки	Інший
Позиція культиватора (попереду або позаду)	Позаду
Висота гребеня після обробки, см	5
Інтервал між гребенями, см	20
Залишки, які утоплені (сховані) на струмкових ділянках для ламких культур, %	55
Залишки, які утоплені (сховані) на струмкових ділянках для неламких культур, %	25
Вибіркове значення шорсткості після обробки, см	2.6
Площа порушеної поверхні, %	100
Середня глибина обробки, см	2.5

Блок «ТЕХНОЛОГІЯ» для озимої пшениці складається з двох частин:

- а) початкові параметри поля на 1 січня умовного року для озимої пшениці (табл. 3.7);
- б) параметри, які характеризують озиму пшеницю як культуру (табл. 3.8).

Таблиця 3.7

Початкові параметри поля під озимою пшеницею

Назва параметра	Величина або опис параметра
1	2
Попередник	Озима пшениця
Щільність, г/см ³	1.1
Проективне покриття, %	40
Кількість діб з останньої обробки	60
Кількість діб з останнього збирання врожаю	400
Початкова глибина промерзання, см	0
Початкова площа міжструмкової зони, %	50
Тип кореневої системи попередника (однорічна, багаторічна культура або пар)	Однорічна культура
Кількість опадів із дня останньої обробки, мм	150
Початкова висота гребеня з останньої обробки, см	2
Початкова площа струмкової зони, %	50
Початкова шорсткість після останньої обробки, см	2
Середня ширина між струмками, см	0
Тип струмкової мережі	Тимчасовий
Початкова глибина снігу, см	0
Початкова глибина відтаювання, см	0
Глибина шару допоміжної обробки, см	10
Глибина шару основної обробки, см	20
Початкова ширина струмка, см	0
Початкова маса мертвих коренів, кг/м ²	0.2
Початкова маса втоплених залишків, кг/м ²	0.1

Таблиця 3.8

Параметри культури озимої пшениці

Назва перемінної	Культура
1	2
Коефіцієнт рослинного покриття як функція рослинної біомаси	5.2
Параметр рівняння висоти рослинного покриття як функція зеленої біомаси	2.65
Відношення біомаси до енергії, тобто потенційна швидкість збільшення біомаси на одиницю ФАР (кг МДж)	30
Основна денна температура, необхідна для росту даної культури (С)	4

Продовження таблиці 3.8

1	2
Параметр рівняння лежачих рослинних залишків	5.4
Акумуляване значення температур, починаючи з моменту посадки до появи сходів	60
Критичне значення живої біомаси, нижче котрого неможливо задерніння (кг/м ²)	0.1
Висота післязбиральних стоячих рослинних залишків	15
Частка рослинного покриву, що залишається після в'янення (0 - 100%)	100
Діаметр стебла зрілої рослини, обмірюваний у підставі стебла поблизу поверхні ґрунту	0.6
Частка живої біомаси, що залишилася після в'янення (0 - 100%)	100
Поправочний коефіцієнт, що враховує вплив вітру і сніги на кількість лежачих і стоячих рослинних залишків.	99
Частина періоду росту, коли показник площі листа (LAI) починає знижуватися. Розраховується шляхом розділення кумулятивного значення температур із моменту висадки рослини до моменту зниження LAI на сумарне значення температур за період від посадки рослини до його дозрівання. Значення знаходиться в інтервалі 0 - 1	80
Коефіцієнт загасання радіації	0.65
Максимальний коефіцієнт тертя живої рослини	3
Потенційне кумулятивне значення температур за вегетативний період для даної культури	1700
Стандартний показник врожайності для непотурбованої культури (відношення сухої ваги врожаю до надземної біомаси)	42
Максимальна висота зеленого рослинного покриву, (м)	91
Чи є рослинні залишки тендітними або ні	Ні
Постійний розмір декомпозиції для розрахунку зміни надземної біомаси	0.0085
Постійний розмір декомпозиції для розрахунку зміни підземної біомаси	0.0085
Оптимальна температура повітря для росту рослин	15
Показник стійкості рослини до посух	25
Відстань між рослинами в рядку (м)	3

1	2
Максимальна глибина коренів (м)	30
Відношення маси коренів до надземної біомаси	25
Максимальна маса коренів, що досягається багаторічними рослинами ($\text{кг}/\text{м}^2$). Для однорічних рослин = 0	0
Кількість днів, за які відбувається в'янення	14
Максимальна температура, при якій придушується ріст багаторічних рослин (С). Для однорічних рослин = 0	0
Критична температура замерзання або низької температури, при якій припиняється ріст багаторічних рослин. Для однолітніх рослин = 0	0
Максимальний потенційний показник площі листя, ($\text{м}^2/\text{м}^2$)	5

На рис. 3.3 - 3.4 представлені дані щодо просторового прояву процесів змиву – намиву ґрунту для різних агрофонів.

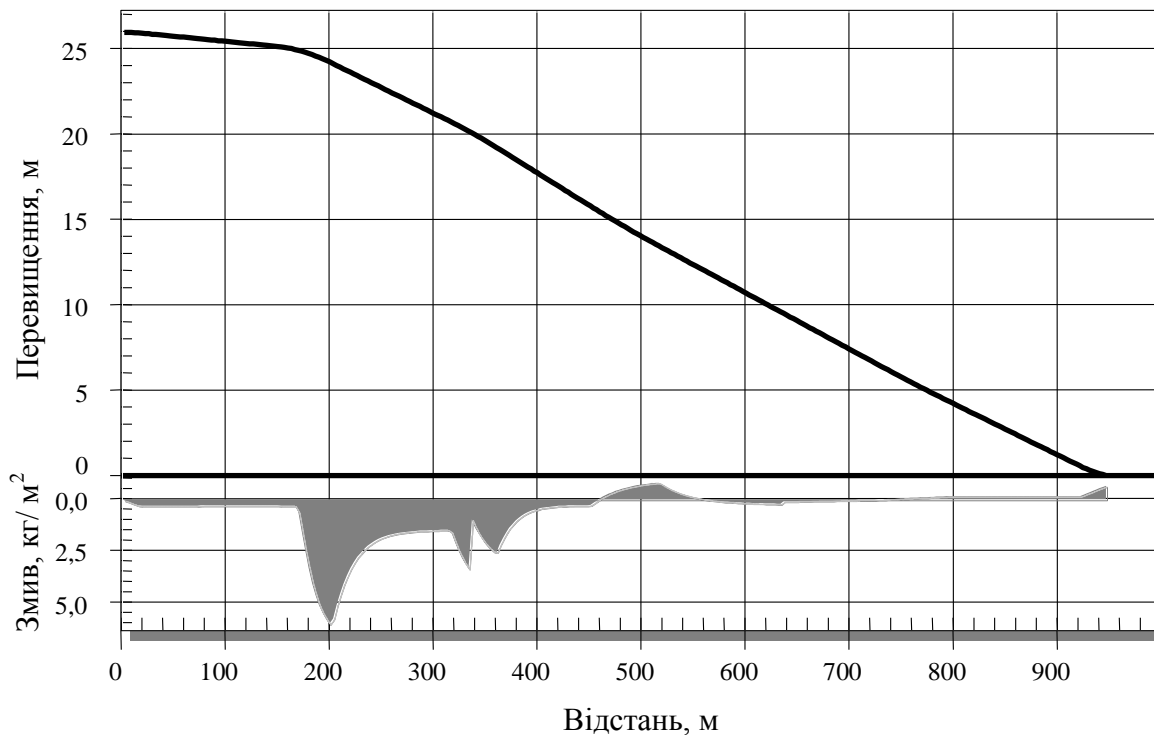


Рис. 3.3. Просторовий прояв процесів змиву-намиву ґрунту для чистого пару

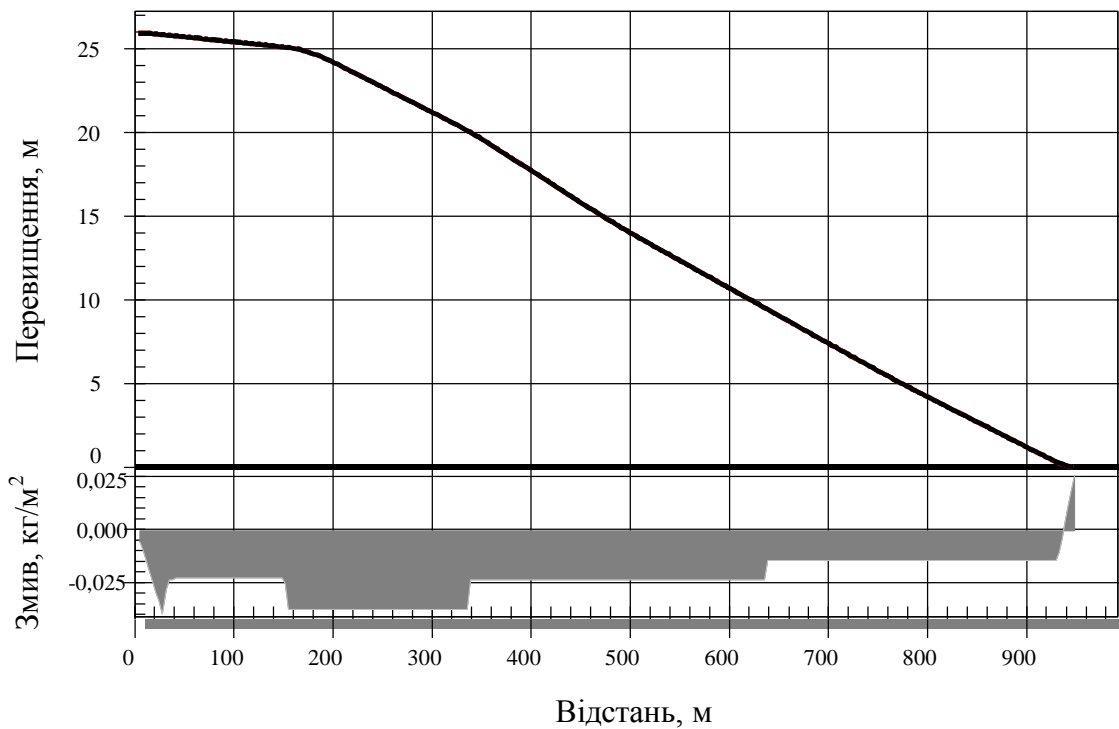


Рис. 3.4. Просторовий прояв процесів змиву-намиву ґрунту для озимої пшениці

Головні результати моделювання зливи 10% ступеня ймовірності представлені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Результати моделювання зливи 10% ступеня

	Чистий пар	Озима пшениця
Обсяг зливи, мм	55.08	55.08
Обсяг поверхневого стоку, мм	31,30	11.47
Ерозійні втрати ґрунту внаслідок зливи, кг/м ²	0,979	0.023
Намив ґрунту внаслідок зливи, т/га	5,721	0,224

Дані таблиці 3.9 свідчать про те, що озима пшениця в останній стадії свого розвитку значно знижує ерозійні втрати ґрунту.

Безумовно, сам по собі цей висновок навряд чи когось здивує, однак найважливішим є те, що в ході моделювання були одержані кількісні оцінки ефективності агротехнічних заходів. Це надає підстави для подальшого інженерного упорядкування території, яка вивчається.

Навчальне видання

Ачасов Андрій Борисович
Тітенко Ганна Валеріївна
Селіверстов Олег Юрійович
Мельник Дмитро Олександрович
Кот Анна Григорівна

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ
ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛІ WERP**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
щодо виконання практичних робіт

Коректор *О. В. Анцибора*
Комп'ютерне верстання *О. С. Чистякова*
Макет обкладинки *І. М. Дончик*

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,58. Наклад 50 пр. Зам. № 63/22.

Видавець і виготовлювач
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3367 від 13.01.2009

Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна