

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

О. О. Світличний, А. В. П'яткова

ПРИКЛАДНЕ ЕРОЗІЄЗНАВСТВО

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Одеса
ОНУ
2020

УДК 911:551.311.21.013(087.5)
С24

Рецензенти:

Берлінський М. А., професор, доктор географічних наук Одеського державного екологічного університету;

Шакірманова Ж. Р., професор, доктор географічних наук Одеського державного екологічного університету.

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою
ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 4 від 18.06.2020 р.*

Світличний О. О.

С24 Прикладне ерозієзнавство : навч. посіб. / О. О. Світличний, А. В. П'яткова. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2020. – 136 с.

ISBN 978-617-689-401-8

Посібник містить теоретичні основи з базових понять ерозієзнавства – ерозійна небезпека території та її оцінка, класифікація моделей водної ерозії, протиерозійні прийоми та їх ефективність, допустимі норми ерозії, просторове моделювання змиву ґрунту та реалізація моделей засобами комп'ютерних технологій, у тому числі засобами ГІС. Детально описана комп'ютерна система агроландшафтного проектування, розроблена на кафедрі фізичної географії та природокористування ОНУ імені І. І. Мечникова. Наведені приклади розв'язання практичних завдань.

Посібник призначений для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 106 «Географія».

УДК 911:551.311.21.013(087.5)

ISBN 978-617-689-401-8

О. О. Світличний, А. В. П'яткова, 2020

© Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2020

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ОЦІНКА ЕРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЗЕМЕЛЬ	8
1.1. Поняття «ерозійна небезпека території» і підходи до її кількісної оцінки	8
1.2. Класифікація математичних моделей водної ерозії ґрунтів	12
1.2.1. Постановка проблеми	12
1.2.2. Існуючі підходи до класифікації	12
1.2.3. Робоча класифікація	16
1.3. Фізико-статистична математична модель змиву-аккумуляції ґрунту	18
1.3.1. Профільна версія моделі	18
1.3.2. Загальні рекомендації щодо використання профільної версії моделі	27
1.3.3. Просторова версія моделі	28
1.3.4. Протиерозійні прийоми	35
1.3.5. Ґрунтозахисна ефективність агро меліоративних протиерозійних заходів	50
1.3.6. Допустимі норми ерозії	59
Питання і завдання для самоконтролю	63
2. КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА АГРОЛАНДШАФТНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	65
2.1. Загальна характеристика комп'ютерної системи	65
2.2. Математична модель і розрахунки ерозійних втрат ґрунту	72
2.3. Математична модель і розрахунки дефляційних втрат ґрунту	75
2.4. Методика розрахунків добрив на проектну урожайність	83
Питання і завдання для самоконтролю	93

3. ВИРІШЕННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ	95
3.1. Підготовка вхідних даних для розрахунків ерозійних втрат ґрунту у середовищі комп'ютерної системи агроландшафтного проектування	95
3.2. Розрахунки потенційного змиву ґрунту у середовищі комп'ютерної системи агроландшафтного проектування	99
3.3. Розрахунки ерозійних втрат ґрунту з урахуванням поточного землекористування	107
3.4. Розрахунки потенційних ерозійних втрат ґрунту з використанням просторової ГІС-реалізованої версії фізико-статистичної моделі змиву ґрунту	110
СЛОВНИК ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ	115
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	125
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	133
ДОДАТКИ	134

ВСТУП

Ерозієзнавство – це міждисциплінарна наукова дисципліна, метою якої є поглиблене вивчення закономірностей формування, кількісної оцінки і прогнозу ерозійних процесів у різних природно-господарських умовах, а також принципів і методів оптимізації використання ерозійно-небезпечних земель.

Основними завданнями вивчення ерозієзнавства є:

- вивчити визначення понять «ерозія», «водна ерозія», «вітрова ерозія (дефляція)», «геологічна ерозія», «нормальна ерозія» і «прискорена (антропогенна) ерозія» та існуючі класифікації видів ерозії ґрунтів;

- ознайомитися з розповсюдженням водної ерозії ґрунтів у світі і в Україні, та багатобічною шкодою від її діяльності;

- розглянути польові та лабораторні методи дослідження ерозійних процесів;

- розглянути закономірності формування і фактори водної ерозії;

- вивчити принципи і методи кількісної оцінки і прогнозу ерозійної небезпеки земель, у тому числі з використанням сучасних інформаційних і геоінформаційних технологій;

- ознайомитися з існуючою практикою боротьби з водною ерозією з використанням організаційно-господарських, агроеліоративних, лісомеліоративних і гідромеліоративних заходів і їх комплексів;

- вивчити підходи та методи оптимізації використання ерозійно-небезпечних земель;

- розглянути принципи і методи обґрунтування ґрунтозахисних систем землеробства.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних компетентностей:

- а) загальних (ЗК): здатність виконувати норми національного та міжнародного законодавства – КМО.04; здатність використовувати теоретичні знання й практичні навички для оволодіння основами теорії й методів географічних досліджень – КС.05; базові знання про можливості застосування комплексного підходу в дослідженні географічних процесів – КС.06;

б) фахових загальних (КФЗ): базові знання про основні закони і теорії географічної науки, сучасні уявлення про закономірності перебігу географічних процесів – КФЗ.05; здатність оцінювати вплив антропологічного фактора на довкілля – КФЗ.07; сучасні уявлення про особливості управління регіональним розвитком та бізнесплануванням – КФЗ.33;

в) спеціальних фахових (КФС): здатність використовувати професійно профільовані знання в галузі математики (математичної статистики), для статистичної обробки експериментальних даних і математичного моделювання географічних явищ і процесів; базові знання про методи моделювання та теорію подібності, схему побудови математичних моделей географічних процесів – КФС.01; здатність використовувати математичний апарат для освоєння теоретичних основ і практичного використання географічних досліджень – КФС.02; здатність використовувати професійно профільовані знання в галузі наук про Землю (геології, метеорології, гідрології, ґрунтознавства, біогеографії) для дослідження і картографування географічних об'єктів, явищ, процесів – КФС.03; здатність проводити географічне моделювання різних географічних явищ та процесів – КФС.06; професійно профільовані знання й уміння в галузі основ інформатики й практичного використання комп'ютерних технологій; здатність використовувати інформаційні технології в галузі професійної діяльності – КФС.07.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- розповсюдження ерозійних процесів в Україні і світі, їх економічні і екологічні наслідки;

- теоретико-методологічні і методичні основи ерозієзнавства;

- фізичні основи водної ерозії;

- основні природні і антропогенні чинники водної ерозії і методи кількісного опису їх впливу на формування і протікання водної ерозії;

— принципи і методи кількісної оцінки ерозійної небезпеки земель, у тому числі з використанням сучасних інформаційних і геоінформаційних технологій;

— принципи і методи оптимізації використання земельних ресурсів ерозійно-небезпечних територій;

вміти:

— проводити експедиційні і стаціонарні польові дослідження водної ерозії;

— виконувати велико- та середньомасштабну оцінку ерозійної небезпеки земель;

— виконувати розрахунки ерозійних втрат ґрунту при заданому землекористуванні з використанням фізико-статистичних емпіричних і теоретичних математичних моделей водної ерозії;

— виконувати наукове обґрунтування раціонального використання ерозійно-небезпечних земель.

Важливе місце у вивченні дисципліни займає лабораторний практикум, у процесі виконання якого студенти закріплюють теоретичні знання і набувають практичних навичок вирішення складних завдань щодо раціонального використання ерозійно-небезпечних земель із застосуванням програмно-реалізованих математичних моделей ерозійних втрат ґрунту. Виконання лабораторних робіт примушує студентів актуалізувати знання, отримані раніше при вивченні різних дисциплін, зокрема, таких як «Загальна гідрологія», «Ґрунтознавство», «Геоморфологія», «Метеорологія і кліматологія», «Ландшафтознавство», «Математичні методи в географії», «Інформатика з основами геоінформатики, ГІС».

1. ОЦІНКА ЕРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЗЕМЕЛЬ

1.1. Поняття «ерозійна небезпека території» і підходи до її кількісної оцінки

Оцінка ступеня ерозійної небезпеки є необхідним етапом робіт з обґрунтування раціонального використання земель. У зв'язку з цим розробці методики оцінки і картографування ерозійної небезпеки земель приділялося досить багато уваги на різних етапах розвитку ерозієзнавства. При цьому в багатьох випадках і трактування поняття «ерозійна небезпека», і методи її оцінки істотно розрізнялися. Різниця в застосовуваних на різних етапах розвитку науки методах оцінки в першу чергу пояснюється рівнем вивченості оцінюваного явища або процесу, або рівнем методичного забезпечення самої науки. І те, і інше, безумовно, мало місце і для оцінки ерозійної небезпеки земель в історії розвитку ерозієзнавства. Однак, при цьому також були присутні і різночитання в підходах до оцінки ерозійної небезпеки, обумовлені неоднозначним трактуванням самого цього поняття.

Оцінювання є особливим видом пізнавальної діяльності. Своєрідність оцінки, відмінність її від вимірювань полягає в тому, що вона завжди відображає відношення між будь-яким видом діяльності, технологічним процесом, потребами людей (суб'єктів оцінки) і оцінюваним об'єктом (об'єктом оцінки). У географії та природокористуванні оцінка відображає міру придатності тих чи інших природних або природно-господарських об'єктів для землеробського, промислового, водогосподарського або будь-якого іншого використання. Вона базується не просто на знанні властивостей, притаманних об'єкту, а на знанні закономірностей відносин між цими властивостями і видами діяльності або вимог населення до якості середовища. Така оцінка названа «технологічною», тому що взаємодія людини і природи в процесі господарської діяльності відбувається, як правило, за посередництвом техніки.

Поточного часу найбільш загальновизнаним є визначення ерозійно-небезпечних земель, сформульоване М. Н. Заславським (1979), відповідно до якого ерозійно-небезпечними є землі, «де

поєднання природних умов створює можливість для прояву прискореної ерозії при їх господарському використанні без необхідних протиерозійних заходів». З огляду на ті обставини, що оцінка ерозійної небезпеки, зазвичай, проводиться або для сільськогосподарських земель, або для території в цілому, але з точки зору можливості або складності її сільськогосподарського освоєння, доцільно в якості «господарського використання» розглядати найбільш несприятливий з ерозійної точки зору варіант цього використання – повне їх розорювання. Виходячи з такого трактування, поняття «ерозійно-небезпечні землі», *ерозійна небезпека*, або, повніше, *потенційна ерозійна небезпека* – це можливість прояву ерозійних процесів при гіпотетичному суцільному розорюванні території без проведення будь-яких протиерозійних заходів. У такому випадку оцінка ерозійної небезпеки – це кількісна оцінка ступеня вираженості цієї небезпеки.

Уявляється, що саме таке трактування поняття «ерозійна небезпека» повинне використовуватися і при розробці методики оцінювання, і при проведенні оцінки ерозійної небезпеки земель, яка, безумовно, є однією з різновидів технологічної оцінки природних комплексів. Залежно від мети оцінки з точки зору існуючих класифікацій оціночної діяльності її можна віднести і до агрогеографічної, і до меліоративної. У тому випадку, якщо оцінка ерозійної небезпеки території виконується з метою оптимізації використання її земельних ресурсів, об'єктом оцінки є можлива інтенсивність прояву ерозійних процесів у заданих кліматичних та ґрунтово-геоморфологічних умовах, а суб'єктом – природна (ПТС) або природно-господарська територіальна система (ПГТС) відповідного рангу, а точніше, її резистентні здатності по відношенню до деструктивного прояву ерозійних процесів. Резистентні здатності ПТС або ПГТС в існуючих підходах до оцінки ерозійної небезпеки земель, зазвичай, виражаються через, так звану, допустиму або доцільно-допустиму (за Г. І. Швобсом (1981)) норму ерозії або змиву ґрунту. При цьому методи оцінки та інтенсивності прояву ерозійних процесів і допустимої норми ерозії вельми різноманітні. Відповідно, розрізняються й методи оцінки ерозійної небезпеки земель.

У загальному випадку існуючі методи оцінки ерозійної небезпеки земель можна розділити на три групи:

1) експертна оцінка, в основі якої лежить суб'єктивна оцінка експертом або групою експертів впливу факторів ерозії на ерозійну деградацію земель;

2) бальні методи, які оперують для характеристики ерозійної небезпеки земель безрозмірними кількісними показниками – балами, рангами, категоріями, коефіцієнтами тощо;

3) методи, засновані на а) зіставленні швидкості схилових потоків з певною критичною швидкістю або б) зіставленні дотичних напружень, створюваних схиловим потоком на поверхні ґрунту, з критичними напруженнями, що відповідають початку інтенсивного змиву ґрунту;

4) методи, засновані на математичному моделюванні ерозійних втрат (змиву) ґрунту, які оперують категоріями *потенційного змиву*, тобто *можливих в даних кліматичних та ґрунтово-геоморфологічних умовах втрат ґрунту при повному розорюванні території і відсутності протиерозійних заходів* і розрахункового змиву – *можливих втрат ґрунту при існуючому або заданому варіанті використання земель, а також категоріями допустимого або доцільно-допустимого, змиву, виражених в т/га або мм шару змитого ґрунту на рік.*

Ці групи методів оцінки ерозійної небезпеки в цілому відповідають різним етапам розвитку ерозієзнавства і мають певну історичну прив'язку. Найбільш відповідають сучасному етапу розвитку ерозієзнавства методи оцінки, що ґрунтуються на математичному моделюванні водної ерозії ґрунту. Виняток становлять методи третьої групи, які використовуються і в даний час (Кузнецов, Глазунов, 2004; Куценко, 2012). Однак, успішне їх застосування поза каналізованих русел з відомим швидкісним режимом вимагає залучення адекватної просторово-розподіленої математичної моделі схилового стоку. При цьому застосування методів цієї групи дозволяє лише виділити на схилі зони, де будуть розвиватися ерозійні процеси. Для оцінки інтенсивності їх протікання необхідне також залучення адекватної просторово-розподіленої математичної моделі змиву ґрунту.

Найбільш відповідають вимогам протиерозійного проектування методи четвертої групи. Однак кількість математичних моделей водної ерозії ґрунту, що дозволяють оцінити середньорічні втрати як зливого, так і весняного змиву, розроблених в різних країнах світу, дуже велика. За рівнем теоретичної обґрунтованості їх можна розділити на емпіричні, концептуальні та теоретичні або фізико-математичні. Детальна характеристика цих моделей наведена, зокрема, у підручнику (Світличний, Чорний, 2007). У групі емпіричних математичних моделей ерозійних втрат ґрунту досить чітко виділяються два рівня: формально-статистичних і фізико-статистичних моделей. Два рівня виділяються і в групі теоретичних математичних моделей: формули змиву і динамічні фізично обґрунтовані моделі змиву-акумуляції ґрунту (KINEROS, LISEM, WEPP, EUROSEM, EROSION 2D/3D і ін.). Формули змиву відповідають початковому етапу розвитку ерозієзнавства (1930-ті – 1950-ті роки), складові моделі – сучасному (з 1980-х років). Однак надмірна вимогливість фізично обґрунтованих моделей до інформаційного забезпечення, а також підвищена їх чутливість до точності вихідних даних обмежують застосування цих моделей сферою науково-дослідних розробок. Практика ґрунтозахисного проектування і у світі, і в Україні ґрунтується на емпіричних, переважно фізико-статистичних, математичних моделях ерозійних втрат ґрунту. При цьому сучасний рівень ґрунтозахисного проектування пред'являє до таких моделей підвищені вимоги, серед яких просторово-розподілений характер, інформаційна забезпеченість, верифікованість. В Україні цим вимогам задовольняє фізико-статистична модель змиву-акумуляції ґрунту, розроблена на кафедрі фізичної географії та природокористування ОНУ імені І. І. Мечникова (Світличний, 1995, 1999; Світличний и др., 2005; П'яткова, 2008) на основі логіко-математичної моделі змиву ґрунту Г. І. Швєбса (1974, 1981).

1.2. Класифікація математичних моделей водної ерозії ґрунтів

1.2.1. Постановка проблеми

Перші роботи з кількісного опису впливу окремих факторів на інтенсивність змиву ґрунту та розробка формул розрахунку або прогнозу водної ерозії, які можна розглядати як перші математичні моделі водної ерозії, відносяться до кінця тридцятих років минулого століття. Це формули Я. В. Коренева (1937), І. Г. Ніла (1938), В. О. Казакова (1940) та А. У. Цинга (1940), які представляють собою залежності витрат схилових наносів (як у формулах Я. В. Коренева і В. О. Казакова), або ж пересічних витрат ґрунту в розрахунку на одиницю площі (як у формулах І. Г. Ніла та А. У. Цинга) від основних факторів – ухилу, довжини схилу та інтенсивності атмосферних опадів (або витрат води).

У зведенні залежностей, що використовуються для розрахунків поверхневого змиву ґрунту, яке було опубліковано Г. І. Швобсом (1974), наводиться 18 формул різних авторів. Поточного часу їх число дорівнює декільком десяткам і продовжує збільшуватися. У зв'язку з цим загострюється проблема класифікації математичних моделей водної ерозії ґрунту, оскільки, хоча вона і була порушена раніше різними авторами (Williams, 1975; Швобс, 1980, 1981; Recent development..., 1985; Кумані, 1988; Сурмач, 1992; Ларионов, 1993; De Roo et al., 1994; Світличний, 1995; Кузнецов, Глазунов, 1996; Morgan, 2001 та ін.), наразі єдина загальноприйнята класифікація математичних моделей ерозії відсутня. У загальнонауковому плані це утруднює оцінку існуючої ситуації і планування подальших досліджень у цій предметній області, а в прикладному – створює додаткові труднощі у виборі адекватної моделі при рішенні конкретних прикладних задач.

1.2.2. Існуючі підходи до класифікації

Розглянемо існуючі підходи до класифікації математичних моделей водної ерозії ґрунту у відповідності до роботи (Світличний, 2010).

Найбільш детальна класифікація моделей ерозії була запропонована, мабуть, М. С. Кузнецовим та Г. П. Глазуновим (1996), які ділять всі моделі водної ерозії на *статистичні*, які не розкривають фізичної складової процесів ерозії, і *логіко-математичні*, які ґрунтуються на рівняннях, що з різною повнотою описують вплив факторів ерозії на стік та змив ґрунту. Логіко-математичні моделі ці автори поділяють на три класи:

1) моделі з зосередженими параметрами, тобто ті, що не враховують просторової неоднорідності водозбору, ерозійного району або окремого поля сівозміни;

2) моделі з зосереджено-розподіленими параметрами, тобто перехідні;

3) моделі з розподіленими параметрами, які засновані на диференціальних рівняннях у часткових похідних.

На жаль, автори ніяк не розшифровують другий та третій класи моделей своєї класифікації, що не дозволяє користуватися нею для аналізу різноманіття існуючих моделей водної ерозії.

У Західній Європі та Північній Америці при аналізі підходів до моделювання процесів водної ерозії використовують або дворівневу (Киркбі, 1984, De Jong, 1994; Jakeman и др., 1999; Vigiak, 2005), або трьохрівневу (Williams, 1975; Viney, Sivapalan, 1999; Morgan, 2001; Merritt та ін., 2003) класифікації. У першому випадку виділяють емпіричні та фізично обґрунтовані (physics-based) моделі, у другому – емпіричні, фізично обґрунтовані та концептуальні.

Емпіричні моделі, їх іноді у англomовній літературі називають моделями «чорного ящика» або «сірого ящика», представляють собою узагальнення даних спостережень, виконані з використанням певного об'єму отриманої інформації статистичними методами. Це найбільш прості і найменш вибагливі до інформаційного забезпечення моделі. Як відмічається у (Jetten, Govers, 2003), особливістю цього класу моделей є високий ступінь їх просторової та часової генералізації і використання невеликої кількості каузальних змінних. У явному або неявному вигляді ці моделі ґрунтуються на припущенні про стаціонарність ерозійного процесу. У зв'язку з цим, як правило, це моделі із зосередженими параметрами (0-мірні), які дозволяють виконувати оцінку середніх

багаторічних величин «втрат» або «змиву» ґрунту в середньому для схилу або більшої територіальної одиниці. Класичним представником моделей цього класу є відоме Універсальне рівняння втрат ґрунту (USLE/RUSLE) (Wischmeier, Smith, 1978; Renard et al., 1997).

До фізично обґрунтованих («фізично обґрунтованих складових динамічних» за (Киркбі, 1984)) відносяться математичні моделі, які ґрунтуються на використанні для опису процесів, які моделюються, фундаментальних законів фізики. Стандартним є використання в ерозійних моделях цього класу рівнянь збереження речовини та енергії, які представлені рівняннями балансу води та наносів та збереження кількості руху для води в диференційній формі (Bennett, 1974; Doe, Harmon, 2001; Prosser et al., 2001 та ін.). Ерозійні моделі цього класу, зазвичай, є одно- (1D) або дво-мірними (2D), тобто просторово розподіленими і значно більш детальними, ніж емпіричні, у зв'язку з чим характеризуються підвищеною (а іноді навіть надлишковою) вибагливістю до кількості та якості вихідної інформації, а також до обчислювальних можливостей комп'ютерів. Важливою особливістю таких моделей є те, що вони являються “event-based”, тобто моделями, які описують окремі «події» – ерозійні процеси в результаті окремої (реальної або змодельованої) події – зливи або сніготанення.

Специфічну групу моделей, яку виділяють в окремий шабел при трьохрівневій класифікації моделей водної ерозії (Morgan, 2001 та ін.), складають так звані «концептуальні» моделі водної ерозії. Головною особливістю, яка відрізняє концептуальні моделі від емпіричних за (Beck et al., 1995), є їх спрямованість на відображення існуючих гіпотез про процеси, що керують поведінкою ерозійної системи, у той час як емпіричні моделі повністю залежать від спостережених взаємовідношень між каузальними змінними та змодельованим виходом.

У якості прикладу концептуальних ерозійних моделей у роботі (Morgan, 2001), зокрема, наведені системи SWRRB (The Simulator for Water Resources in Rural Basins) – система моделювання водних ресурсів у межах сільськогосподарських водозборів (Arnold et al., 1990 та ін.) та LASCAM (Wheater et al., 1993) – система моделювання сольового та водного балансу річкового водозбору.

Система SWRRB розроблена Дослідницькою службою Міністерства сільського господарства США (ARS USDA) для моделювання стоку води, наносів, поживних речовин та пестицидів у межах великих сільськогосподарських водозборів з використанням для моделювання водної ерозії варіанту Універсального рівняння втрат ґрунту. Австралійська система LASCAM для моделювання змиву ґрунту також використовує «концептуалізоване» Універсальне рівняння втрат ґрунту. Таким чином, і в першому, і в другому випадках для моделювання водної ерозії у рамках «концептуальних» систем моделювання використовуються емпіричні моделі водної ерозії.

Все це свідчить про те, що чіткої межі між емпіричними та концептуальними модулями в наведеній класифікації не існує, що відмічене і в роботах (Williams, 1975; Morgan, 2001). Також це говорить про відсутність чітких критеріїв віднесення моделей до цього класу. У роботі (Morgan, 2001), наприклад, наводиться модель SEDNET (The Sediment River Network model), в якій схилова ерозія знову моделюється за допомогою Універсального рівняння втрат ґрунту, віднесена до проміжного підкласу емпіричних (або концептуальних) моделей.

Порівняння дворівневої та трьохрівневої класифікацій моделей водної ерозії, які використовуються в англомовній літературі, безумовно, свідчить на користь останньої, оскільки неможливо укласти все різноманіття існуючих моделей водної ерозії лише тільки до емпіричних та фізично обґрунтованих моделей. Тобто необхідний деякий проміжний клас моделей. Але при цьому необхідне і більш чітке його визначення з тим, щоб була виключена можливість віднесення однієї і тієї ж самої моделі до різних класів. Тому більш логічним представляється виділяти не емпіричні та фізично обґрунтовані моделі, а *емпіричні* та *теоретичні* класи моделей, оскільки саме теоретичний метод досліджень є альтернативним емпіричному.

Необхідно також відмітити, що клас емпіричних моделей, що виділяється в рамках такого підходу, трактується досить вузько, в той час як наявні емпіричні моделі змиву (або ерозійних втрат) ґрунту суттєво відрізняються одна від одної. Так, віднесення Універсального рівняння втрат ґрунту США, особливо в

його останніх модифікаціях, до моделей, які «не роблять ніяких висновків відносно керуючих процесів, повністю залежачи від спостережених або стохастичних взаємовідносин між каузальними змінними та змодельованим виходом» (Beck et al., 1995), не виявляється відповідним до дійсності. Аналогічно суттєво відрізняються одна від одної і фізично обґрунтовані моделі, що вимагає, на наш погляд, введення додаткового їх розділення на підкласи.

1.2.3. Робоча класифікація

У роботах (Светличный и др., 2004; Світличний, Чорний, 2007) за характером опису змодельованого процесу всі існуючі математичні моделі водної ерозії ґрунту запропоновано розділити на дві великі групи – *емпіричні* та *теоретичні*. Кожна з груп включає велику кількість за детальністю, ступенем обґрунтованості та інформаційній забезпеченості математичних моделей.

Емпіричні моделі водної ерозії за їх «інтелектуальним індексом» (Глобус, 1987) цілковито і безперечно поділяються на два рівні. Емпіричні моделі першого рівня, враховуючи попередній досвід класифікації ерозійних моделей, а також наявні підходи до класифікації математичних моделей у суміжних наукових дисциплінах (Грушевський, 1982; Глобус, 1987; Виноградов, 1988 та ін.), названі *формально-статистичними*. Вони отримані в результаті обробки емпіричних даних на основі формально-статистичного підходу. Емпіричні моделі другого рівня названі *фізико-статистичними*. Фізико-статистичні моделі відрізняються від моделей першого рівня намаганням найбільш повно враховувати теоретичні знання про процес, який моделюється, тому вони більш детальні та мають великі можливості з рішення задач протиерозійного проектування. В ерозієзнавстві деякі з моделей цієї групи називають «логіко-математичними» (Швебс, 1981 та ін.).

Теоретичні моделі – математичні моделі водної ерозії, які ґрунтуються на використанні для опису процесів, що моделюються, фундаментальних законів фізики – збереження речовини та енергії. У англomовній науковій літературі вони називаються «фізично обґрунтованими» (physics-based) і «динамічними» (process-based), а у гідрології – «фізико-математичними» (Куч-

мент и др., 1983). У вітчизняній літературі їх іноді не зовсім обґрунтовано називають «гідромеханічними», у той час як у них використовуються одно- або двомірні, тобто гідравлічні рівняння. За ступенем детальності опису складових ерозійно-аккумулятивного процесу, виражених у структурі цих моделей, їх також можна розділити на теоретичні формули змиву та складові динамічні моделі ерозійного процесу. Теоретичні формули змиву отримані на основі аналітичного рішення одновірних диференціальних рівнянь нерозривності і руху, виконаного із вельми суттєвим спрощенням змодельованого процесу (Корнев, 1937; Костяков, 1960; Мирцхулава, 1970). Складові динамічні моделі ґрунтуються на кількісному інтегруванні одно- або двовірних систем диференціальних рівнянь у часткових похідних (кінематичної хвилі, дифузної хвилі і ін.), мають модульну структуру, яка відображає всі основні складові ерозійно-аккумулятивного процесу – LISEM (De Roo et al., 1994), EUROSEM (Morgan et al., 1998) та ін.

Аналіз математичних моделей водної ерозії, у тому числі розроблених у колишньому СРСР і на пострадянському просторі, показує, що існують математичні моделі водної ерозії, які не можуть бути віднесені ні до емпіричних статистичних (регресійних), ні до теоретичних (які ґрунтуються на інтегруванні диференціальних рівнянь нерозривності та руху) моделям. Моделі, створені на інших принципах, ніж вже виділені «емпіричні» і «теоретичні», за аналогією із трьохрівневою класифікацією моделей водної ерозії, використовуваною у англomовній науковій літературі, у (Светличный, 2010) названі «концептуальними». З розроблених у колишньому СРСР або на пострадянському просторі математичних моделей водної ерозії до концептуальних слід віднести формули розрахунку середньобагаторічного змиву ґрунту, розроблені у Державному гідрологічному інституті (ДГІ) (Инструкция..., 1979), І. К. Срібним (1977, 1993), а також в останні десятиліття – у Всеросійському науково-дослідному інституті землеробства та захисту ґрунтів від ерозії (ВНДІЗ та ЗГЕ) (Сурмач, 1992; Сухановский, Пискунов, 2006; Сухановский и др., 2009 та ін.).

Формула ГГІ, створена на основі зв'язку змиву ґрунту, шару стоку та будови тимчасової струмкової мережі, та логіко-математична модель І. К. Срібного рекомендуються до практичного

використання, зокрема, при проектуванні ґрунтозахисних систем контурно-меліоративного землеробства, розроблених на основі застосування методу аналогії, який досить широко використовується в гідрології. У моделях ВНДІЗ та ЗГЕ зроблена спроба урахувати основні механізми наносоутворення, транспорту та відкладення наносів з використанням системи напівемпіричних співвідношень та коефіцієнтів.

До концептуальних моделей, враховуючи виконане вище визначення емпіричних та теоретичних моделей, уявляється доцільним віднести складові моделі, у яких для оцінки змиву ґрунту у якості субмоделей використовують вирази інтерполяційного типу, які містять емпіричні параметри, кількісні значення яких визначаються (калібруються) на основі даних спостережень. До таких і відноситься ряд моделей водної ерозії, розроблених у 80-ті – 90-ті роки минулого століття у Західній Європі, Північній Америці та Австралії, такі як MMF (Morgan et al., 1984), LASCAM (Viney N.R., Sivapalan, 1999), MMMF (Morgan, 2001); SWAT2000 (Arnold J.G., Fohrer, 2005).

У межах виділених класів та підкласів моделей можлива подальша класифікаційна деталізація моделей за іншим підґрунтям із віднесенням їх до:

- а) детермінованим (або стохастичним);
- б) 0-мірним (lumped), 1-мірним (1D) або двомірним (2D),
- в) моделям, що реалізуються для окремої ділянки (plot scale), схилу (slope scale), водозбору (catchment scale) або великої території.

1.3. Фізико-статистична математична модель змиву-аккумуляції ґрунту

1.3.1. Профільна версія моделі

Модель призначена для розрахунку середньо-багаторічних модулів зливогого і весняного змиву в заданій точці поздовжнього профілю схилу довільної довжини і форми з урахуванням протиерозійних властивостей ґрунтового покриву і прийнятої (існуючої або проектованої) агротехніки вирощування сільськогосподарських культур.

Основні розрахункові вирази моделі зливогого змиву мають вид (Светличный, 1995, 1999):

при $x < L_a$

$$W(x) = 2,6 \cdot 10^{-6} K_{ГМ} \left[1,5 j_R(x) I^m(x) x^{0,5} f_a(x) + j_R(x) f_a(x) x^{1,5} \frac{d(I^m(x))}{dx} + I^m(x) f_a(x) x^{1,5} \frac{d(j_R(x))}{dx} + j_R(x) I^m(x) x^{1,5} \frac{d(f_a(x))}{dx} \right]; \quad (1.1)$$

при $x \geq L_a$

$$W(x) = 2,6 \cdot 10^{-6} K_{ГМ} \left[1,5 j_R(L_a) I^m(L_a) L_a^{0,5} f_a(L_a) + j_R(x) f_a(x) x \frac{d(I^m(x))}{dx} + I^m(x) f_a(x) x \frac{d(j_R(x))}{dx} + j_R(x) I^m(x) x \frac{d(f_a(x))}{dx} \right]; \quad (1.2)$$

де $W(x)$ – середньорічний модуль зливогого змиву ґрунту (т/га/рік) на відстані x (м) від вододілу; $K_{ГМ}$ – норма гідрометеорологічного фактору зливогого змиву; I – ухил схилу; j_R – відносний показник змиваємості ґрунту; f_a – фактор агротехніки, рівний добутку f_n – коефіцієнт ґрунтозахисної ефективності спеціальних агротехнічних протиерозійних заходів, таких як лункування, борознування, щілювання, мульчування і т. і. та f_p – коефіцієнт протиерозійної ефективності рослинного покриву; $j_R(L)$ – відносна змиваємість ґрунту; L_a – довжина привододільної зони зростання інтенсивності намулоутворення; L_Δ – довжина зони активного намулоутворення (м), в якості якої з метою врахування змінення факторів ерозійного процесу вниз вздовж схилу приймається значення L_a , що забезпечує максимум першого додатку в квадратних дужках виразів (1.1)-(1.2) або для привододільної, або примикаючої до розрахункового створу ділянки схилу. Всі змінні у (1.1)-(1.2) є усередненими або від вододілу до створу x , або у межах L_Δ .

Значення j_R і m наведені в табл. 1.1–1.3. Пересічні значення фактора протиерозійної ефективності сільськогосподарських культур (f_p), отримані на основі аналізу існуючих рекомендацій і їхньої експертної оцінки, і фактора протиерозійних заходів (f_n),

отримані з використанням спеціально розробленої методики (Светличный, Швебс, 1984), представлені у п. 1.3.4.

Таблиця 1.1

Значення відносної змиваємості j_R і часткової характеристики відносної змиваємості j_p (Швебс, 1974, 1981; Игошин и др., 1985)

Тип (підтип) ґрунту	j_R	j_p
Чорноземи звичайні, реградовані і типові	1,0-1,2	1,0-1,2
Чорноземи південні, карбонатні, вилужені і опідзолені	1,4-1,8	1,1-1,4
Темно-сірі та сірі лісові	1,2-1,4	1,2-1,6
Темно-каштанові і каштанові	2,0-2,2	2,3-2,5

Таблиця 1.2

Вплив змитості ґрунту на характеристики його протиерозійної стійкості (Швебс, 1974, 1981; Игошин и др., 1985)

Ступінь змитості ґрунту	k_l	
	Діапазон значень	Середнє значення
Відсутня	1,0	1,0
Слабка	1,2-1,3	1,25
Середня	1,3-1,6	1,45
Сильна	1,6-2,0	1,80

Таблиця 1.3

Значення показника ступеня m (Швебс, 1974, 1981)

Чорноземні і лісні ґрунти		Опідзолені і каштанові ґрунти	
Незмиті і слабозмиті	Середньо- і сильнозмиті	Незмиті і слабозмиті	Середньо- і сильнозмиті
1,30	1,35	1,40	1,50

Розрахунок довжини зони активного намулоутворення L_a виконується за виразом, отриманим з використанням формули швидкості схилового стікання, розробленої І. К. Срібним (Срибный, 1079; ВСН 10.15 УССР 1-87):

$$L_a = 0,854 k_v m_c^{3/2} (r_{\tau, P\%} \varphi b_c I)^{1/2}, \quad (1.3)$$

де L_a – довжина зони зростання інтенсивності намулоутворення, м; k_v – коефіцієнт форсування, що враховує відмінність швидкостей добігання хвилі стоку і руху матеріальної точки, близький до 1,5; m_c – коефіцієнт шорсткості поверхні; $r_{\tau, P\%}$ – найбільша середня за час активного намулоутворення τ (хвил.) інтенсивність дощу (мм/хвил) розрахункової забезпеченості $P\%$; φ – коефіцієнт стоку; b_c – середня ширина водозборів тимчасової струмкової мережі, м; I – середній ухил схилу, ‰. Змінні m_c , φ , I , b_c у виразі (1.3) відносяться до частини схилу довжиною L_a .

Параметр $r_{\tau, P\%}$ для Південного Заходу України може бути прийнятий рівним 2,1 мм/хвил.

Коефіцієнт стоку φ відповідно до ВСН 10.15 УРСР 1-87 для різних ґрунтів, агрофонів і ухилів визначається за формулою:

$$\varphi = D(b - a \ln F) [1 + 0,01 P_y (I - 160)] \quad (1.4)$$

де F – площа схилу, км²; D , b , a , P_y – параметри. Чисельні значення параметрів m_c , b_c , D , P_y , b , a наведені в табл. 1.4-1.5.

Таблиця 1.4

Значення параметрів b_c , P_y , m_c і D (ВБН 10.15 УРСР 1-87)

Характеристика поверхні	b_c м	P_y %	m_c безр.	D безр.
1	2	3	4	5
Оранка вздовж схилу	4	25	6,4	1,0
Оранка поперек схилу	6	30	4,9	0,8
Оранка з культивуацією вздовж схилу	4	25*	4,9	1,0
Оранка з культивуацією поперек схилу	6	25*	4,9	0,9

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5
Просапні з борознами вздовж схилу	6	25*	6,4	1,0
Просапні з борознами поперек схилу	6	25*	4,1	1,0
Зернові	6	25	3,2	1,0
Виноградник з рядами вздовж схилу	4	25	6,4	1,0
Виноградник з рядами поперек схилу	12	30	3,2	1,0
Вигін з рідкою травою	16	10	4,1	1,0
Вигін із травою рідкої густоти	16	15	2,7	0,8
Вигін з густою травою	16	20	2,3	0,8
Ліс у молодому віці	20	30	2,7	0,67
Ліс у середньому віці	20	30	2,3	0,45
Ліс у зрілому віці	30	30	1,9	0,25

* - інтерпольовані значення

Таблиця 1.5

Значення коефіцієнтів a і b (ВБН 10.15 УРСР 1-87)

Грунти та підгрунтя	Шар добо- вих опадів $H_{5\%}$	Вигін с негустою рослинністю		Рілля, обробка вздовж схилу	
		a	b	a	b
1	2	3	4	5	6
Дереново-підзолисті піщані, які підстилаються піщаниками та супісками	70-80	0,0128	0,30	0,0128	0,20
	80-90	0,0128	0,32	0,0128	0,22
Дереново-підзолисті піщані на лесоподібних супісках і суглинках	70-80	0,0128	0,35	0,0128	0,25
	80-90	0,0128	0,37	0,0128	0,27
Дереново-підзолисті супіщані, чорноземи опідзолені супіщані, чорноземи на елювії піщаників на лесоподібних супісках і легких суглинках	70-80	0,0128	0,40	0,0128	0,30
	80-90	0,0128	0,42	0,0128	0,32

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6
Сірі і ясно-сірі лісові лег- косуглинкові, чорноземи типові і деградовані лег- косуглинкові на лесоподіб- них суглинках	70-80 80-90	0,0256 0,0256	0,47 0,49	0,0256 0,0256	0,35 0,37
Темно-сірі лісові та чор- ноземи звичайні середньо- суглинкові на лесоподіб- них суглинках	70-80 80-90	0,0256 0,0256	0,52 0,54	0,0256 0,0256	0,42 0,44
Чорноземи звичайні та південні важкосуглинкові на суглинках щільних і середньощільних	70-80 80-90	0,0256 0,0256	0,57 0,59	0,0256 0,0256	0,42 0,44
Чорноземи звичайні гли- нисті, чорноземи південні та темно-каштанові на глинах і важких суглинках, змиті ґрунти	70-80 80-90	0,0256 0,0256	0,62 0,64	0,0256 0,0256	0,47 0,49
Солончаки каштанові, солончаки дерново-глеєві	70-80 80-90	0,0256 0,0256	0,69 0,74	0,0256 0,0256	0,54 0,59

Норма гідрометеорологічного фактора зливогого змиву в межах Південного Заходу України приймається згідно з табл. 1.6 і рис. 1.1.

Таблиця 1.6

**Значення норми $K_{ГМ}'$ зливогого змиву для регіонів
Південного Заходу України (Светличный, 1995, 1999)**

Код регіону	Регіон	Норма $K_{ГМ}'$
А	Узбережжя Чорного моря і Подунав'я	0,0024
В	Центральні і північні райони Причорноморської низовини	0,0033
С	Відроги Молдавської, Подільської і Придніпровської височин	0,0051

Зміни інтенсивності весняного змиву ґрунту вниз вздовж схилу не підкоряється закономірності, характерній для зливогого змиву через його яскраво виражений несталий характер. В зв'язку з тим, що тривалість водовіддачі при сніготаненні вимірюється, принаймні, годинами (за наявності нічних перерв), то за цей час хвиля стоку встигає добігти до підніжжя схилу і на всьому схилі формування стоку іде по типу повного схилового стоку, при якому модуль стоку зростає з віддаленням від вододілу (при інших рівних умовах). В цьому випадку вираження для розрахунку модуля весняного змиву ґрунту має вигляд:

$$W_6(x) = 10^{-5} K_{ГМБ} C_e \left[(1+p') j_p(x) I^{m'}(x) x^{p'} f_a(x) + j_p(x) f_a(x) x^{p'+1} \frac{d(I^{m'}(x))}{dx} + \right. \\ \left. + I^{m'}(x) f_a(x) x^{p'+1} \frac{d(j_p(x))}{dx} + j_p(x) I^{m'}(x) x^{p'+1} \frac{d(f_a(x))}{dx} \right], \quad (1.5)$$

де $W_6(x)$ – середньорічний модуль весняного змиву ґрунту (т/га/рік) на відстані x (м) від вододілу; $K_{ГМБ}$ – норма гідрометеорологічного фактора весняного змиву; $j_p(x)$ – часткова характеристика відносної змиваемости як функція відстані від вододілу; C_e – коефіцієнт, що враховує експозицію схилу; m' , p' – показники ступеня при ухилі схилу і відстані від вододілу, відповідно.

Показник ступеня при ухилі m' за дослідженнями (Швебс, 1974, 1981) лінійно зв'язаний з показником m , а значення показника ступеня при довжині схилу p' в формулі (1.5), на відміну від формул зливогого змиву, не дорівнює нулю вздовж всього схилу. Традиційним значенням $p' \in 0,5$. У модифікованому варіанті Універсального рівняння втрат ґрунту США (Predicting..., 1977) також пропонується при розрахунках весняного змиву користуватися постійним значенням $p = 0,5$. Однак і тут, як встановлено Г. О. Ларіоновим (1993), у зв'язку з навантаженням схилового потоку намулами, зростання інтенсивності модуля змиву пропорційно відстані від вододілу в ступені 0,5 має місце тільки в межах верхнього 200-300-метрового відрізка схилу. Нижче вздовж схилу показник ступеня зменшується.

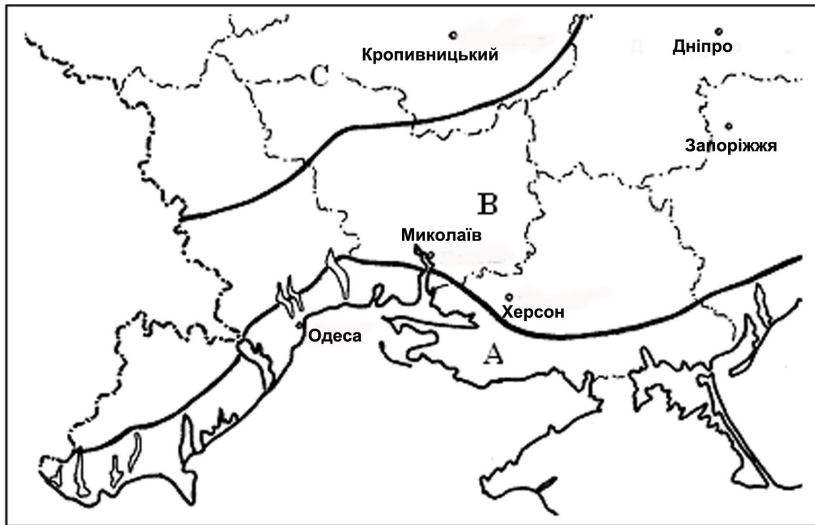


Рис. 1.1. Карта-схема регіонів норми $K_{ГМ}$

Значення показників ступеня m' і p' в формулі (1.5) визначаються з використанням емпіричних залежностей:

$$m' = 0,7 + 0,6(m-0,7), \quad (1.6)$$

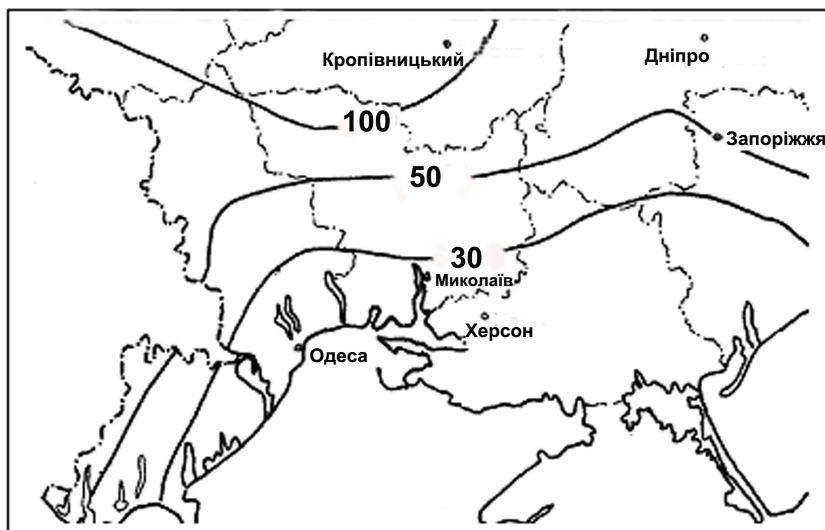
$$p' = 0,20 + 0,705x^{-0,15}, \quad (1.7)$$

Середньобагаторічне значення гідрометеорологічного фактора весняного змиву згідно з (Прокопенко, 1986) дорівнює:

$$K_{ГМВ} = 10^{-5} \rho y, \quad (1.8)$$

де y – середньорічний шар (мм) весняного стоку; ρ – середня річна концентрація наносів (г/м^3) в схиловому стоці за період сніготанення. Середньобагаторічні значення $K_{ГМВ}$ для території Південного Заходу України представлені на картосхемі (рис. 1.2).

Значення часткової характеристики відносної змиваємості наводяться в табл. 1.1.



*Рис. 1.2. Карта-схема гідрометеорологічного фактора
весняного зливу*

Для визначення коефіцієнта експозиції C_s рекомендується використати формулу, отриману Г. І. Швєбсом (1974) на основі аналізу надходження сонячної радіації на схили різної експозиції:

$$C_s = 1 + 1,75(S_0 / S_c - 1), \quad (1.9)$$

де S_0 – потік прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню; S_c – те саме на схил. При цьому:

$$S_c / S_0 = (1 / \sin h_o) (\sin h_o \cos \alpha - \cos h_o \sin \alpha \cos a_c), \quad (1.10)$$

де h_o – висота сонця, α – кут нахилу схилу; a_c – азимут (експозиція) схилу.

У табл. 1.7 представлені осереднені по широті значення коефіцієнту C_s , що рекомендуються до використання при розрахунках середньобагаторічного зливу ґрунту в межах України. Значення отримані з використанням виразів (1.9)-(1.10).

Значення коефіцієнта впливу експозиції схилу C_e

Експозиція схилу	При ухилі (градуси)				
	1	3	5	10	15
Південна	1,03	1,10	1,16	1,31	1,43
Західна	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94
Східна	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94
Північна	0,97	0,90	0,82	0,64	0,45

1.3.2. Загальні рекомендації щодо використання профільної версії моделі

Розрахунок змиву ґрунту за описаною моделлю «вручну» досить складний: розрахункові вирази містять середні значення змінних в межах відрізків профілю схилу, які постійно змінюються, а також похідні основних змінних по довжині, причому для деяких – у ступені, відмінному від одиниці. У зв'язку з цим доцільна комп'ютерна реалізація моделі.

Розрахунок змиву виконується по розрахунковим профілям, які співпадають з лініями стікання води, проведеними на великомасштабній топографічній карті (М: 1:10000-1:25000) від вододілу до підніжжя схилу перпендикулярно горизонталям. Крок розрахунку вибирається в залежності від мети розрахунків, що виконуються, і детальності досліджень. Розмір кроку, що рекомендуються – 50-100 м у залежності від довжини профілю.

Вхідними даними до моделі є:

- координати розрахункового профілю схилу;
- координати контурів еродованості;
- координати полів і характеристики основного обробітку ґрунту, сільськогосподарських культур по роках сівозміни і протиерозійних заходів для них;
- генетичний тип, підтип ґрунту і його гранулометричний склад;
- значення гідрометеорологічних факторів зливогого і весняного змиву;

- значення середньої максимальної інтенсивності зливових опадів 5%-ної забезпеченості за п'ятихвилинний інтервал;
- крок розрахунку по профілю.

Результатом розрахунку є таблиця значень зливого, весняного і сумарного змиву або акумуляції ґрунту по довжині розрахункового профілю із заданим кроком, а також середні для профілю значення зливого, весняного і сумарного змиву ґрунту.

Важливим також є представлення результатів розрахунків в графічному вигляді – у вигляді графіків зміни модулів змиву вздовж розрахункового профілю, а також розрахунок осереднених характеристик змиву за результатами розрахунків по декільком розрахунковим профілям.

1.3.3. Просторова версія моделі

Сучасний стрімкий розвиток технологій, у тому числі технологій географічних інформаційних систем (ГІС), дозволив удосконалити рівняння (1.1)-(1.2) з метою урахування неоднорідності у просторі всіх факторів водної ерозії ґрунтів. Подібне удосконалення було викликане і новими дослідженнями, які було можливо виконати саме з використанням ГІС-технологій (П'яткова, 2013; Світличний, Голосов та ін. 2014; П'яткова, Кордіс, 2014 та ін.). У новій модифікації моделі враховується просторова мінливість всіх факторів водної ерозії ґрунтів, у тому числі гідрометеорологічного фактора зливого змиву ґрунту, який у вихідній версії сприймався незмінним у межах площі всієї дослідної території. Крім того в останньому представленні моделі врахована складна структура схилового стікання та її вплив на просторовий перерозподіл змиву-акумуляції. Таким чином, отримана система математичних рівнянь зливого змиву-акумуляції ґрунту дозволяє вирішити основні проблеми, пов'язані з адекватним сприйняттям фактору рельєфу та просторової неоднорідності всіх природних та антропогенних факторів намулоутворення, транспорту та акумуляції наносів на схилах. Використання моделі в такому вигляді дозволяє оцінювати змив ґрунту на всій площі дослідної території та представляти отримані дані у вигляді електронних карт.

Рівняння просторової ГПС-реалізованої версії фізико-статистичної моделі ерозійних втрат ґрунту (або змиву-акумуляції ґрунту) мають вигляд:

при $x \leq L_a$

$$W_{3Л}(i, j) = 2,6 \cdot 10^{-6} \left[\left(1 + 0,5 \left(\frac{x'}{x} \right)^{0,5} \right) K_{ГМ}(i, j) j_R(i, j) I^m(i, j) f_a(i, j) x^{0,5} + \right. \\ + K_{ГМ}(i, j) j_R(i, j) I^m(i, j) \frac{df_a(i, j)}{dn} x^{1,5} + K_{ГМ}(i, j) j_R(i, j) \frac{dI^m(i, j)}{dn} f_a(i, j) x^{1,5} + \\ + K_{ГМ}(i, j) \frac{dj_R(i, j)}{dn} I^m(i, j) f_a(i, j) x^{1,5} + \frac{dK_{ГМ}(i, j)}{dn} j_R(i, j) I^m(i, j) f_a(i, j) x^{1,5} + \\ \left. + K_{ГМ}(i, j) j_R(i, j) I^m(i, j) f_a(i, j) x^{1,5} \frac{d(x'^{0,5})}{dn} \right] \quad (1.11)$$

при $x > L_a$

$$W_{3Л}(i, j) = 2,6 \cdot 10^{-6} \left[\left(1 + 0,5 \left(\frac{x'}{x} \right)^{0,5} \right) K_{ГМ}(i, j) j_R(i, j) I^m(i, j) f_a(i, j) L_{\Delta}^{0,5} + \right. \\ + K_{ГМ}(i, j) j_R(i, j) I^m(i, j) \frac{df_a(i, j)}{dn} x + K_{ГМ}(i, j) j_R(i, j) \frac{dI^m(i, j)}{dn} f_a(i, j) x + \\ + K_{ГМ}(i, j) \frac{dj_R(i, j)}{dn} I^m(i, j) f_a(i, j) x + \frac{dK_{ГМ}(i, j)}{dn} j_R(i, j) I^m(i, j) f_a(i, j) x + \\ \left. + K_{ГМ}(i, j) j_R(i, j) I^m(i, j) f_a(i, j) x \frac{d(x'^{0,5})}{dn} \right] \quad (1.12)$$

де $W_{3Л}(i, j)$ – модуль середньобагаторічного зливогого змиву ґрунту, т/га/рік, у точці простору з координатами (i, j) ; x – відстань від вододілу до точки (i, j) вздовж ліній току води, м; x' – приведена відстань від вододілу до точки (i, j) вздовж ліній току води, м, $x' = 0,5x(K_c(i, j) + 1)$ де K_c – коефіцієнт форми схилових мікродозборів, безрозм.; L_a – довжина привододільної зони зростання інтенсивності намулоутворення, м; $K_{ГМ}(i, j)$ – середнє у межах схилового мікродозбору до точки (i, j) значення гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту; $f_a(i, j)$ – середнє у межах схилового мікродозбору до точки (i, j) значення фактору агротехніки, безрозм.; $j_R(i, j)$ – середнє у межах схилового мікродозбору до точки (i, j) значення характеристики відносної

змиваємості ґрунту, безрозм.; L_{Δ} – робоча довжина зони активного намулоутворення, в якості якої приймається ділянка схилу, яка забезпечує максимальне значення першого доданку у виразах (1.11)-(1.12), або привододільна, або та, що примикає до розрахункового створу, довжиною L_a , м; $I(i, j)$ – середній у межах схилового мікродозбору до точки (i, j) ухил схилу, ‰; m – показник ступеню при нахилі.

При такому підході кожна точка простору (комірка растру на цифровій растровій карті) розглядається як замикаючий створ схилового мікродозбору, який простягається на схилі вище. Під *мікродозбором* будемо вважати площу поверхні схилу, з якої всі поверхневі води стікають у задану точку простору (комірку растру) із координатами i, j (рис. 1.3).

Реалізація основних обчислювальних процедур здійснена з використанням операторів та мови програмування ГІС-пакету *PCRaster*, а загальна організація процесу обчислення виконана з використанням мови програмування *Basic*.

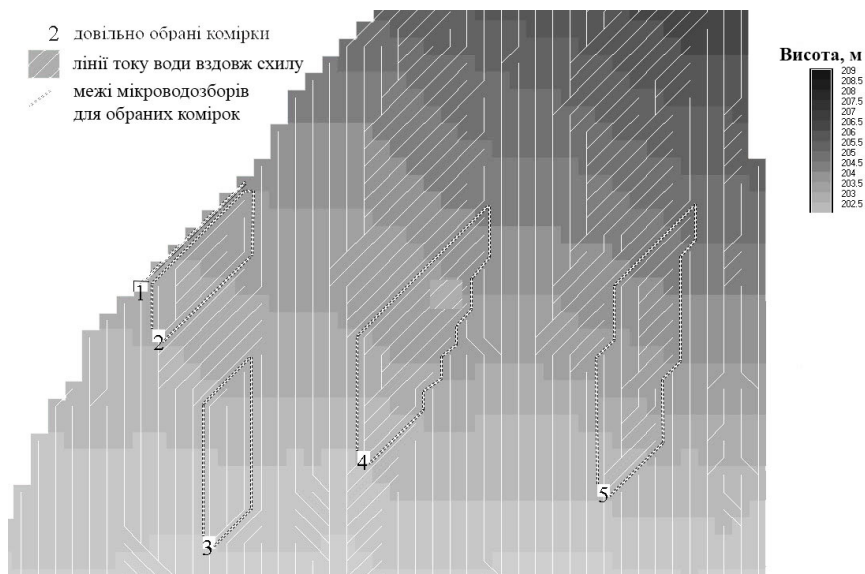


Рис. 1.3. Фрагмент цифрової моделі рельєфу із лініями току води і межами окремих схилових мікродозборів

Принципова схема реалізації та функціонування моделі представлена на рис. 1.4.

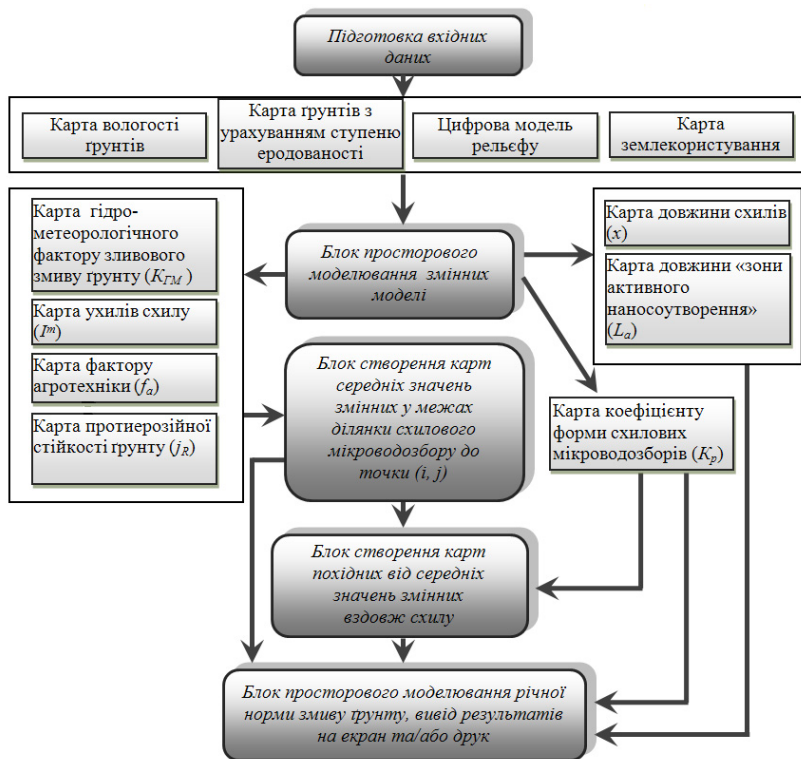


Рис. 1.4. Схема реалізації та функціонування просторової ГІС-реалізованої моделі зливого змиву-аккумуляції ґрунту

Вхідними даними для розрахунків змиву та акумуляції ґрунту у межах досліджуваної території є:

- 1) гідрологічно коректна цифрова модель рельєфу (ЦМР);
- 2) карта ґрунтів території з урахуванням ступеня їх змитості (еродованості);
- 3) карта землекористування з межами полів сівозмін та кодами культур, які на них вирощують, також враховують межі пасовищ та багаторічних насаджень, при цьому населенні пункти, промислові зони і т. п. краще вилючити з карти;

4) карта вологості верхнього півметрового шару ґрунту, яка є результатом розрахунків на основі моделі, розробленої колективом авторів кафедри фізичної географії і природокористування Одеського національного університету імені І. І. Мечникова і представленої як окремий розрахунковий модуль (Svetlichnyi, Stepovaya, Plotnitskiy, 2002).

Цифрові моделі рельєфу готують на основі топографічних карт масштабу 1:25 000, 1:10 000 та більше в залежності від площі території та потреб точності розрахунків. Величину комірки растру також обирають у залежності від необхідної точності та площі території. Зазвичай, чим більше площа, тим більшу комірку растру призначають, тому що суттєвим обмежуючим фактором є і можливості апаратного забезпечення користувача. Растрові карти, з одного боку, характеризуються високою точністю просторової інформації, а з іншого – вагомим об'ємом пам'яті. Технології створення цифрових моделей рельєфу є стандартними і описані зокрема у підручниках (Світличний, Плотницький, 2006; Новаковский, 2003 та ін.).

Основою для створення карти ґрунтів є карта типів та підтипів ґрунтів території дослідження із урахуванням ступеня їх змитості. Частіше ступінь змитості уточнюється на місцевості в ході польового вивчення ґрунтового покриття із закладенням основних розрізів, напіврозрізів та прикопок. Карту-основу оцифровують у будь-якому доступному програмному ГІС-додатку і конвертують у формат *PCRaster*.

Карта землекористування готується подібно до карти ґрунтів на основі стандартної процедури оцифровування карти землекористування території та подальшого її конвертування у *PCRaster*.

Для створення карти вологості ґрунту, яка є у моделі змиву-акумуляції основою для розрахунків гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту, розроблений окремий модуль, написаний також мовою *PCRaster*. Для розрахунків вологості верхнього півметрового шару ґрунту необхідними є цифрова модель рельєфу території, цифрова карта вододілів, дані про зональні показники вологості ґрунту.

Блок просторового моделювання змінних моделі (рис. 1.4.) представляє собою низку дій, записаних мовою *PCRaster*, що

спрямовані на створення цифрових карт, більшість з яких є похідними від цифрової моделі рельєфу, а саме – ухили схилів, експозиції схилів, довжина схилів, напрямки ліній току води (*local drain direction*). Крім того в цьому блоці моделі розраховується карта протиерозійної стійкості ґрунтів (на основі карти ґрунтів та таблиці із даними про цей показник для кожного типу, підтипу та різновиду ґрунту). Таблиця представляє собою двухколонний файл, у першій колонці якого прописується код ґрунтового різновиду (із урахуванням ступеня змитості), у другій – значення показника протиерозійної стійкості, наведений у табл. 1.1, 1.2.

Карта фактору агротехніки створюється на основі карти землекористування та двухколонної таблиці, де у першій колонці вказані коди видів землекористування та культур, а у другій – фактор агротехніки (рис. 1.5).

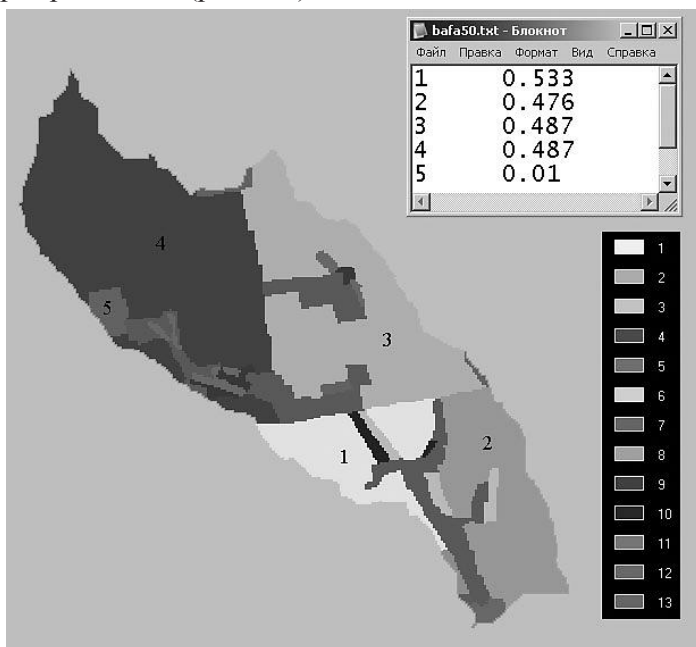


Рис. 1.5. Приклад карти землекористування та двухколонної таблиці для перекодування її у карту фактору агротехніки (враховані коди лише для земель сільськогосподарського використання)

Карта довжини зони активного намулоутворення розраховується на основі виразу (3) із використанням мови *PCRaster*.

Карта гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту розраховується в межах окремого блоку програми, який вміщує в себе моделювання цього показника на основі рівнянь зв'язку гідрометеорологічного фактору з індексом попереднього зволоження території. Рівняння цієї залежності мають вид:

$$K_{ГМ} = 0,45 K_{ГМЗ} B^{0,3}, \quad (1.14)$$

де $K_{ГМ}$ – гідрометеорологічний фактор зливогого змиву ґрунту, безрозм.; $K_{ГМЗ}$ – зональний показник (тобто характерний для вододільних просторів даної природної зони чи підзони) гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту, безрозм.; B – індекс попереднього зволоження території, безрозм.

У свою чергу встановлена територіально загальна залежність між індексом попереднього зволоження (B) та вологістю верхнього шару ґрунту (W), яка описується аналітичним рівнянням:

$$B = 59,2 \left(\frac{W - W_{МГ}}{W_{НВ} - W_{МЗ}} \right)^2 + \frac{71,3 - W_{МГ}}{4,08}, \quad (1.15)$$

де $W_{нв}$ – найменша польова вологоємність ґрунту, мм; $W_{мз}$ – максимальна гігроскопічність, мм; W – вологість верхнього півметрового шару ґрунту на вододільній поверхні, мм.

Всі представлені рівняння повністю реалізовані в середовищі програми *PCRaster*.

Цифрова карта коефіцієнту форми схилових мікродозборів розраховується лише для окремих схилів або полів сівозмін, тобто для невеликих за площею територій, для яких цифрові моделі рельєфу мають величину комірки растру не більше 5 м (П'яткова, 2013). За цих умов коефіцієнт форми мікродозборів впливає на розрахунки ерозійних втрат ґрунту. При більшій комірці растру форма мікродозборів втрачає свою значущість. Коефіцієнт форми мікродозборів враховує ступінь концентрації поверхневих водних потоків у даній точці із координатами i, j .

Блок створення карт пересічних значень всіх змінних моделі в межах схилового мікродозбору реалізований за допомогою програмної мови *Basic*. Для всіх змінних величин моделі в заданій комірці растру розраховується середнє по площі значення, приймаючи до уваги, що задана комірка є замикаючим створом мікродозбору (як показано на рис. 1.3). Таким чином, розрахунок представляє собою цикл, у межах якого для кожної комірки растрової карти розраховується середня величина змінних моделі.

Звісно, подібні розрахунки досить об'ємні і, якщо растрова карта велика за площею та містить сотні тисяч комірок, то вони вимагають багато часу і об'єму пам'яті комп'ютера. З метою оптимізації навчального процесу, розроблений спрощений варіант розрахунків середніх значень величин моделі. Для оцінки ерозійної небезпеки значної території, наприклад, басейну малої річки або декількох фермерських господарств таке спрощення припустимо, але з метою оптимізації землекористування та планування земель у межах окремих полів, схилів ерозійних форм рельєфу, окремих невеликих фермерських господарств необхідно використовувати повний варіант моделі.

Наступний блок – послідовність дій, спрямованих на отримання цифрових карт похідних від середніх значень усіх величин моделі. Дії реалізуються мовою *PCRaster*.

Нарешті, у останньому блоці реалізований розрахунок модулю багаторічного змиву ґрунту для території. Таким чином, в результаті використання просторової ГІС-реалізованої версії моделі зливого змиву-аккумуляції ґрунту одержується цифрова карта змиву-аккумуляції ґрунту в межах дослідної території.

1.3.4. Протиерозійні прийоми

Протиерозійними прийомами (заходами) називають різноманітні заходи, спрямовані на запобігання інтенсифікації розвитку водної ерозії ґрунтів, зниження її темпів або навіть вилучення земель з сільськогосподарського використання (консервування земель). Кожний протиерозійний захід окремо або частіше їх комплекс протидіє інтенсивності прояву одного або декількох чинників ерозійного процесу. Це, у свою чергу, приводить або

до зменшення швидкості стікання води з поверхні схилів, або до збільшення здатності ґрунту протистояти руйнівній дії крапель дощу і поверхневого стоку. За умов грамотного використання протиерозійних прийомів утворюються комплекси або системи взаємозалежних ґрунтозахисних заходів, які здатні забезпечувати надійне регулювання поверхневого стоку для кожного водозбору або схилу. Вищою формою таких комплексів є ґрунтозахисні системи землеробства – контурно-меліоративна та ландшафтна або ландшафтно-адаптивна.

Усе різноманіття протиерозійних заходів об'єднують у чотири великі групи: організаційно-господарські, агромеліоративні, лісомеліоративні та гідромеліоративні (рис. 1.6).

Визначення складу протиерозійних прийомів з урахуванням певних природних умов і господарського використання вирішується у процесі розробки *організаційно-господарських* заходів. До цієї групи належать:

- протиерозійна організація території, включаючи класифікацію земель за однотипністю та інтенсивністю прояву ерозійної деградації ґрунтів і можливому їх використанню, розміщення мережі лісонасаджень, доріг, найпростіших гідротехнічних споруд;

- обмеження ступеня сільськогосподарського освоєння території;

- обмеження ступеня насичення сівозмін окремими сільськогосподарськими культурами (наприклад, олійними або просяпними).

Першим етапом організаційно-господарських заходів є класифікація земель за однотипністю та інтенсивністю прояву ерозійної деградації ґрунтів і можливому їх використанню. Існуючи ерозійні схеми класифікації земель передбачають виділення трьох типів земель.

До першого типу звичайно відносять неушкоджені і слабо ушкоджені ерозією землі на рівних і слабопологих схилах (до 3°), де можливе вирощування основних сільськогосподарських культур (включаючи просяпні і чистий пар), а стік регулюється найпростішими агротехнічними прийомами та полезахисними лісосмугами.



Рис. 1.6. Класифікація протиерозійних заходів

До другого типу належать частини схилів з великими ухилами (від 3° до 7-9° за різними схемами) із середньо- і сильнозмитими ґрунтами, наявністю струминних розмивів, придатні для обмеженого обробітку. Стік на цих схилах регулюється агротехнічними, лісомеліоративними і гідротехнічними протиерозійними заходами.

Нижня частина схилів з ухилами більше 7-9° зайнята переважно сильнозмитими ґрунтами. Вона виділяється в третій тип

земель. Землі цього типу використовуються для пасовищ або підлягають повному залісенню.

Досвід протиерозійної організації території показує, що прямолінійні контури сільськогосподарських угідь, розміщення доріг і меж полів навіть поперек схилу, як правило, не задовольняють вимогам впровадження інтенсивних засобів боротьби з водною ерозією. Прямолінійні межі полів сівозміни перетинають горизонталі під тим чи іншим кутом і, отже, напрямки обробітку ґрунту, розміщення посівів вздовж прямолінійної межі створюють умови для руху струменів поверхневого стоку вздовж гребенів оранки або в міжряддях сільськогосподарських культур, що посилює ерозійну небезпеку.

Отже, межі угідь і полів сівозміни або, у крайньому випадку, робочих ділянок повинні бути розміщені у вигляді смуг, які збігаються з основним напрямком горизонталей. Найбільш повно ідея контурного розміщення полів реалізована у контурно-меліоративному землеробстві.

Обмеження ступеня сільськогосподарського освоєння території включає: заборону або обмеження вирубувань лісу, розорювання земель, випасання худоби на найбільш ерозійно-небезпечних ділянках, збереження при освоєнні нових земель ділянок лісу і луків протиерозійного призначення, особливо в заплавах річкових долин і балках, на крутих прирічкових і прибалочних схилах, у великих водовідвідних улоговинах.

Важлива роль у комплексі організаційно-господарських заходів належить обмеженню ступеня насичення сівозмін окремими сільськогосподарськими культурами на схилах. У кожній категорії земель на орних землях організуються сівозміни: польові, кормові, ґрунтозахисні та інші (овочеві, ефіроолійні тощо). Ґрунтозахисні сівозміни повинні містити питому вагу багаторічних трав (20-50 % і більше) із включенням зернових колосових культур суцільної (або перехресної) сівби. Із сівозміни виключається чистий пар і до мінімуму обмежуються або виключаються посіви просапних культур. Багаторічні трави (люцерна, еспарцет, конюшина, костер, житняк тощо) застосовуються в ґрунтозахисних сівозмінах як у чистих посівах, так і в суміші.

Агромеліоративні заходи необхідно здійснювати на всіх схилових землях, які задіяні у землеробстві. Зональний склад агромеліоративних протиерозійних заходів встановлюється залежно від природних і господарських умов, але майже скрізь використовуються такі основні групи (Сазонов и др. 1984; Пабат, 1992) (рис. 1.6):

- фітомеліоративні агрономічні прийоми захисту ґрунтів від ерозії;

- прийоми протиерозійного обробітку ґрунтів;

- агрохімічні прийоми підвищення родючості ґрунтів і захисту їх від ерозії;

- агрофізичні прийоми підвищення протиерозійної стійкості ґрунтів.

Група фітомеліоративних агрономічних прийомів захисту ґрунту найбільш повно використовує меліоративну роль багаторічних трав і однолітніх культур. У комплексі з іншими прийомами вони можуть забезпечити захист ґрунту від ерозії, сприяти відновленню родючості змитих ґрунтів, підвищенню продуктивності всіх сільськогосподарських угідь, розташованих на ерозійно-небезпечних землях. До цієї групи належать:

- застосування ґрунтозахисних сівозмін із зональним підбором складу культур;

- встановлення і застосування оптимальних норм висіву культур у сівозміні з урахуванням ступеня еродованості ґрунтів;

- контурний, перехресний або діагонально-перехресний посів культур на схилах;

- застосування ґрунтозахисних сівозмін з розміщенням культур смугами на схилах ;

- посів на парах буферних смуг;

- посів на полях із просапними культурами буферних смуг;

- застосування пожнивних, післяукісних і різних варіантів змішаних посівів і сидератів; суцільного або смугового мульчування;

- контурна посадка багаторічних насаджень;

- посів у міжряддях багаторічних насаджень буферних смуг з багаторічних трав і однолітніх культур, черезрядне залуження міжрядь, мульчування міжрядь;

- поверхневе і корінне поліпшення луків і пасовищ на схилах;
- освоєння ґрунтозахисних пасовищеоборотів на схилових землях;
- черезсмугове освоєння малопродуктивних схилів під посіви кормових культур;
- залуження водостоків;
- проведення в оптимальний термін усіх польових робіт з урахуванням експозиції схилу, стану ґрунту, його вологості та температури (Сазонов и др., 1984).

Один із найбільш ефективних із зазначених вище фітомеліоративних заходів – смугове розміщення культур – має величезне значення в умовах контурного розміщення меж угідь, полів і робочих ділянок. У цьому випадку більш повно використовуються захисні властивості сільськогосподарських культур, тому що чергування в смугах дозволяє поєднувати різні за ерозійною небезпекою агрофони і проєктивні покриття ґрунту за фазами розвитку рослин. На смугах з різною шорсткістю, проєктивним покриттям, агротехнічним нанорельєфом і водопроникністю успішно гальмується стік та відбувається його поглинання. Ґрунт, змитий на окремих смугах (пар, просапні культури), затримується сусідньою смугою з іншим агрофоном (багаторічні трави, культури суцільної сівби).

На пару з застосуванням буферних смуг змив ґрунту зменшується до 10 разів. На полях з просапними культурами на схилах, підвернених слабкій ерозії, роблять буферні смуги шириною 4-6 м з відстанню між ними 50-60 м. На схилах 3-7°, де ерозія виражена сильніше, ширину смуг збільшують до 8-10 м, а відстань між ними зменшують до 30-40 м (Справочник..., 1990).

До прийомів протиерозійного обробітку ґрунту відносять:

- обробіток поперек схилу та контурний обробіток;
- глибоку оранку та оранку з ґрунтопоглибленням;
- ступінчасту оранку;
- безполицевий обробіток ґрунту зі збереженням стерні;
- плоскорізнний, чизельний та нульовий обробіток ґрунту;
- комбіновану полицево-безполицеву оранку;

— оранку пару і підйом зябу з одночасним утворенням борозен, валиків, переривчастих борозен, лунок;

— створення на зябу і пару в ерозійне небезпечні періоди протиерозійного нанорельєфу: борозен, переривчастих борозен, валиків, лунок, мікролиманів;

— смугове розпушування;

— щілиновання зябу, озимих, пару, ярових і просапних культур;

— кротування ґрунту;

— прикочування ґрунту з одночасним щілюванням, а також з одночасним валкуванням і щілинованням;

— посів з одночасним прикочуванням і щілюванням ґрунту, а також з одночасним валкуванням і щілинованням;

— посів з одночасним формуванням переривчастих борозен;

— посів культур з одночасним утворенням борозен;

— осіннє щілиновання ґрунту під озимими;

— весняне щілиновання ґрунту під озимими і яровими культурами;

— щілиновання ґрунту при обробітку міжрядь просапних культур;

— переривчасте борознування і щілиновання ґрунту при обробітку міжрядь просапних культур тощо.

Поперек схилу обробляють ґрунт при ухилах $0,5^\circ$ і більше. При ухилі $1-2^\circ$ поверхневий стік на зябу, поораному поперек схилу, у 3-4 рази менше, ніж при її оранці уздовж схилу. А при ухилі до $1,5^\circ$ у результаті оранки поперек схилу стік може бути зрегульований цілком (Сазонов и др. 1984; Пабат, 1992; Тарарико, Вергунов, 1992 та ін.). Однак більшість дослідників обмежує використання цього прийому ухилами $2-3^\circ$, оскільки із збільшенням ухилу місткість поверхневих мікродепресій, що створюються на поверхні ґрунту при поперечній обробці, зменшується, а при їх переповненні можливе утворення «лавинного» ефекту, здатного викликати значні руйнування ґрунту.

Глибока оранка поділяється на глибоку культурну оранку і оранку з ґрунтопоглибленням. Глибока культурна оранка (на глибину 25-30 см) виконується звичайними плугами. На солонцюва-

тих, змитих та інших ґрунтах з незначним гумусовим горизонтом виконується або оранка з ґрунтопоглибленням, або глибокий безполицевий обробіток ґрунту. Безполицевий обробіток виконується плугами без відвалів на глибину до 40 см. Стерня, що збереглася після зернових культур, сприяє нагромадженню снігу, зменшує промерзання ґрунту, поліпшує його водопроникність, скорочує стік і змив ґрунту. Оранка поперек схилу з ґрунтопоглибленням (20-22 см плюс 12-15 см унаслідок поглиблення) збільшує запаси води в ґрунті до 20-30 мм (Сазонов и др. 1984; Каштанов, Заславский, 1984; Пабат, 1992).

Плоскорізний обробіток ґрунту і посів зернових зі збереженням стерні застосовуються для запобігання ґрунту як від ерозії, так і дефляції, процеси якої набули значного поширення в Україні. Виконують його широкозахватними культиваторами-плоскорізами (при обробітку на глибину 12-18 см) та плоскорізами-глибокорозпушувачами (при глибині розпушування 20-30 см). Протиерозійна ефективність плоскорізного обробітку пов'язана зі збереженням на поверхні ґрунту післяпозивних решток.

Для посіву по плоскорізному обробітку застосовуються сівалки-культиватори і лушпильники-сівалки. Після посіву зазначеними сівалками на поверхні зберігається до 45-60 % стерні, а завдяки прикочуванню рядків утворюється дрібногребениста поверхня, що зберігає протиерозійні характеристики поверхні ґрунту на досить тривалий час.

Інший спосіб ґрунтозахисного обробітку ґрунту – чизелювання ґрунту, тобто безполицеве розпушування ґрунту – чизелювання знаряддями. Чизелювання застосовують для суцільного глибокого розпушування ґрунту під культури суцільної сівби і просапні культури, при догляді за парами. Глибина розпушування при чизелюванні 16-60 см. Розпушування плужної підшви й ущільнених шарів ґрунту посилює водопроникність. Крім цього, протиерозійний ефект має ускладнений нанорельєф (збільшується гребенистість), а також збереження близько 60 % стерні порівняно з іншими способами обробітку (Пабат, 1992).

Сьогоднішні прагнення до зниження витрат у землеробстві збільшують інтерес до прямого посіву, тобто до повної відмови від попереднього обробітку ґрунту. Так званий нульовий обробіток

особливо ефективний у степовій зоні, де можна використовувати посів зерна безпосередньо в стерню. Однак нульовий обробіток має свої недоліки, тому що вимагає винятково високої культури землеробства і суворого дотримання термінів агротехнічних робіт залежно від особливостей клімату. Прямий посів виконується при збереженні стерні і рівномірно розкиданий здрібненій соломі. Стерня сприяє затримці снігу і нагромадженню вологи, а здрібнена солома перешкоджає випаровуванню. Це значно знижує ризик виникнення ерозії.

Створення на зябу і пару протиерозійного нанорельєфу – борозен, валиків, переривчастих борозен, лунок, мікролиманів – виконується спеціальними сільськогосподарськими знаряддями. Середні розміри переривчастих борозен і лунок становлять: глибина – 10-15 см, ширина – 30-40 см, довжина – 100-140 см. Сумарна ємність на схилах до 2-3° становить 250-350 м³ на 1 га площі. Але із збільшенням ухилу місткість затримання зменшується. Крім цього, ущільнення ґрунту в днищах лунок призводить до зменшення вбирання вологи в ґрунт, а збільшення площі випарувальної поверхні після створення нанорельєфу – до збільшення випаровування ґрунтової вологи.

Щілювання і кротування зябу, пару, багаторічних трав, косовиць, пасовищ, ґрунту перед посівом сільськогосподарських культур (а в окремих випадках зернових і просапних культур) виконується щілерізом-кратователем ЩН-2-140. Глибина ходу ножів щілеріза досягає 43 см.

До агрохімічних прийомів підвищення родючості і захисту ґрунтів від ерозії на схилах належать:

- збільшення внесення доз гною та інших органічних добрив залежно від ступеня змитості ґрунтів;
- застосування оптимальних норм фосфорних і калійних добрив з урахуванням ступеня змитості ґрунтів;
- внесення в еродовані ґрунти мікродобрив;
- застосування бактеріальних препаратів;
- вапнування кислих змитих ґрунтів і гіпсування осолонцюваних змитих ґрунтів.

Диференційований підбір внесених добрив, способів і термінів внесення повинен забезпечувати найбільш ефективне їхнє

використання і запобігати втраті добрив при формуванні схилового стоку.

Перше місце серед добрив займають гній і компост. Застосуванням гною (компосту) збільшує окультурення ґрунту, зруйнованого ерозією, поліпшує його фізичні та хімічні властивості. Разом з тим внесення гною активізує діяльність мікрофлори. Мінеральні добрива на змитих ґрунтах, як правило, більш ефективні, ніж на незмитих. На незмитому ґрунті внесення азоту збільшувало врожай жита на 26,5 %, на слабкозмитому – на 31,8 %, на середньозмитому – на 57,7 %. Так само реагує на добриво і пшениця (Сазонов и др., 1984).

Підвищення водопроникності і протиерозійної стійкості ґрунту досягається завдяки агрофізичним прийомам – обробітку ґрунтів полімерами-структуроутворювачами, латексами, внесенню в ґрунт інших препаратів, які підвищують протиерозійну стійкість ґрунтів. Збільшення розмірів структурних часток ґрунту в результаті застосування цих препаратів приводить до підвищення некапілярної шпаруватості і загального підвищення водопроникності. Ця особливість зумовлює і підвищення стійкості щодо подрібнення агрегатів при перенесенні їх струменями води.

У комплексі заходів, спрямованих на захист ґрунтів від водної ерозії, важливе місце належить *агролісомеліорації* (або *лісомеліоративних прийомів*) внаслідок її відносної дешевизни та екологічної нешкідливості. Основними лісомеліоративними протиерозійними заходами є (Сазонов и др., 1984):

- створення стокорежуючих лісосуғ у малолісових районах;
- створення водоохоронних лісових насаджень навколо ставків і водойм;
- протияружна лісомеліорація;
- суцільні протиерозійні лісопосадки на сильноеродованих землях, непридатних для використання в сільському господарстві.

Стокореґульовальні лісоосуғи закладаються на еродованих схилах, які використовуються під сільськогосподарські культури і призначені для переведення поверхневого стоку у внутрішньо-

грунтовий та розпилення концентрованих струменів водного потоку і зменшення їх швидкості, що спричинює осадження в лісосмузі наносів. Кількість лісосмуг і відстань між ними залежать, головним чином, від крутизни та довжини схилу: із збільшенням цих показників відстань між лісосмугами зменшується. Розташовуються водорегулюючі лісосмуги уздовж горизонталей. Ширина смуг повинна бути не менше 12,5 м. Скорочення або припинення змиву ґрунту і поліпшення водного режиму водорегулюючими смугами приводить, як правило, до підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь у 1,5-2 рази.

Водоохоронні лісові насадження навколо ставків і водойм створюються для захисту берегів від руйнування, водойм – від замулення продуктами ерозії. Ширина водоохоронних лісових насаджень (смуг) навколо ставків і водойм залежно від крутизни схилу і механічного складу ґрунту коливається від 10 до 20 м. На схилах, складених гравійно-хрящуватими та піщаними породами, вирощують густі однарусні соснові насадження з чагарниковим підліском.

Лісомеліоративні протияружні заходи та прибалкові насадження проводяться для призупинення росту і закріплення діючих ярів з метою переведення поверхневого стоку у внутрішньо-грунтовий, збільшення протиерозійної стійкості ґрунту, розпилення поверхневого стоку і скріплення породи. Лісомеліоративні ґрунтозахисні насадження сприяють підвищенню ефективності всіх заходів єдиного протиерозійного комплексу.

Прибалкові лісосмуги створюються на відстані 2-5 м від брівки і над їхніми вершинами для перехоплення стоку і закріплення ґрунту кореневими системами з метою уповільнення або повного припинення збільшення ярів. Ширина прибалкових лісосмуг повинна бути не менше 15 м.

Суцільне залісення проводиться на укосах ярів з ухилами 8° і більше, а також по берегах балок (суходолів), що малоприсадибні для лугових і пасовищних угідь. Залісення укосів ярів допускається тільки в тому випадку, якщо укоси сформували стійкий профіль, тобто кут їхнього нахилу становить не більше 32° на суглинках і 26° – на супісках. Відносно стабільні яри, що покриті трав'янистою рослинністю, також піддаються залісенню: або

безпосередньо, або з попереднім терасуванням. Лісові насадження на дні яру дозволяють уникнути подальшого його поглиблення. На ранній стадії розвитку дно яру вузьке, і заліснення зробити важко, тому спочатку усувають загати, а потім дно закріплюють вологолюбними породами дерев, які швидко розвиваються.

У системі заходів з захисту ґрунтів від ерозії *гідротехнічні заходи* є засобами активного, безпосереднього впливу на схилувий і русловий стік для меліорації зруйнованих ерозією земель і припинення яружного руйнування. До них належать (рис. 1.6):

- водоутримуючі споруди (вали-тераси, водоутримуючі вали та водовідвідні канави для перехоплення і відведення схилового стоку талих і зливових вод; розпилювачі стоку;

- споруди для скидання надлишкового стоку (лотки-швидкотоки, ступеневі перепади тощо);

- споруди для укріплення днищ ярів та балок (запруд, греблі тощо);

- схиліві тераси різного типу.

З водоутримуючих споруд в Україні найбільшого поширення зазнали вали-тераси. Ці споруди мають невелику висоту (0,3-0,6 м) та некруті укоси ширина основи у 8-12 разів більше висоти, що забезпечує можливість проходу тракторів та інших сільськогосподарських машин. Для повного затримання стоку вісь вала розміщується чітко по горизонталях. Через кожні 50-60 м будують перемички, які розташовують перпендикулярно вісі валів. В умовах екстремального стоку, коли існує небезпека прориву вала, наявність таких перемичок зменшує ризик великих розмивів ґрунту. Кількість валів-терас розраховується на повне затримання весняного або зливого стоку заданої забезпеченості (як правило, 10 %). Використання валів-терас найбільш ефективно на схилах з ухілами не більше 3-4°. На ґрунтах важкого гранулометричного складу, з низькою водопроникністю можливе тривале стояння води в ставках, що призводить до вимокання посівів. Для більш рівномірного розподілу ґрунтової вологи та зменшення небезпеки вимокання посівів рекомендується застосовувати на терасах між валами щілювання, кротування тощо. Дослідження показують, що можна збільшити відстань між валами за рахунок

зростання поглинання води при впровадженні суто агротехнічних засобів регулювання поверхневого стоку.

Створення на схилах протиерозійних валів-терас з відстанню між валами 36 м зменшувало обсяг стоку в 5-8 разів порівняно з нетерасованим контролем, сумарне вимивання біогенних елементів (з водою і ґрунтом) на ділянках без терас було в десятки разів більше порівняно з терасованими схилами: азоту – у 14-23 рази, фосфору – у 11-37 разів, калію – у 14-38 разів, кальцію – у 23-24 рази. Сумарні втрати активного кальцію, що регулює фізико-хімічні і водно-фізичні властивості ґрунтів, були на ділянці без терас у 10-15 разів більшими, ніж на терасованому схилі (Копистинський, 1983; Та-рарико, Вергунов, 1992).

Водоутримуючі вали облаштовують для відведення стоку від ділянок, що зазнали значного впливу яружних ерозійних процесів. Стік затримується валами, а потім через спеціальні водовідвідні споруди скидається на добре задернова ні або залісені схили чи днища улоговин, які повинні бути попередньо укріплені. Висота валів і їхня довжина визначається ухилами схилу та обсягами регульованого стоку. Як правило, вали споруджують висотою 1-1,5 м, шириною по поверхні 1,5-2,5 м із закладенням укосів – сухого 1:1 або 1:1,5, мокрого 1:2. Для спорудження водоутримуючих валів і перемичок більш придатні суглинні ґрунти. Ґрунт для спорудження вала береться з ділянки, розташованої вище місця закладення вала. Побудовані вали зміцнюють посівами багаторічних трав або травосумішками.

Водовідвідні канами створюють для скидання та відведення талих та дощових вод. Перехоплений поверхневий стік спрямовується у водоутримуючі або водоскидні споруди, до розпилювачів стоку, на схили балок, виярки та лощини, що добре задерновані або зарослі лісом чи чагарниками. Найчастіше використовується трикутна форма поперечного профілю водовідвідних канав із закладанням укосів 1:2-3.

Розпилювачі стоку являють собою земляні валики висотою 30-50 см і положистими укосами, які перекривають водостік і вивідну борозну, що є продовженням валика і перерізує місцевий вододіл потяжини чи будь-якого іншого підвищення. У разі відсутності виражених улоговин розпилювачі роблять у вигляді

борозни або виїмки з валиком. Вони можуть проходити прямо-лінійно або криволінійно, але обов'язково з таким розрахунком, щоб борозна або виїмка в усіх випадках знаходилась першою на шляху стоку.

Споруди для скидання надлишкового стоку влаштовують у верхів'ях ярів (тому їх і називають – «вершинними») для безпечного скидання концентрованого поверхневого стоку на нижні рівні в тих випадках, коли вершини ярів близько підходять до цінних технічних споруд – житлових і промислових будівель, шляхів сполучення, мостів і ін. До них відносять швидкоотоки, ступеневі перепади і консольні водоскиди. Ці споруди будують з фашин (зв'язок хворосту), дерева, каменя, бетону і залізобетону. Матеріал вибирають, виходячи з об'єму води, що пропускається через споруду. У особливо відповідальних випадках вершинні споруди виконують з бетону і залізобетону за спеціальними проектами.

На шляху концентрованого водного потоку, щоб води, які скидаються в яр, не розмивали його дно, у руслі яру встановлюють систему поперечних стінок, що розбивають подовжній профіль дна на ряд терас. Стінки розташовуються вертикально уступами і повинні мати безпечний щодо розмиву ґрунту ухил. Поперечні стінки на дні яру можуть бути кам'яними, бетонними, дерев'яними, плотовими. Дерев'яні і плотові загати застосовуються тільки у вибалках, тому що термін їхньої дії не перевищує двох-трьох років. Закріплені яри, які поступово перетворюються на задерновану балку, використовують, як правило, під пасовища. Багате мулистими відкладеннями дно можуть відводити під штучні луги, а схили – під деревні насадження або під ягідники.

На гірських схилах, схилах великих балок та по берегах річок часто застосовують такий ефективний засіб боротьби з ерозією, як терасування. Створення терас є штучною зміною поверхні схилів для кращого використання їх під сільськогосподарські та лісові культури. При терасуванні створюють тераси у вигляді обмежених валами площадок, уступів, канав і т. ін. Розрізняють тераси гребенеподібні, східчасті (лавоподібні), траншейні і тераси-канави.

Гребенеподібні тераси облаштовують при ухилах місцевості 1-7°, насилаючи поперек схилу вали висотою 25-40 см. Шири-

на терас (відстані між валами) 18-50 м. Використовуються тераси для вирощування винограду, плодових культур, насаджень з чагарників та декоративних дерев. Вийнятий із траншеї підгрунтовий шар йде на утворення валів, траншеї заповнюють ґрунтом, знятим із самої траншеї та з прилеглої площі.

Тераси-канави, влаштовують у районах з ухилом місцевості 7-40° і при тонкому шарі ґрунту. Вали насипають заввишки 2-2,5 м з ґрунту, вийнятого з канав, які служать для збору і відведення зливого стоку та зволоження валів. Вали використовуються для вирощування плодових і лісових порід.

Східчасті тераси найбільш поширені; застосовуються для вирощування овочевих, плодових культур і винограду на місцевості з ухилом 7-15°. Поверхня терас горизонтальна або з ухилом не більш 7°. Ширина східчастих терас не менш 2,5-3 м. Укоси терас іноді зміцнюють кам'яною кладкою, завдяки чому вони стають більш стійкими. Але найчастіше роблять похилі земляні укоси, що закріплюються багаторічними травами та травосумішами.

При терасуванні влаштовують нагорні водовідвідні канави, що регулюють стік. При ширині терас 4,5-5 м можливий механізований обробіток ґрунту. На терасах шириною понад 6 м розміщують по 2 ряди і більше яблуні і груші на шпалерах (опорах у вигляді вертикальної, горизонтальної або іншої площини, до якої підв'язують гілки дерев). Утворення терас проходить кількома способами: плантажне (виконується плантажними плугами), бульдозерне (здійснюється універсальним бульдозером на схилах з великими похилами), напашне (проводиться звичайними тракторними плугами) (Копистянський, 1983; Сазонов, 1984).

Значущість усіх цих заходів визначається тим, що вони здатні негайно припинити руйнівний вплив поверхневого стоку та, у багатьох випадках, перевести частину вологи, що втрачається і руйнує ґрунт, в активні запаси, які можуть бути використані для формування врожаю сільськогосподарських культур. Засоби протиерозійної гідротехніки майже завжди займають, як і захисні лісонасадження, постійну площу і служать для надійного та довгострокового меліоративного впливу на режим поверхневого стоку.

На відміну від біологічних компонентів протиерозійного комплексу гідротехнічні спорудження забезпечують лише захист і продуктивне використання земель безпосередньо в зоні їхнього впливу, але не дають побічної продукції, як лісові насадження або різного роду куліси. Їх застосовують у випадку економічної доцільності і якщо не можна використовувати інші протиерозійні заходи.

1.3.5. Грунтозахисна ефективність агромеліоративних протиерозійних заходів

Здатність грунтозахисних заходів протистояти ерозійному руйнуванню земель – їх протиерозійна ефективність – має виключно важливе значення при проектуванні заходів із захисту ґрунтів від ерозії або, розглядаючи питання ширше, оптимізації використання ерозійно-небезпечних земель. Без обґрунтованих кількісних показників ефективності протиерозійних заходів неможливе упровадження в практику об'єктивних кількісних методів рішення цих задач.

Оскільки будь-який протиерозійний захід впливає на один або декілька чинників ерозійного процесу, можлива оцінка протиерозійної ефективності грунтозахисних заходів на основі чисельних експериментів з моделлю ерозійного процесу, що враховує всі основні чинники наносоутворення, транспорту і відкладення наносів. Принципи такої оцінки обговорювалися ще в кінці 70-х років минулого століття (Швебс, Светличный, 1979). В подальші роки були зроблені достатньо успішні спроби проведення оцінки окремих протиерозійних прийомів з використанням методу імітаційного моделювання (Світличний, 1995; Сухановский, 2000).

Проте широке вживання цього методу стримується відсутністю надійних динамічних моделей ерозійно-аккумулятивного процесу відповідної детальності. Тому практично єдиним методом оцінки ефективності протиерозійних прийомів і їх поєднань (комплексів) є польовий дослід.

Саме на основі багаторічних польових дослідів, проведених за єдиною програмою і методикою на стоково-ерозійних

стаціонарах США (більш ніж на 8000 ділянках у 36 районах у 21 штаті), одержані обширні статистичні дані, що дозволили ерозіознавцям цієї країні виконати досить детальну оцінку протиерозійної ефективності різних ґрунтозахисних прийомів і їх сполучень.

У колишньому Радянському Союзі, не дивлячись на велику кількість досліджень з експериментальній перевірці окремих протиерозійних заходів і їх комплексів, проведених різними установами і організаціями, так і не була розроблена єдина методика постановки польових дослідів і представлення одержаних результатів, яка дозволяла б об'єктивно їх інтерпретувати. Протиерозійна ефективність того або іншого прийому на практиці оцінювалася по одному або декільком суб'єктивно вибраним показникам – по величині стоку води, його мутності, змиву ґрунту, запасав ґрунтової вологи, винесенню з ґрунту живильних речовин, врожайності сільськогосподарських культур і ін.

Найбільш часто як показник протиерозійної ефективності ґрунтозахисних прийомів і їх комплексів використовувалася врожайність сільськогосподарських культур. Мабуть, це пов'язано з тим, що врожайність є основним критерієм стандартних польових дослідів в землеробстві і завжди визначається при їх проведенні для всіх варіантів і контролю. Проте рахувати зміну врожайності на варіанті досліду з протиерозійним заходом порівняно з контролем як прямий показник протиерозійної ефективності прийомів по захисту ґрунтів від ерозії принципово невірно. Дійсно, при змиві ґрунту навіть у розмірі 10 т/га в рік («дуже сильний» змив за М. М.Заславським (1983)), загальні втрати ґрунту за чотири-п'ять років, протягом яких, як правило, проводиться польова перевірка протиерозійного прийому, складуть близько 5 мм. Таке зменшення потужності гумусного горизонту у більшості випадків не може зробити помітного впливу на родючість ґрунту. Тобто відмінність у врожайності на оцінюваному варіанті і контролі, обумовлена саме ерозійними процесами протягом періоду польових досліджень (2-4 і навіть 7-10 років), знаходиться в межах помилки польового досліду. Приріст врожайності, що знаходиться різними авторами при

проведенні тих або інших протиерозійних заходів, є, як правило, проявом їх непрямого впливу – за рахунок збільшення запасів ґрунтової вологи, поліпшення водно-фізичних властивостей і ін.

Теоретичні дослідження проблеми кількісної оцінки ефективності протиерозійних заходів (Швебс, 1981; Швебс, Светличный, 1981; Герасименко, 1983; Светличный, Швебс, 1984 і ін.) показали, що найбільш інформативним показником протиерозійної ефективності ґрунтозахисних заходів є відношення величини змиву ґрунту у варіанті досліді з оцінюваним заходом до змиву ґрунту в контролі:

$$K_e = \frac{W_i}{W_k}, \quad (1.16)$$

де K_e – коефіцієнт протиерозійної ефективності конкретного заходу, безр.; W_i – змив ґрунту на варіанті досліді з оцінюваним протиерозійним заходом, т/га, W_k – змив ґрунту на контролі, т/га. Показник K_e фактично є коефіцієнтом зменшення змиву ґрунту певним протиерозійним заходом і теоретично змінюється від 1,0 (зниження немає і протиерозійна ефективність дорівнює 0) до 0 – ерозія ґрунту повністю попереджена і протиерозійна ефективність прийому є абсолютною.

Така форма критерію протиерозійної ефективності зручна ще тим, що у випадку, коли контроль польового досліді обраний методично правильно, тобто відмінність від контролю умов проведення досліді на оцінюваному варіанті зв'язано тільки з протиерозійним прийомом – виключається вплив на нього інших факторів схилового ерозійного процесу, насамперед, таких як довжина та ухил схилу, а також протиерозійної стійкості ґрунту. При цьому застосування інших показників, зокрема, врожайності сільськогосподарських культур, вологості ґрунту тощо на загаль бажано, але тільки в якості додаткових до критерію (1.16).

Безперечною є також теза про те, що вплив окремого протиерозійного прийому досить істотно залежить (за інших рівних умов) від інтенсивності протікання ерозійного процесу, тобто від забезпеченості року ерозійно небезпечними опадами. Дійс-

но, практично будь-який протиерозійний прийом досить «ефективно» зменшує змив ґрунту від малоінтенсивного дощу або від млявого сніготанення при невеликих запасах снігу. Однак цей навіть неодноразово зафіксований у процесі польових дослідів факт ні в якій мірі не може бути гарантією того, що даний прийом здатний запобігти ерозійним втратам ґрунту в процесі випадання зливи рідкої повторюваності або інтенсивного сніготанення при великих запасах снігу і зниженої вбираючої здатності ґрунту.

У зв'язку з цим оцінка ефективності того або іншого протиерозійного прийому або їхніх сполучень не може зводитися до розрахунку величини критерію K_e за даними 1-5 річних польових дослідів. Для одержання обґрунтованих середньобаторічних (або заданої забезпеченості) значень показника протиерозійної ефективності певного заходу необхідна побудова кривих забезпеченості коефіцієнта K_e за даними багаторічних польових досліджень. З огляду на надзвичайно високу мінливість і асиметричність розподілу річних значень модуля змиву ґрунту, період польових дослідів щодо вивчення протиерозійної ефективності певного прийому повинний бути досить великим. Навіть протягом 10-15 років може не спостерігатися значного змиву ґрунту, який би дозволяв оцінити дійсну ефективність протиерозійного прийому.

А тому з метою одержання статистично значимих оцінок показника протиерозійної ефективності K_e запропонований метод об'єднання даних, отриманих у межах регіонів з однорідними умовами формування водної ерозії в єдині просторово-часові статистичні ряди (Светличный, Швебс, 1984). В основі методу лежить *гіпотеза про ергодичність рядів K_e* , отриманим за даними польових досліджень протиерозійних заходів, тобто припущення про те, що усі вони статистично незалежні і належать однієї генеральної сукупності і, отже, мають однакові середні значення і дисперсії.

Статистична однорідність критерію K_e за кліматичними умовами формування змиву ґрунту повинна визначатися його відносною структурою. Проте, при об'єднанні значень K_e , отриманих за даними різних польових дослідів, в єдиний просторово-часовий ряд повинна бути дотримана така умова об'єднання, як одно-

типність формування ерозійного процесу. Тобто не можуть бути об'єднані в один ряд дані по ефективності протиерозійних заходів, які були отримані в районах, де основний змив ґрунту формується талими водами, с даними, що були отримані в районах де переважає зливова ерозія. Ця умова обмежує розміри території, для якої можливе об'єднання даних польових дослідів по вивченню протиерозійних заходів. Однак аналіз багаторічних рядів гідрометеорологічного фактора зливогого змиву та поверхневого змиву ґрунту при сніготаненні для Степу та Лісостепу України показав, що остання небезпека є малоймовірною і ряди річних сум гідрометеорологічного фактора змиву, розраховані навіть по близько розташованим метеорологічним станціям, є статистично незалежними.

Неоднорідність *ґрунтово-геоморфологічних умов* ділянок спостережень може бути усунута шляхом приведення наявних різнорідних даних до деяких стандартних умов за допомогою математичних моделей змиву ґрунту, які адекватно відбивають вплив відповідних факторів на процес ґрунтової ерозії.

У зв'язку з тим, що навіть об'єднані ряди наявних даних по ефективності окремих протиерозійних заходів, як показав досвід, у кращих випадках нараховують 15-20 членів, формування на їхній основі варіаційних рядів шляхом простого ранжирування недоцільно. Необхідне визначення забезпеченості кожного члена ряду незалежним образом. Оптимальним є використання значень гідрометеорологічного фактора змиву, розрахованих за даними метеорологічних станцій, максимально близько розташованих до місця проведення польових досліджень. У випадку відсутності можливості розрахунку гідрометеорологічного фактора, забезпеченість періоду польових дослідів може бути оцінена по забезпеченості сезонного стоку малих річок. Однак точність такої оцінки буде нижче.

У табл. 1.8 представлені результати застосування описаної вище методики (детальніше дивись (Светличный и др., 2004)) для оцінки протиерозійної ефективності *найбільш розповсюджених* протиерозійних прийомів обробітку ґрунту, зроблених на основі узагальнення опублікованих даних з різних джерел. З цих результатів випливає, що коефіцієнти протиерозійної ефективності

K_e прийомів обробітку ґрунту змінюються в межах 0,67-0,85 для величин 10 %-ної забезпеченості або 0,65-0,90 для середньобагаторічних величин.

Таблиця 1.8

Значення коефіцієнта ґрунтозахисної ефективності деяких прийомів протиерозійного обробітку ґрунту

Протиерозійний прийом	Забезпеченість, %					Середнє багаторічне значення
	10	25	50	75	90	
Безполицевий обробіток ґрунту	0,67	0,60	0,49	0,33	0,17	0,65
Лункування	0,85	0,67	0,50	0,20	0,0	0,90
Глибока оранка і оранка з ґрунтопоглибленням	0,80	0,70	0,55	0,25	0,0	0,85
Щілювання	0,66	0,55	0,40	0,25	0,10	0,70

За даними західних, насамперед, американських дослідників ефективним протиерозійним прийомом є *мульчування* – покриття поверхні соломною, гноєм, іншими матеріалами, що захищають ґрунт від еродуючого впливу дощу та збільшує гідрравлічну шорсткість поверхні. Мульчування також є одним з найбільш ефективних способів збереження і накопичення вологи в ґрунті. Протиерозійна ефективність мульчування визначається видом і кількістю матеріалу, який вносять на поверхню ґрунту. Для оцінки коефіцієнта протиерозійної ефективності мульчування в США (EPIC...,1990) використовується формула:

$$K_{ei} = \exp\{-3.5[1 - \exp(-aR)]\}, \quad (1.17)$$

де K_{em} – коефіцієнт протиерозійної ефективності мульчування, R – кількість мульчі, т/га; a – коефіцієнт, що залежить від виду мульчі. Для рослинних решток бавовнику $a=0,14$, кукурудзи, сорго, соняшника $a=0,2$, для соломи зернових культур – $a=0,5$.

З табл. 1.9, у якій приведені значення K_{em} , видно, що соло-

ма зернових колосових досить ефективна вже при внесенні її як мульчі в кількості лише 1 т/га, а рослинні залишки кукурудзи, сорго, соняшника – лише при внесенні в кількості 3 т/га і більше.

Таблиця 1.9

**Коефіцієнти протиерозійної ефективності
мульчування поверхні ґрунту**

Мульча	Кількість, т/га			
	0,5	1,0	3,0	5,0
Солома зернових колосових культур	0,46	0,25	0,07	0,04
Рослинні залишки кукурудзи, сорго, соняшнику	0,72	0,53	0,21	0,11
Рослинні залишки бавовнику	0,79	0,63	0,30	0,17

У табл. 1.10 наведені узагальнені значення коефіцієнтів протиерозійної ефективності K_e основних груп сільськогосподарських культур за даними декількох джерел. Як видно з таблиці, значення K_e , отримані різними авторами для тих самих груп культур, іноді істотно відрізняються одне від одного. Тут позначаються і ґрунтово-кліматичні, і геоморфологічні умови проведення польових досліджень, і специфіка обробки сільськогосподарських культур, і стан посівів – негуста рослинність, безумовно, має істотно меншу протиерозійну ефективність, ніж густа. Однак безперечною є найбільш висока ґрунтозахисна ефективність багаторічних трав. За ними в порядку зменшення протиерозійної ефективності ідуть озимі зернові культури, ярові зернові культури та однолітні трави, просапні високостеблові (кукурудза, соняшник) і просапні низькорослі (цукровий і кормовий буряк тощо) культури.

Найбільше детально протиерозійна ефективність сільськогосподарських культур досліджена для території США. Результати цих досліджень диференційовані за рівнем продуктивності, виду попередників і різним елементам технології обробітку ґрунту (способу основного обробітку, наявності і кількості рослинних решток тощо) та прив'язані до певних географічних регіонів. В другому стовпчику табл. 1.10 наведені лише діапазони значен-

ня коефіцієнта протиерозійної ефективності трьох узагальнених груп сільськогосподарських культур для природно-господарських умов районів США, розташованих на схід від 104-го меридіана (Ерозія ґрунту, 1984). Але застосування цих значень для інших природно-господарських умов без проведення спеціальних досліджень неправомірно.

Таблиця 1.10

**Значення коефіцієнта протиерозійної ефективності
сільськогосподарських культур**

Культура, агрофон	За даними				
	Ерозія ґрунту, 1984	Лопырев, Рябов, 1989	Методичес-кие указания, 1989	Справочник ..., 1990	Мероприятия..., 2010
1	2	3	4	5	6
Оброблена поверхня без рослинності	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Високостеблові просапні	— ⁷	0,80- 0,85 ³	0,85- 0,75 ⁴	0,65- 0,68 ⁵	0,80- 0,90 ³
Низькорослі просапні	0,62- 0,38 ¹	0,90- 0,70	0,90- 0,70	0,53- 0,68	0,75 ⁶
Ярові зернові	—	0,60	0,55- 0,35	0,50- 0,60	0,60
Озимі зернові	0,38- 0,23 ²	0,30	0,40- 0,30	0,17- 0,31	0,30
Стерня зернових	—	—	—	0,40- 0,30	—
Горох, вико-вівсяна суміш	—	—	—	—	0,35
Однорічні трави	—	0,50	0,65- 0,30	0,53- 0,63	0,50

Продовження таблиці 1.10

1	2	3	4	5	6
Багаторічні трави	0,025- 0,004 ²	—	0,02- 0,03	0,05- 0,16	—
1-го року використання	—	0,08	—	—	0,08
2-го року використання	—	0,03	—	—	0,03
3-го року використання	—	0,01	—	—	0,01

¹для Східних штатів США в залежності від рівня продуктивності і технології обробітку; ²для Східних штатів США в залежності від культури—попередника (від багаторічних трав до беззмінних просапних); ³в залежності від культури; ⁴для Степу і Лісостепу України залежно від культури—попередника (від багаторічних трав до кукурудзи); ⁵в залежності від ухилу (від 3 ° до 9 °); ⁶картопля; ⁷немає даних.

Треба підкреслити, що протиерозійна ефективність сільськогосподарських культур істотно змінюється впродовж розвитку надземної маси і кореневої системи рослин на протязі вегетаційного періоду. У зв'язку з цим більш точно протиерозійна ефективність тієї або іншої культури може бути оцінена за обліком її сезонної динаміки. Як правило, протиерозійну ефективність культур для відповідних фаз вегетації встановлюють у залежності від величини проективного покриття.

Підсумовуючи наведені дані про ґрунтозахисну ефективність агро меліоративних протиерозійних прийомів, потрібно зазначити, що переважна їх більшість, у тому числі, такі як глибока оранка та оранка з ґрунтопоглибленням, мінімальний та безполіцевий обробіток, лункування та інші способи утворення форм штучного мікрорельєфу, щільовання тощо, мають відносно низьку індивідуальну протиерозійну ефективність і *повинні застосовуватися лише в комплексі з іншими протиерозійними заходами (організаційно-господарськими, лісомеліоративними і гідромеліоративними)* з обов'язковим розрахунком внутрішньо річної динаміки ґрунтозахисних властивостей сільськогосподарських культур. При цьому вирішальне значення при формуванні комплексів протиерозійних заходів повинна грати не стільки протиерозійна ефективність окремих прийомів, скільки їх загальна

агрономічна цінність (наприклад, здатність затримувати сніг і збільшувати запаси ґрунтової вологи, поліпшувати фізичні властивості, або загальну родючість ґрунту), а також технологічна сумісність та економічна доцільність. Комплекси протиерозійних заходів повинні максимально відповідати структурі і характерові ерозійної системи ландшафту. Найбільш завершеним комплексом протиерозійних заходів є ландшафтно-адаптивна ґрунтозахисна система землеробства, що включає організаційно-господарські, агро-, лісо- і гідромеліоративні заходи. Її ефективність визначається поєднанням великої кількості природних і господарських факторів, тому при оцінці її протиерозійної ефективності потрібен індивідуальний підхід. Інформація про середню ґрунтозахисну ефективність спільного застосування окремих протиерозійних заходів наведена у табл. 1.11.

1.3.6. Допустимі норми ерозії

— У відповідності з (Лисецкий і ін., 2012) *допустима норма ерозії (ДНЕ) «являє собою такий середній щорічний фактичний обсяг ерозії ґрунту, при якому не відбувається погіршення або втрати одної або більше функцій ґрунту»*. Під фактичною ерозією тут слід розуміти загальну суму втрат ґрунтів, обумовлену всіма відомими видами ерозії.

Методи визначення ДНЕ можна розділити на наступні групи:

- експертний;
- з урахуванням властивостей корневісного шару ґрунту;
- на основі темпів ґрунтоутворення;
- на підставі існуючої потужності ґрунтів;
- з урахуванням темпів зміни продуктивності ґрунтів.

Допустимі норми ерозії, визначені з використанням математичної моделі зміни потужності гумусового горизонту (тобто продуктивності ґрунтів), побудованої Ф. М. Лисецьким (1990) на основі ґрунтово-хронологічних досліджень, які ввійшли до Державного стандарту України ДСТУ 7081: 2009, представлені у табл. 1.12.

Величини ДНЕ залежать від рівня агротехніки. Аналіз на-

ведених у монографії (Лисецький і ін., 2012) величин ДНЕ для зональних ґрунтів степової зони України для низького, середнього і високого рівня агротехніки (табл. 1.13) показує, що допустимі норми ерозії, наведені в табл. 1.12 відповідають низькому рівню агротехніки.

Таблиця 1.11

**Коефіцієнти ґрунтозахисної ефективності
протиерозійних комплексів**

Протиерозійний комплекс	За даними		
	Wischmeier, Smith, 1978-	Справочник ..., 1990	Мероприяття..., 2010
1	2	3	4
Просапні культури з підсівом багаторічних трав	–	–	0,50
Ярові зернові з підсівом багаторічних трав	–	–	0,40
Проміжні посіви озимих культур	–	–	0,20
Буферні трав'яні смуги на відвальному зябі і ухилі схилу	1-3° –	0,45	–
	3-5° –	0,50	–
на стерньовому тлі і ухилі схилу	1-3° –	0,35	–
Буферні трав'яні смуги в міжряддях саду і ухилі схилу 3-5 °:			
у кожному міжрядді	–	0,20	–
через одне міжряддя	–	0,35	–
через одне міжряддя із снігозатримувальними борознами у вільному міжрядді	–	0,10	–
Щілювання міжрядь просапних культур	–	0,50- 0,60	–
Обробіток ґрунту вздовж горизонталей рельєфу (контурний обробіток) при ухилах схилу:			

Продовження таблиці 1.11

1	2	3	4
1-2 %	0,60	0 , 1 5	–
3-5 %	0,50	(1-3°)	–
6-8 %	0,50	–	–
9-12 %	0,60	0 , 2 5	–
13-16 %	0,70	(3-5°)	–
17-20 %	0,80	0 , 4 0 (5-7°)	–
		–	–
Оброблювані вали-тераси, вали-канави з обробітком і сівбою вздовж горизонталей при крутизні схилу:			
1-3°	–	0,08	–
3-5°	–	0,10	–
5-7°	–	0,12	–
>7°	–	0,16	–

Для чорноземів звичайних і південних при середньому рівні агротехніки ДНЕ вище наведених у табл. 1.12 у середньому в 2 рази, при високому рівні агротехніки – в 2,5 рази. Для темно-каштанових і каштанових ґрунтів це перевищення становить 1,7 і 1,9 раз відповідно.

Таблиця 1.12

Допустимі норми ерозії для основних типів (підтипів) ґрунтів України (рілля – регіональний рівень), т/га/рік (ДСТУ 7081:2009)

Тип (підтип) ґрунтів	Еродованість			
	відсутня	слабка	середня	сильна
1	2	3	4	5
Бурі лісові гірських районів	0,1	0,8	1,4	1,9
Дерново-підзолисті	0,3	0,7	1,4	1,8

Продовження таблиці 1.12

1	2	3	4	5
Сірі та темно-сірі	0,2	0,6	1,3	1,7
Типові чорноземи	0,2	0,6	1,1	1,5
Звичайні чорноземи	0,1	0,3	0,6	1,1
Південні чорноземи	0,2	0,4	0,7	1,2
Каштанові та темно-каштанові	0,2	0,7	0,9	1,2
Коричневі	0,1	1,0	1,8	2,5

Таблиця 1.13

Оцінка рівня агротехніки вирощування сільськогосподарських культур ДСТУ 7081:2009

Природна зона	Сільськогосподарські культури	Врожайність, ц/га		
		Рівень агротехніки		
		високий	середній	низький
Лісостеп	Озима пшениця	>50	20-50	<20
	Цукровий буряк	>400	200-400	<200
	Кукурудза	>50	30-50	<30
	Озимий ячмінь	>40	25-40	<25
	Зернобобові	>25	15-25	<15
Степ	Озима пшениця	>40	20-40	<20
	Озимий ячмінь	>40	25-40	<25
	Соняшник	>30	20-30	<20
	Зернобобові	>25	15-25	<15
	Озима пшениця (зрошення)	>60	30-60	<30
	Кукурудза (зрошення)	>60	40-60	<40
	Овочі (зрошення)	>400	200-400	<200

Питання і завдання для самоконтролю

1. Що таке ерозійна небезпека земель і які існують методи її оцінки?
2. У чому полягають переваги і недоліки метода оцінки ерозійної небезпеки земель, який оснований на математичних моделях змиву ґрунту?
3. Перелічити, які існують підходи до класифікації моделей водної ерозії. У чому полягають їх недоліки?
4. Що означає дво- і трьохрівнева класифікації моделей водної ерозії ґрунту?
5. Що називають теоретичними моделями ерозії ґрунту? Які моделі відносять до цієї групи?
6. Що називають емпіричними моделями ерозії ґрунту? Які моделі відносяться до цієї групи?
7. У чому полягає різниця між фізико-статистичними та формально-статистичними моделями?
8. Надати характеристику профільної версії фізико-статистичної версії змиву акумуляції ґрунту, розробленої в ОНУ ім. І. І. Мечникова.
9. Які входні дані потрібні для оцінки ерозійних втрат ґрунту на основі профільної версії моделі ОНУ?
10. Охарактеризувати особливості просторової ГІС-реалізованої версії фізико-статистичної моделі ерозійних втрат ґрунту, розробленої в ОНУ.
11. Назвати заходи боротьби з водною ерозією ґрунту за основними групами.
12. Дати характеристику організаційно-господарських заходів.
13. Охарактеризувати всі підгрупи агро меліоративних протиерозійних прийомів.
14. Дати визначення лісомеліоративних протиерозійних заходів та перелічити наслідки їх використання на ерозійно-небезпечних територіях.
15. Охарактеризувати гідротехнічні споруди, використання яких найбільш поширене в Україні.
16. Охарактеризувати ефективність таких протиерозійних заходів як мульчування, протиерозійний обробіток ґрунту.

17. Які вхідні дані потрібні для оцінки ерозійних втрат ґрунту на основі просторової ГІС-реалізованої версії фізико-статистичної моделі ерозійних втрат ґрунту?
18. Дати визначення допустимої норми ерозії (ДНЕ) у відповідності з ДСТУ 7081:2009.
19. Назвати ДНЕ зональних ґрунтів Степу і Лісостепу України.
20. Дати характеристику методик великомасштабної оцінки ерозійної небезпеки земель на основі профільного і просторового підходів.

2. КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА АГРОЛАНДШАФТНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

2.1. Загальна характеристика комп'ютерної системи

На кафедрі фізичної географії та природокористування Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова розроблена комп'ютерна система (КС) (Svetlitchnyi et al., 1992; Швебс і ін., 1993), в якій реалізована методика агроландшафтного проектування, заснована на логіко-математичній моделі оптимізації використання земельних ресурсів (Швебс, 1981; Светличный и др., 2004) для природно-господарських умов території Українського Причорномор'я. У розробці комп'ютерної системи, виконаної під загальним науковим керівництвом Г. І. Швебса, брали участь: О. О. Світличний (головний постановник), С. О. Єршов (науковий консультант з аграрних питань), В. С. Кіртюк (головний програміст), Ф. М. Лисецький, В. В. Белов, О. Т. Урусов, В. І. Кіріченко, Р. Ю. Протасова, С. С. Прокопенко, М. Д. Балджі і М. Б. Іванько (програміст).

Комп'ютерна система має модульну (блочну) структуру програмного комплексу. Кожен модуль «відповідальний» за реалізацію певного етапу агроландшафтного проектування і, в той же час, є повністю незалежним, маючи власне введення і виведення даних, що робить можливим його застосування для вирішення окремих завдань. Основними програмними модулями КС є наступні (рис. 2.1):

POTERLOS – модуль розрахунків потенційного змиву ґрунту;

POTDEFLOS – модуль розрахунків потенційної дефляції ґрунту;

GULLDANG – модуль оцінки потенційної яружної небезпеки;

ERLOS – модуль розрахунків змиву ґрунту при заданому варіанті землекористування;

DEFLOS – модуль розрахунків дефляції ґрунтів при даному варіанті землекористування;

OPTIMIZ – модуль оптимізації землекористування;

FERTILIZ – модуль розрахунків норми внесення органічних і мінеральних добрив на проектну врожайність;

SLRUNOFF– модуль розрахунків схилового зливого стоку заданої забезпеченості;

BSRUNOFF – модуль розрахунків зливого стоку заданої забезпеченості з балочного водозбору;

HYDROTEC – модуль розрахунків гідротехнічних протиерозійних споруд – водозатримуючого вала, водозатримуючого-довідвідного вала-канави та залуженого водоскиду;

FOREST – модуль розрахунків водопоглинання лісовою смугою;

SOVINGROTATION – бібліотека базових сценаріїв використання земель – сівозмін і технологій обробітку сільськогосподарських культур.

Функцію додаткового модуля – банку довідкової інформації – виконують таблиці середніх для території Українського Причорномор'я значень кількісних характеристик окремих компонентів ерозійної системи агроландшафту, які є параметрами математичних моделей, що використовуються. Таких, наприклад, як об'ємна маса верхнього шару ґрунту, вміст гумусу, піску, фізичної глини і карбонатів в орному шарі, характеристики відносної змиваємості ґрунту, його водопроникності, вміст поживних речовин в основних органічних і мінеральних добривах тощо. Вони автоматично підключаються до обчислювального алгоритму при запуску модулів в разі відсутності у вхідних даних відповідних файлів даних по ділянці, яка оцінюється.

Програмний комплекс дозволяє виконувати:

- оцінку і аналіз потенційної ерозійної і дефляційної небезпеки земель;

- розрахунок ерозійних і дефляційних втрат ґрунту при заданому варіанті землекористування;

- оцінку ресурсів ґрунтової родючості і вибір стратегії використання земельних ресурсів;

- розрахунок доцільно-допустимих втрат ґрунту і норм внесення органічних добрив, що забезпечують обраний сценарій використання земельних ресурсів;

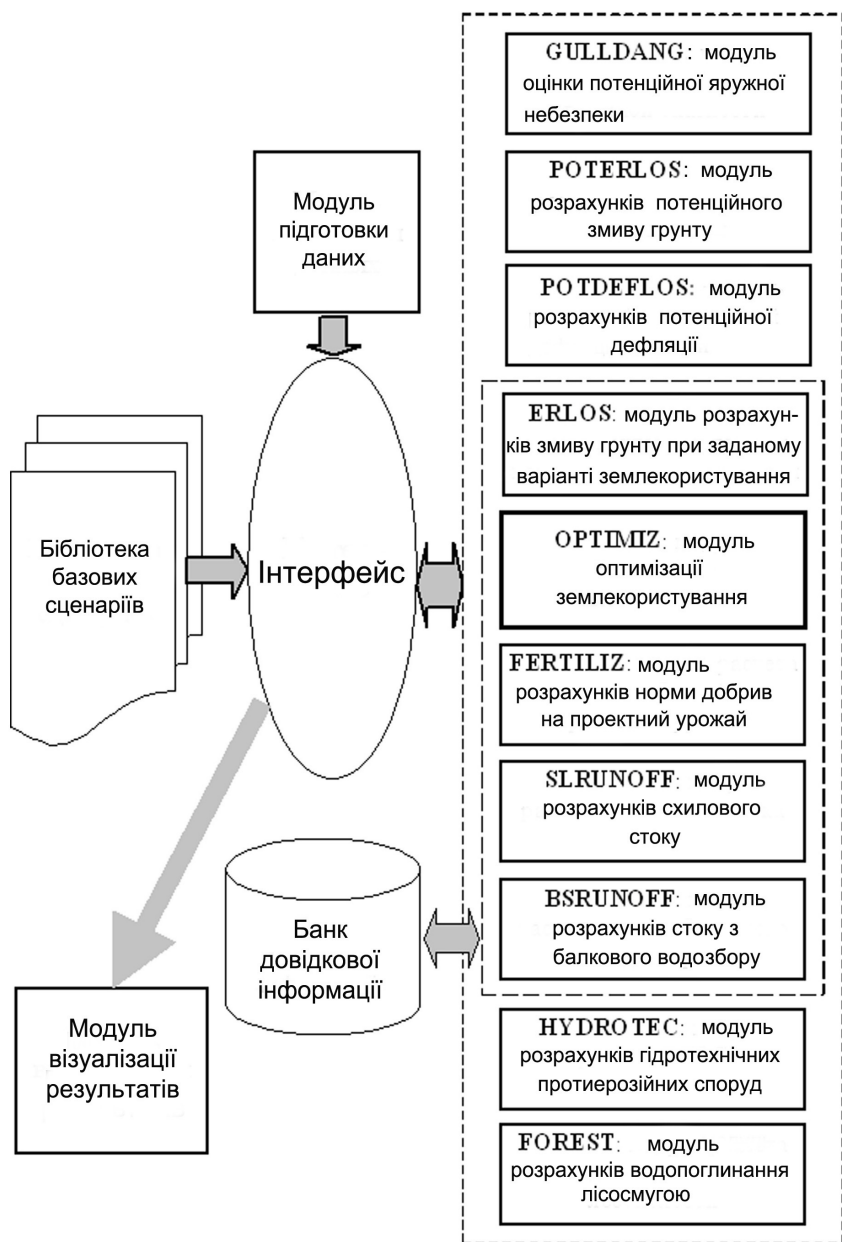


Рис. 2.1. Блок-схема структури комп'ютерної системи агроландшафтного проектування

- розрахунок характеристик максимального зливого схилового стоку і стоку з балкових водозборів;
- розрахунок протиерозійних гідротехнічних споруд;
- розрахунок мінеральних добрив на запланований урожай.

В основу вирішення завдань агроландшафтного проектування для певної території в рамках базового варіанту КС покладено «профільний» підхід, відповідно до якого оптимізація землекористування проводиться за окремими розрахунковими профілями, яка починається від природного або штучного (наприклад, від водозатримуючої гідротехнічної споруди – вала, вала-канави і т. п.) вододілу, і закінчується в залежності від розв'язуваної задачі в кінці поля, сівозмінної ділянки або схилу і збігається з лініями стоку води. Кількість розрахункових профілів визначається складністю природно-господарських умов і необхідною точністю відображення просторової неоднорідності ПГТС.

Для кожного розрахункового профілю готується набір вхідних даних, частина з яких характеризує профіль в цілому і вводиться за допомогою клавіатури в інтерактивному режимі, частина – характеризує зміну характеристик ерозійної системи агроландшафту вздовж схилу і задається у вигляді файлу даних. Кожному файлу даних присвоюється ім'я, що складається з 12 знаків – *iiiiXnnn.mmm*, де *iiii* – ідентифікатор ділянки, *X* – ідентифікатор даних, що містяться в файлі, *nnn* – номер профіля, *iii* – номер модифікації.

Ідентифікатор ділянки – будь-які чотири символи (латинські літери), які присвоюються всім вхідним файлам, сформованим для конкретної ділянки або території.

Ідентифікатор даних – жорстко заданий символ (буква латинського алфавіту), який дозволяє розрізнити файли згідно з інформацією, яка міститься в них. Приклади таких даних: **Z** – для файлу координат земної поверхні (про рельєф), **E** – для файлу координат контурів еродованості ґрунту, **S** – для файлу характеристик ґрунтів, **K** – для файлу з даними про сівозміну, які використовуються в модулі ERLOS, **O** – для файлу з даними про сівозміну, які використовуються в модулі OPTIMIZ, **Y** – для файлу з даними про сівозміну, які використовуються в модулі FERTILIZ, **F** – для файлу з даними про характер поверхні.

Номер профілю – будь-які три цифри, які привласнюються розрахунковим профілям.

Номер модифікації – будь-які три цифри, які вказують на варіант вхідних даних для одного і того ж профілю.

Так, файл даних про рельєф (ідентифікатор даних "Z") для профілю № 1 на ділянці з ідентифікатором "bann", модифікація даних "0", має ім'я: bannZ001.000. Формат файлу:

Hi dLi,

де Hi – абсолютна або відносна висота точок поверхні профілю, м (перша точка береться на вододілі або в точці зародження стоку); dLi – відстань до попередньої точки на профілі, м.

Приклад:

```
10  0
8   270
6   160
4   130
2   150
0   290
```

Після проведення серії розрахунків за профілями, розташованими в межах одного поля, сівозмінної ділянки або схилу, передбачена можливість виведення усереднених в межах розглянутої територіальної одиниці характеристик.

Комп'ютерна система запускається на IBM PC сумісних комп'ютерах, починаючи з IBM AT 286, з операційною системою MS DOS версії 3.30 і вище і Windows. Вимоги до ресурсів комп'ютера мінімальні.

На рис. 2.2 представлена блок-схема функціонування КС при оптимізації використання земельних ресурсів. Першим кроком є розрахунки з використанням модулів POTERLOS, ERDEFLOS і GULLDANG, відповідно, потенційного змиву ґрунту, потенційної дефляції і яружної небезпеки в різних частинах даної ділянки, що дозволяє об'єктивно судити про можливу інтенсивність прояву ерозійних і дефляційних процесів, а також небезпеку появи ярів у межах території. Розрахунки за профілями можуть проводитися з довільно вибраним кроком. З урахуванням результатів розрахунків приймається рішення щодо просторової організації території і з Бібліотеки базових сценаріїв вибираються варіанти сівозміни і

відповідної технології вирощування сільськогосподарських культур, які накладаються на відведену під рілля частину ділянки з урахуванням прийнятої просторової організації території.

Далі виконуються розрахунки очікуваного при даному варіанті землекористування змиву (з використанням модуля ERLOS) і дефляції (використовуючи модуль DEFLOS). Потім підключається модуль, який реалізує логіко-математичну модель раціонального використання ґрунтових ресурсів в конкретних природно-господарських умовах (модуль OPTIMIZ).

Результатом є оцінка ресурсів ґрунтової родючості в різних частинах ділянки, вибір сценаріїв оптимізації використання ґрунтових ресурсів і величини доцільно-допустимих ерозійно-дефляційних втрат ґрунту і норм внесення органічних і азотних мінеральних добрив, які забезпечують заплановану врожайність.

У разі необхідності (зокрема, при перевищенні ерозійно-дефляційними втратами ґрунту при даному варіанті землекористування відповідних доцільно-допустимих величин) проводиться коригування сценарію землекористування і з використанням модулів ERLOS і DEFLOS знову виконуються розрахунки очікуваних ерозійних і дефляційних втрат ґрунту, а за допомогою модуля FERTILIZ розраховуються кількості мінеральних добрив, необхідних для отримання запланованого врожаю, і уточнюються норми органічних і азотних мінеральних добрив, визначені раніше.

Аналіз отриманих в результаті розрахунків величин ерозійно-дефляційних і доцільно-допустимих втрат ґрунту, органічних і мінеральних добрив, а також валового виробництва сільськогосподарської продукції дозволяє об'єктивно оцінити обраний варіант землекористування і при необхідності внести відповідні поправки в просторову організацію території, сівозміну, систему обробітку ґрунту, запроєктувати різні протиерозійні заходи, причому як агротехнічні, так і найпростіші гідротехнічні (з використанням модуля HYDROTEC) і лісомеліоративні (з використанням модуля FOREST).

Різноманітні розрахунки еколого-економічної оцінки з метою вибору одного або декількох оптимальних (за різними критеріями) варіантів використання земельних ресурсів становлять

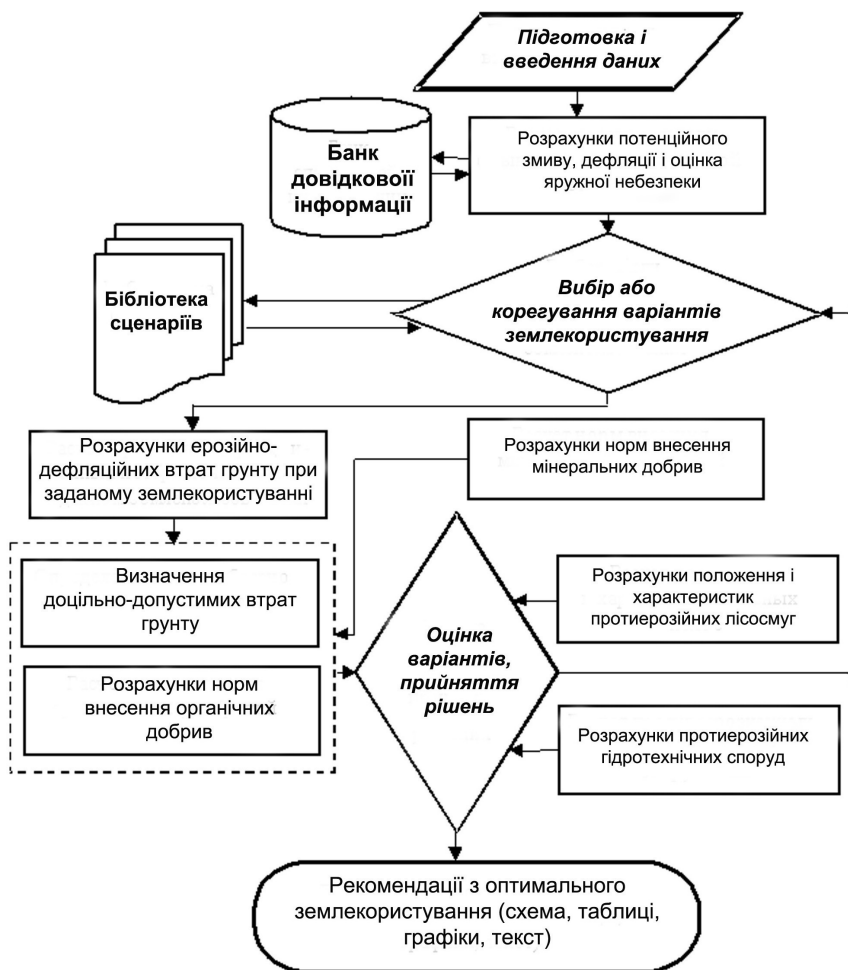


Рис. 2.2. Блок-схема оптимізації використання земельних ресурсів ерозійно-небезпечних земель з використанням комп'ютерної системи

зміст заключного етапу проектування. В якості критеріїв оптимізації в базовій версії КС використані: валове виробництво продукції рослинництва, кількість органічних і мінеральних добрив, а також співвідношення ерозійно-дефляційних втрат ґрунту при даному варіанті використання земельних ресурсів і доцільно-допустимих втрат ґрунту в даних природно-господарських умовах.

Основні кількісні показники економічної та екологічної ефективності кожного варіанту представляються в зведеній таблиці і є основою для вибору оптимального варіанту використання земельних ресурсів даної ділянки.

2.2. Математична модель і розрахунки ерозійних втрат ґрунту

Математична модель ерозійних втрат ґрунту використовується в комп'ютерній системі для розрахунку потенційних (при повному розорюванні території без протиерозійних заходів) і очікуваних при кожному варіанті землекористування середньорічних темпах ерозійних втрат (аккумуляції) ґрунту. У комп'ютерній системі як такий використовується профільний варіант фізико-статистичної моделі змиву-аккумуляції ґрунту, представлений у розділі 1. Основними розрахунковими виразами моделі є: для зливогого змиву – вираження (1.1) – (1.2), для весняного змиву – вираз (1.5).

При розрахунках потенційного змиву з використанням модуля POTERLOS вхідними даними для кожного профілю є:

- файл координат відміток земної поверхні на профілі (з ідентифікатором Z);
- файл координат контурів еродованості на профілі (з ідентифікатором E);
- інформація про генетичний тип і підтип ґрунту, його гранулометричний склад;
- інформація про вид та напрямок (уздовж або поперек схилу) основного обробітку ґрунту;
- інформація про експозицію схилу;
- значення гідрометеорологічних факторів зливогого і весняного змиву ґрунту, максимальної за 10 хвилин інтенсивності

зливи розрахункової забезпеченості, добового максимуму опадів відповідної розрахункової забезпеченості:

– інформація про крок розрахунку за профілем.

Вся інформація, яка не входить до складу файлів даних, вводиться в комп'ютер з використанням клавіатури в інтерактивному режимі.

При розрахунках інтенсивності змиву ґрунту в заданому варіанті землекористування до перерахованих даних додається файл, який характеризує зміну вздовж схилу агрофона, включаючи набір і чергування сільськогосподарських культур, вид і напрямки обробки ґрунту, протиерозійні заходи.

При розрахунках змиву при заданому варіанті землекористування з використанням модуля ERLOS додатково готується файл даних про сівозміну (ідентифікатор даних "К"), що містить інформацію про зміну по довжині схилу (і по роках сівозміни):

- виду (код) і норми (т/га/рік) органічних добрив;
- виду (код) сільськогосподарських культур;
- проектної врожайності сільськогосподарських культур, т/га;
- виду (код) і норми (кг/га/рік) мінеральних добрив;
- виду (код) протиерозійних заходів;
- характеру поверхні (код).

Результатом розрахунку є таблиця (табл. 2.1) і графік (рис. 2.3) зміни вздовж розрахункового профілю модулів зливового, весняного і сумарного за рік змиву ґрунту (позитивні значення) і акумуляції схилових наносів (негативні значення) із заданим кроком.

Таблиця 2.1

Величини розрахункового змиву ґрунту (форма таблиці)

Ділянка..... Профіль №.....

Відстань від початку профілю, м	Місцевий ухил, %	Модуль зливового змиву, т/га/рік	Модуль весняного змиву, т/га/рік	Модуль сумарного змиву, т/га/рік

Спеціально проведені дослідження впливу величини розрахункового кроку на результат розрахунків показали, що при *детальних (великомасштабних)* дослідженнях і протиерозійному проектуванні розрахунок змиву ґрунту повинен проводитися з кроком, що не перевищує 20 м. Тільки в цьому випадку можна виявити справжні розміри ерозійного руйнування ґрунту в різних частинах схилу і сконструювати адекватну систему ґрунтозахисних заходів. Інформаційна база такого роду досліджень і проектних робіт повинна обов'язково включати дані детального нівелювання репрезентативних профілів схилів.

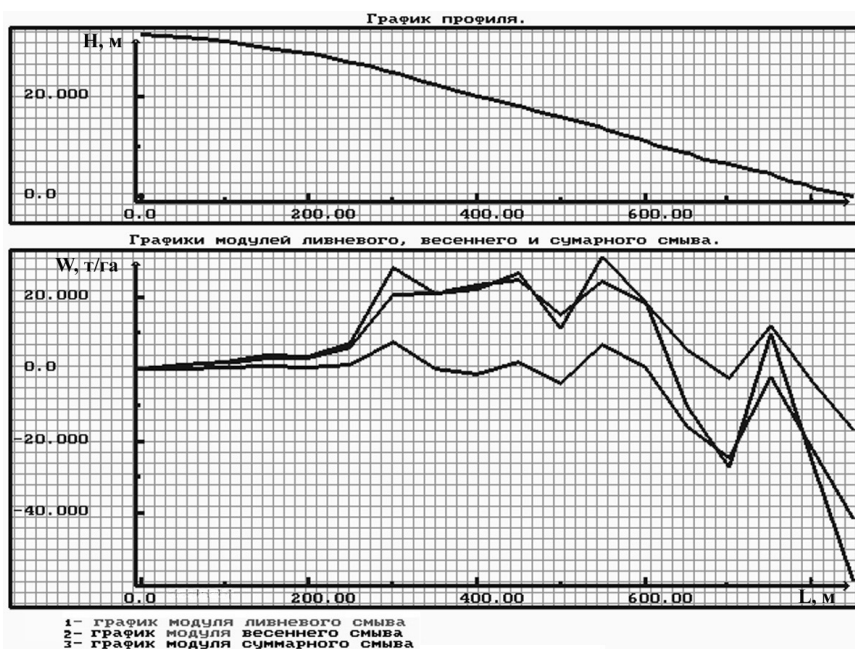


Рис. 2.3. *Поздовжній профіль схилу і графіки зміни по довжині схилу модулів зливогого, весняного і сумарного змиву ґрунту (скріншот графічного виведення результатів розрахунку змиву ґрунту КС, крок розрахунку – 50 м)*

При *середньомасштабних* дослідженнях, в завдання яких, зазвичай, входить оцінка загального ерозійного потенціалу території, а джерелом інформації про рельєф є топографічні карти, в якості базового кроку розрахунку рекомендується 100 м. Необхідно, однак, мати на увазі, що при цьому будуть дещо занижені розраховані максимальні інтенсивності змиву.

2.3. Математична модель і розрахунки дефляційних втрат ґрунту

В основу розрахунків інтенсивності дефляційних втрат ґрунту в КС покладено методику, розроблену в Українському науково-дослідному інституті захисту ґрунтів від ерозії (УкрНДІЗ-ГЕ) (Справочник ..., 1990). Розрахунки дефляційних втрат ґрунту за методикою УкрНДІЗГЕ базуються на основних фізичних закономірностях відчуження і перенесення ґрунтового матеріалу. В процесі розгону, відриву і перенесення частинок ґрунту концентрація їх у повітряному потоці наростає в міру віддалення від осередків виникнення вітрової ерозії. Після досягнення граничної концентрації пилу в повітряному потоці, характерною для даної швидкості вітру, її склад у приземному шарі повітря залишається практично постійним. Насичення повітряного потоку еродованим ґрунтовым матеріалом залежить від швидкості вітру у кубі.

Математико-статистична модель визначення маси відчуженого ґрунтового матеріалу має вигляд:

$$A_w = \frac{(0,45L - 4,1H K_i) b t (K_v V_m)^3}{6331 a S} K_{of} K_p \quad (2.1)$$

де A_w – втрати ґрунту, т/га; L – довжина поля в напрямку ерозійнонебезпечних вітрів, м; b – ширина поля в напрямку, перпендикулярному панівним вітрам (середня величина), м; H – висота бар'єру (полезахисної лісосмуги, куліси і т. і., середня величина), м; K_n – коефіцієнт обчислення "ефективної висоти" бар'єру; t – число годин з пиловою бурею, години; V_m – швидкість вітру під час пилової бурі (середні величини), м/с; K_v – коефіцієнт зміни швидкості вітру в різних умовах рельєфу і інших рубежів; a – від-

стань, на якому перенесення ґрунтового матеріалу досягає максимального значення при стандартній швидкості повітряного потоку (18,5 м/с на висоті флюгера), м; S – площа поля (ділянки), га; K_{of} – відкритість фону (поверхні поля) – фактор протидефляційної ефективності рослинності і її залишків; K_p – коефіцієнт ефективності ґрунтозахисних заходів.

Зона дії полезахисних лісових смуг або куліс на рівнині в моделі УНДІЗГЕ приймається рівною 9 висотам на завітрянному і 1 висоті на підвітрянному їхньому боці (всього 10 висот). У табл. 2.2 наведені чисельні значення коефіцієнта "ефективної висоти" бар'єрів K_n згідно з (Справочник ..., 1990).

Рельєф місцевості, лісові смуги та інші природні і штучні рубежі істотно впливають на зміну швидкості повітряного потоку. Тому величини швидкості вітру, отримані за даними метеорологічних станцій і постів, коригуються для конкретних полів або ділянок. У табл. 2.3 наведені коефіцієнти (K_v) для визначення фактичної швидкості вітру на заданій ділянці.

Таблиця 2.2

Поправочні коефіцієнти ефективної висоти бар'єрів (K_n)

Ухил, градуси	Коефіцієнт поправки висоти бар'єру	
	навітрянний схил	підвітрянний схил
1-3	0,9	1,2
3-5	0,8	1,3
5-8	0,7	1,4

Параметр t формули (2.1) відповідно до (Долгілевіч, 1978) розраховується за співвідношенням:

$$t = 2,4 N^{1,19}, \quad (2.2)$$

де t – тривалість дефляції в годинах, N – число днів з пиловою бурею.

Відстань, на якому проходить насичення повітряного потоку ґрунтовими матеріалами " a " (формула (2.1)), залежить від

властивостей ґрунту і, зокрема, від стійкості структурних часток, до руйнування під впливом погодних змін і здатності утворювати фракції менше 1 мм (Справочник ..., 1990).

Параметр d_w рекомендується обчислювати за рівнянням:

$$d_w = 510^{-4} (22,0 - 0,1X_c) (15,0 + 0,9X_s) \left(1 + \frac{1,2 + 1,8X_c - 6,0X_c}{X_c} \right) (8,0 + 0,5h) \quad (2.3)$$

де d_w – показник розрушаємості ґрунту (вихід частинок і агрегатів менше 1 мм), %; X_{sc} – вміст мулу і дрібного пилу (часток менш 0,005 мм), %; X_s – вміст піску (часток більше 0,05 мм), %; X_{cc} – вміст карбонатів кальцію (CaCO_3), %; h – вміст гумусу, %.

Для основних ґрунтів регіону, що розглядається, узагальнені показники вмісту X_{sc} і X_s представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.3

Коефіцієнти зміни швидкості вітру в різних умовах рельєфу і інших рубежів (K_v) (Романова та ін., 1983)

Вид рубежів і об'єктів	K_v	Вид рубежів і об'єктів	K_v
1	2	3	4
Відкритий рівний простір	1,00	Схил, паралельний вітру: верхня частина середня частина нижня частина	1,00 0,85 0,35
Вершина, відносно перевищення, м:	1,10	Схили, паралельні вітру (вітровий коридор) з відстанями між вершинами менш 300 м	1–25
2	1,11	Долини, лощини:	
5	1,15	дно і нижні частини схилів долин,	1,35
50	1,20	лощин, які продуваються вітром;	
70	1,35	середні і верхні частини	1,30
100	1,40		
150			

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
Схили і їх частини крутизною 3-10 град.:		Просіки в лісових масивах: при збігу повітряного потоку з напрямом просіки, ширина, м	
навітряна	1,15	10	2,8*
верхня	1,00	24	2,4
середня	0,90	36	2,0
нижня	0,75	50	1,9
підвітряна	0,80	75	1,5
верхня	0,85	100	1,2
середня			
нижня			

* Дані УкрНДІЗГЕ (Справочник ..., 1990).

Таблиця 2.4

**Фізичні властивості верхнього горизонту основних ґрунтів
Степу України (Справочник ..., 1990)**

Ґрунт	Вміст піску, X_s , %	Вміст мулу і дрібного пилю, X_{sc} , %
Чернозем звичайний	3	52
Чернозем типовий	9	34
Чернозем південний	14	47
Перегнойно-карбонатний	18	36

У табл. 2.5 наведені показники розрушаємості для найбільш поширених ґрунтів Степу і Лісостепу України та відповідні величини параметра a .

Захист ґрунтів від дефляції в агроландшафтах можливий тільки при оптимальному поєднанні заходів тривалої дії (протиерозійна організації території, поєднання лісових смуг, гідротехнічні споруди) з ґрунтозахисними технологічними рішеннями (заходами тимчасової дії). Характерно, що пилові бурі на території України виникають переважно у теплу пору року. В цей час захи-

**Показник руйнуємості d_w і параметр a для основних ґрунтів
Степу і Лесостепу України (Справочник ..., 1990)**

Показник руйнуємості d_w, %	Відстань a, на якому відбувається насичення повітряного потоку, м
<	2250
24-25	1800
45-80	1000
>	450

стити ґрунт можуть багаторічні трави, озимі колосові, спеціальні посіви проміжних культур, а також пожнивні залишки (стерня, мульча). Захисна роль рослинності або її залишків визначається через параметр "відкритість фону" і коректує коефіцієнт K_{of} (табл. 2.6) Встановлено, що якщо поверхня ґрунту відкрита менше, ніж на 36-40 %, вона вітростійка. Коефіцієнти ефективності деяких ґрунтоохоронних заходів (K_p) наведені в табл. 2.7.

У табл. 2.8-2.9 наводяться характеристики вітру під час пилових бур для Українського Причорномор'я за даними Кліматичного кадастру України (2006). Середня швидкість вітру під час пилових бур V_m для кожної метеостанції визначена як середньозважена швидкість вітру по градаціях швидкості, що перевищують критичну.

Критичні швидкості вітру для різних частин території визначені з використанням таблиці критичних швидкостей вітру для ґрунтів степової зони України (табл. 2.10), складеної М. І. Долгілевичем (1978).

Вхідними даними при розрахунках *потенційних дефляційних втрат ґрунту* з використанням (2.1) є файли координат поверхні розрахункового профілю та контурів еродованості вздовж нього, а також значень змінних моделі, які вводяться в інтерактивному режимі з клавіатури:

- довжини ділянки в напрямку дефляційно-небезпечних вітрів, м;
- висоти бар'єрів, м;
- числа днів з пиловими бурями;

Таблиця 2.6

Відкритість фону – ґрунтозахисна роль сільськогосподарських культур і поживних залишків (Справочник ..., 1990)

Культура	Відкритість фону, %	Коригуючий коефіцієнт, K_{of}
Багаторічні трави першого року	60-50	0,45
	40-30	0,08
	20-10	0,03
Багаторічні трави другого року	40-30	0,06
	20-10	0,01
	80-60	0,75
Озима пшениця	50-40	0,30
	30-10	0,04
Солома и стерня озимих колосових	50-40	0,30
	30-10	0,05-0,03
Солома і стерня ярих колосових	50-40	0,45
	30-10	0,06-0,04
Подрібнені залишки кукурудзи і соняшнику	70-60	0,80
	50-40	0,45-0,35
	30	0,10-0,07

Таблиця 2.7

Значення коефіцієнта протидефляційної ефективності деяких ґрунтозахисних заходів (Справочник ..., 1990)

Ґрунтозахисні заходи		Фактор K_p
Контурно-смугове розміщення культур при крутизні схилів:		
навітряних	1-3°	0,30
	3-5°	0,45
	5-7°	0,70
підвітряних	1-5°	0,25
	7°	0,15
Проміжні посіви (суцільний посів), відкритість фону:		
	50 %	0,60
	40 %	0,15
	30 %	0,04

Таблиця 2.8

Середнє число днів з пиловими бурями, критичні швидкості вітру і середні швидкості вітру під час пилових бур для Українського Причорномор'я

Метеостанція	Середнє число днів з пиловими бурями	Критична швидкість вітру, м/с	Середня швидкість вітру під час пилових бур, м/с
Одеська область			
Сербка	1,8	10	12,1
Роздільна	3,8	10	12,8
Сарага	8,1	10	12,4
Ізмаїл	2,0	8	11,3
Миколаївська область			
Вознесеньск	2,6	10	13,5
Баштанка	2,5	10	12,0
Тілігуло-Березанка	3,0	10	12,0
Миколаїв, АМСГ	8,8	10	11,6
Херсонська область			
Нижні Сірогози	17,3	10	12,9
Берислав	11,4	8	10,5
Херсон, агро	9,4	8	10,2
Асканія-Нова	2,8	13	15,0
Новоолексіївка	6,3	13	15,9

Таблиця 2.9

Середня швидкість і напрям вітру під час пилових бур по місяцях (Кліматичний кадастр ..., 2006)

Місяць	Середня швидкість вітру, м/с			Переважаючі напрями ерозійно-небезпечних вітрів		
	Ізмаїл	Миколаїв	Херсон	Ізмаїл	Миколаїв	Херсон
Квітень	12,3	12,7	11,3	С, СЗ	В	В
Травень	11,6	12,5	10,5	С, СЗ	В, ЮВ	В
Червень	12,1	12,3	10,3	СЗ	СВ	З
Липень	11,4	12,6	10,7	С	В	Ю
Серпень	11,7	13,8	12,2	С	З	Ю
Вересень	11,2	12,7	10,8	СЗ	СЗ	З

**Критичні швидкості вітру на висоті 10 м для ґрунтів
степової зони України (Долгилевич, 1978)**

Ґрунт	Критична швидкість, м/с
Чорнозем потужний середньозмитий	14,9
Чорнозем звичайний карбонатний легкоглинистий	9,6
Чорнозем звичайний важкосуглинистий	10,8
Чорнозем звичайний змитий важкосуглинистий	11,7
Чорнозем карбонатний легкоглинистий	10,4
Перегнійно-карбонатна середньоглиниста	8,1
Чорнозем карбонатний сильнозмитий важкосуглинистий	8,7
Чорнозем солонцюватий супіщаний	8,9
Чорнозем піщано-середньосуглинистий	7,2
Чорнозем південний важкосуглинистий	10,4
Чорнозем південний середньоглинистий	10,4
Чорнозем південний важко суглинний і легкоглинистий	11,7
Чорнозем південний змитий середньосуглинистий	12,2
Чорнозем південний карбонатний легкоглинистий	9,6
Чорнозем південний карбонатний середньоглинистий	6,4
Чорнозем південний карбонатний змитий легкоглинистий	11,7
Темно-каштанова легкоглиниста солонцювата	13,8
Темно-каштанова піщано-легкосуглиниста солонцювата	13,0
Темно-каштанова карбонатная легкоглиниста	10,2
Темно-каштанова супіщана	9,1
Солонець середньостовпчастий важкоглинистий	9,4
Солонець корковий важкоглинистий	8,7
Еоловий дрібний пісок	6,6

- розрахункової максимальної швидкості вітру, м/сек;
- * середнього за профілем вмісту гумусу в шарі 0-10 см, %;
- * середнього за профілем вмісту мулу + дрібного пилу (фракції 0-0,005 мм), %;
- * середнього за профілем вмісту карбонатів, %;

При цьому, якщо позначені зірочкою (*) параметри не були введені з клавіатури, при розрахунку *потенційної дефляції* будуть автоматично використані їх усереднені для обраного типу ґрунту значення, що містяться в Банку довідкової інформації.

При розрахунках інтенсивності дефляційних втрат ґрунту при *заданому землекористуванні* вздовж кожному розрахунковому профілю додатково задається файл даних про сівозміну (ідентифікатор файлу даних "К").

2.4. Методика розрахунків добрив на проектну урожайність

Поточного часу існують різні методи розрахунку норм добрив. Всі вони умовно можуть бути розділені на чотири групи (Лисовал і ін., 1989; Смирнов, Муравин, 1991):

- методи, які використовують результати польових дослідів із добривами;
- балансово-розрахункові методи, які ґрунтуються на забезпеченні виносу із урожаєм культур головних елементів живлення за допомогою добрив;
- комплексні методи, які крім потреби рослин у головних елементах живлення враховують і інші фактори урожайності культур;
- економіко-математичні методи, які ґрунтуються на визначенні норм добрив за рівняннями множинної регресії.

Методи які використовують результати польових дослідів, є неточними попри великі витрати часу та коштів. По-перше, при визначенні оптимальних норм і співвідношень добрив виконуються дослідів з великою кількістю варіантів, при цьому неминуче має вплив просторова строкатість родючості ґрунту. По-друге, поправочні коефіцієнти, які використовуються, мають частковий характер, оскільки вони відносяться до конкретних природно-господарських умов. По-третє, у зв'язку із постійною сортозміною

у землеробстві, впровадженням нових технологій та внесенням нових форм добрив, розвиток польового досвіду здійснюється більш повільно, ніж виробництво, тому рекомендації пришвидшено старіють та мають деякою мірою орієнтовний характер.

Оцінюючи можливості практичного використання комплексних методів з метою встановлення норм добрив за бонітетом та окупністю добрив, слід враховувати відсутність диференційованих (для великої різноманітності ґрунтів) і достатньо точних показників окупності балу бонітету ґрунту урожайністю сільськогосподарських культур.

Суть економіко-математичних або емпірико-статистичних методів полягає в тому, що норми добрив визначають за рівняннями множинної регресії, отриманими у процесі математичної обробки виробничо-статистичного матеріалу або результатів польового багатofакторного досліджу. Емпірико-статистичні методи обмежені в часі і просторі і прийнятні лише для тих умов, для яких вони виведені (Лисова і ін., 1989).

Найкращим є балансово-розрахунковий метод визначення норм добрив, який з часів Ю. Лібіха не втратив своєї актуальності через те, що забезпечує найбільш раціональне використання добрив і сприяє значному підвищенню урожаю (Каюмов, 1992, Методические указания по способам расчета доз удобрений ..., 1989).

Метод заснований на урахуванні таких основних складових балансу поживних речовин, як виніс поживних речовин із запланованим урожаєм та використання рослинами поживних речовин з ґрунту, добрив, рослинних решток.

Для отримання найбільш точних результатів розрахунків норм добрив запропоновано враховувати також післядію мінеральних та органічних добрив і ерозійні втрати елементів живлення.

Методика розрахунків полягає у наступному:

1. Визначається виніс поживних речовин (азоту, фосфору, калію) із запланованим урожаєм:

$$\begin{aligned} BN_v &= UBN_v \times Y_v, \\ BP_v &= UBP_v \times Y_v, \\ BK_v &= UBK_v \times Y_v, \end{aligned} \quad (2.4)$$

де BN, BP, BK – виніс азоту, фосфору, калію v -ою культурою, кг діючої речовини (д. р.) / га; PBN, PBP, PBK – питома вага виносу поживних речовин з одною тонною урожаю, кг д. р. / га (табл. 2.11); U_v – урожайність v -ої культури, т/га.

2. Визначається використання поживних елементів з ґрунту:

$$\begin{aligned} BBN_v &= 3 \cdot 10^{-2} BN KBN_v, \\ BBP_v &= 3 \cdot 10^{-2} BP KBP_v, \\ BBK_v &= 3 \cdot 10^{-2} BK KBK_v, \end{aligned} \quad (2.5)$$

де BBN, BBP, BBK – використання азоту, фосфору, калію з ґрунту v -ою культурою, кг д. р. / га; KBN, KBP, KBK – коефіцієнти використання азоту, фосфору, калію з ґрунту v -ою культурою, % (табл. 2.12); BN, BP, BK – вміст рухливих форм азоту, фосфору, калію в орному шарі ґрунту, мг/кг.

3. Визначається кількість поживних речовин, які використовуються з органічних добрив:

$$\begin{aligned} BON_v &= 0,1 aNO DO KON_v, \\ BOP_v &= 0,1 aPO DO KOP_v, \\ BOK_v &= 0,1 aKO DO KOK_v, \end{aligned} \quad (2.6)$$

де BON, BOP, BOK – використання поживних речовин з органічних добрив v -ою культурою, кг д. р. / га; aNO, aPO, aKO – вміст азоту, фосфору, калію в даному виді органічного добрива, % (табл. 2.13); DO – норма внесення даного органічного добрива, т/га; KON, KOP, KOK – коефіцієнти використання азоту, фосфору, калію з органічних добрив у t -ий рік дії, % (табл. 2.14).

4. Визначається використання поживних речовин після дії мінеральних добрив:

$$\begin{aligned} BPN_v &= KPN_v 10^{-2} HN_g, \\ BPP_v &= KPP_v 10^{-2} HP_g, \\ BPK_v &= KPK_v 10^{-2} HK_g, \end{aligned} \quad (2.7)$$

де BPN_v, BPP_v, BPK_v – використання азоту, фосфору, калію v -ою культурою, кг д. р. / га; KPN_v, KPP_v, KPK_v – коефіцієнти використання v -ою культурою азоту, фосфору, калію з мінеральних добрив у t -ий рік дії (післядії) (табл. 2.15); HN_g, HP_g, HK_g – внесені під g -попередника азоту, фосфору, калію, кг д. р. / га.

Таблиця 2.11

Виніс поживних речовин з урожаєм сільськогосподарських культур (основною та побічною продукцією), кг/т
(Методические указания по способам ..., 1989)

Код культури	Культура	Продукція	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6
22 23 1000	Оз. пшениця	зерно	32	11	26
22 22 1000	Оз. ячмінь	зерно	20	13	25
21 16 0000	Яр. ячмінь	зерно	20	13	25
21 17 0000	Яр. овес	зерно	20	13	19
10 03 1000	Кукурудза/зерно	зерно	30	10	26
21 18 0000	Просо	зерно	30	14	35
21 19 0000	Сорго	зерно	37	11	16
21 20 0000	Гречка	зерно	30	15	39
10 06 0000	Горох	зерно	65	14	22
10 07 0000	Віка	зерно	49	14	23
10 08 0000	Соя	зерно	72	14	20
10 04 1000	Соняшник	насіння	60	26	186
10 01 0000	Цукровий буряк	к/плоди*	5,0	1,3	5,0
10 02 0000	Кормовий буряк	к/плоди	6,5	1,5	8,5
10 05 0000	Картопля	бульби	5,0	2,2	8,0
10 03 3000	Кукурудза	з/к**	4,5	1,0	2,8
10 04 2000	Соняшник	силос	2,9	0,8	6,0
10 03 2000	Кукурудза	силос	4,5	1,0	2,8
10 07 3000	Віка	з/к	2,0	1,0	4,0
21 17 3000	Овес	з/к	2,0	1,0	4,0
10 06 3000	Горох	з/к	2,0	1,0	4,0
12 00 0000	Овочі (у середньому)	плоди	3,0	1,5	4,0
11 00 0000	Баштанні (у середньому)	плоди	3,0	1,2	4,5
22 23 3000	Оз. пшениця	з/к	4,5	2,5	5,0
22 22 3000	Оз. ячмінь	з/к	4,5	1,8	3,6
31 00 2000	Однорічні трави	сіно	21	4,5	19
31 00 3000	Однорічні трави	з/к	11,4	1,6	4,8
32 00 2000	Багаторічні трави	сіно	17,6	6,3	19,5

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4	5	6
32 00 3000	Багаторічні трави	з/к	3,7	1,5	3,9
21 21 1000	Зернобобові	зерно	65	14	22
21 21 4000	Зернобобові	сіно	65	14	22
40 00 0000	Багаторічні насадження	плоди	15	5	10
12 10 0000	Капуста	качани	3,3	1,3	4,4
12 14 0000	Томати	плоди	3,3	1,1	4,5
12 09 0000	Огірки	плоди	3,0	1,5	4,5
12 11 0000	Цибуля	плоди	3,0	1,2	4,0
10 02 0000	Буряк столовий	к/плоди	3,0	1,2	4,5
12 12 0000	Морква	к/плоди	3,0	1,0	5,0

* - коренеплоди;

** - зелений корм.

Таблиця 2.12

**Коефіцієнти використання поживних речовин з ґрунту
сільськогосподарськими культурами різної забезпеченості
їх елементами живлення (Лисовал і ін., 1989; Методические
указания по способам ..., 1989)**

Культура	Легкогідролізований <i>N</i>			Рухомий <i>P</i> за Чириковим			Обмінний <i>K</i> за Чириковим		
	низ.	сер.	вис.	низ.	сер.	вис.	низ.	сер.	вис.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Чорноземи, сірі лісові ґрунти									
Цукровий буряк	33	30	27	10	9	8	33	30	30
Кормовий буряк	33	30	27	10	9	8	33	30	30
Картопля	21	21	20	9	9	9	33	30	30
Горох	39	39	35	9	9	8	15	12	10
Віка	39	39	35	9	9	8	15	12	10
Соя	39	39	35	9	9	8	15	12	10
Баштанні	34	25	19	10	9	8	38	30	22
Овочі	34	25	19	10	9	8	38	30	22

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кукурудза/ зерно	32	26	24	12	9	8	31	23	19
Кукурудза/ силос	25	19	17	10	9	7	20	16	14
Кукурудза на з/к	25	19	17	10	9	7	20	16	14
Соняшник/ насіння	38	32	25	23	16	12	75	65	50
Соняшник/ силос	30	22	15	10	8	8	65	50	40
Яр. ячмінь	25	19	17	10	9	7	20	16	14
Яр. овес	25	19	17	10	9	7	20	16	14
Просо	25	19	17	10	9	7	20	16	14
Сорго	25	19	17	10	9	7	20	16	14
Гречка	16	12	11	7	6	5	19	16	14
Зернобобові/ зерно	39	39	35	9	9	8	15	12	10
Зернобобові/ сено	39	39	35	9	9	8	15	12	10
Оз. пшениця/ зерно	34	25	23	11	9	5	17	13	12
Оз. ячмінь/ зерно	34	25	23	11	9	5	17	13	12
Оз. пшениця з/к	24	18	16	10	8	4	10	8	7
Оз. ячмінь з/к	24	18	16	10	8	4	10	8	7
Однорічні трави/сено	19	12	12	8	5	5	17	11	10
Однорічні трави з/к	10	9	9	7	4	4	9	7	6
Багаторічні трави/сіно	19	12	12	8	5	5	17	11	10
Багаторічні трави з/к	10	9	9	7	4	4	9	7	6
Віковівсяна суміш з/к	10	9	9	7	4	4	9	7	6

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горох з/к	10	9	9	7	4	4	9	7	6
Овес з/к	10	9	9	7	4	4	9	7	6
Капуста	40	35	28	18	14	11	44	38	22
Томати	34	25	19	6	5	4	38	34	27
Огірки	18	17	15	10	9	8	27	21	17
Чорнозем південний, каштанові ґрунти									
Цукровий буряк	31	28	27	10	8	8	33	30	30
Кормовий буряк	31	28	27	10	8	8	33	30	30
Картопля	21	21	20	9	9	9	33	30	30
Горох	39	35	28	10	9	8	13	11	9
Віка	39	35	28	10	9	8	13	11	9
Соя	39	35	28	10	9	8	13	11	9
Капуста	40	35	28	18	14	11	44	38	22
Томати	34	25	19	6	5	4	38	34	27
Огірки	18	17	15	10	9	8	27	21	17
Кукурудза/зерно	34	25	21	12	9	7	33	23	19
Кукурудза/силос	25	20	18	10	8	7	20	17	15
Кукурудза на з/к	25	20	18	10	8	7	20	17	15
Соняшник/ насіння	38	30	29	19	16	15	76	61	58
Соняшник/силос	26	20	18	9	7	6	67	50	50
Яр. ячмінь	25	20	18	10	8	7	20	17	15
Яр. овес	25	20	18	10	8	7	20	17	15
Просо	25	20	18	10	8	7	20	17	15
Сорго	25	20	18	10	8	7	20	17	15
Гречка	14	12	10	7	6	5	20	15	13
Зернобобові/ зерно	39	35	28	10	9	8	13	11	9
Зернобобові/ сено	39	35	28	10	9	8	13	11	9
Оз. пшениця/ зерно	32	25	22	11	8	9	16	12	11
Оз. ячмінь/зерно	32	25	22	11	8	9	16	12	11

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оз. пшениця з/к	20	17	16	9	7	6	9	8	7
Оз. ячмінь з/к	20	17	16	9	7	6	9	8	7
Багаторічні трави/сіно	20	16	15	8	6	6	17	17	13
Багаторічні трави з/к	10	9	8	7	4	4	9	9	8
Однорічні трави/ сіно	20	16	15	8	6	6	17	15	13
Однорічні трави з/к	10	9	8	7	4	4	9	9	8
Віко-вівсяна суміш з/к	10	9	9	7	4	4	9	7	6
Горох з/к	10	9	9	7	4	4	9	7	6

5. Визначається виніс поживних речовин зі змитим ґрунтом:

$$\begin{aligned} ELN_v &= 10^{-3} CN W_{don} 1,7, \\ ELP_v &= 10^{-3} CP W_{don} 1,7, \\ ELK_v &= 10^{-3} CK W_{don} 1,7, \end{aligned} \quad (2.8)$$

де ELN , ELP , ELK – ерозійні втрати азоту, фосфору, калію, кг д. р. / га; W_{don} – значення допустимих втрат ґрунту, т/га.

6. Визначається кількість азоту, фосфору, калію, яку необхідно вносити із мінеральними добривами:

$$\begin{aligned} N_v &= \frac{BN + ELN - IISN - ИОН - ИПП}{10^{-2} KMM_v}, \\ P_v &= \frac{BP + ELP - IISP - ИОР - ИПП}{10^{-2} KMM_v}, \\ K_v &= \frac{BK + ELK - IISK - ИОК - ИПК}{10^{-2} KMM_v}, \end{aligned} \quad (2.9)$$

де N_v , P_v , K_v – кількість азоту, фосфору, калію, яку необхідно вносити із мінеральними добривами під v -у культуру, кг д. р. / га; KMN , KMP , KMK – коефіцієнти використання азоту, фосфору, калію з мінеральних добрив, %.

Результати обчислень виводяться у вигляді таблиці (табл. 2.16).

Для роботи у режимі FERTILIZ за кожним розрахунковим профілем необхідно формувати файли даних про сівозміну (з ідентифікатором *Y*), про фізико-хімічні властивості ґрунту (файл *dlhg.dat*), про вміст рухливих форм елементів живлення у ґрунті (файл *lnpk.dat*) та допустимих втратах ґрунту (файл *WDOP.dat*).

Файл про сівозміну (ідентифікатор даних "*Y*") містить інформацію про зміну вздовж конкретного або осередненого профілю виду та норми внесення органічних добрив (у т/га/рік), виду сільськогосподарських культур та їх проектної урожайності (т/га) для кожного року у межах сівозміни.

Таблиця 2.13

Вміст засвоюваних форм поживних речовин в органічних добривах, % (Петербургский, Смирнов, 1989)

Код добрива	Вид добрива	Вміст, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
01	Гній КРХ на солом'яній підстилці	0,17	0,08	0,45
02	Напіврідкий гній КРХ	0,15	0,045	0,35
03	Рідкий гній КРХ	0,14	0,04	0,20
04	Торф (у складі торф'яних компостів)	0,16	0,06	0,30
05	Солома (у складі торф'яних компостів)	0,17	0,08	0,45
06	Пташиний послід (без підстилки)	1,00	0,60	0,56

Файл про фізико-хімічні властивості ґрунту (*dlhg.dat*) формується для осередненого профілю та містить інформацію про зміни вздовж схилу наступних показників:

- середня потужність гумусового горизонту, см;
- середній вміст гумусу в ґрунтовому профілі, %;
- середній вміст гумусу в орному шарі ґрунту, %;
- середній вміст гумусу в шарі 0-10 см, %;
- середнє значення об'ємної маси орного шару, г/см³;
- середній вміст піску (часток розмірами >0,05 мм), %;
- середній вміст намулу + дрібного пилу (часток розмірами <0,005 мм), %;
- середній вміст карбонатів, %.

Таблиця 2.14

**Коефіцієнти використання сільськогосподарськими культурами
поживних речовин з органічних добрив, %
(Петербургский, Смирнов, 1989)**

Код добрив	Вид добрив	Год использования								
		I—й			II—й			III—й		
		<i>N</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>	<i>N</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>	<i>N</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>
01	Гній КРХ на солом'яній підстилці	52,9	62,5	48,9	29,4	18,7	20,0	14,7	12,5	15,5
02	Напіврідкий гній КРХ	53,3	66,7	57,1	26,7	22,2	20,0	26,7	11,1	17,1
03	Рідкий гній КРХ	57,1	62,5	60,0	21,4	25,0	20,0	14,3	12,5	15,0
04	Торф (у складі торф'яних компостів)	52,9	62,5	48,9	29,4	18,7	20,0	14,7	12,5	15,5
05	Солома (у складі торф'яних компостів)	50,0	66,7	60,0	31,2	16,7	13,3	15,6	16,7	10,0
06	Пташиний послід (без підстилки)	50,0	66,7	50,0	30,0	33,3	24,0	20,0	-	10,0

Таблиця 2.15.

**Коефіцієнти використання сільськогосподарськими культурами
поживних речовин з мінеральних добрив у післядії
(Методические указания по способам ..., 1989)**

Рік післядії	<i>N</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>
Другий	5	15	20
Третій	5	5	-

Таблиця 2.16.

**Рекомендації щодо внесення органічних та мінеральних добрив
на заплановану урожайність (форма таблиці)**

№ поля	Культура	Урожайність т/га	Органічні добрива		Мінеральні добрива		
			Вид	Нормат/ га	N кг д.р.	P ₂ O ₅ кг д.р.	K ₂ O кг д.р.

Файли із даними про вміст *N, P, K* (*lnpk.dat*) та про допустимі втрати ґрунту (*WDOP.dat*) також формуються для усередненого профілю. Перший містить інформацію про зміну вздовж схилу вмісту у ґрунтовому профілі азоту, фосфору та калію (у %), другий – пересічні величини допустимих втрат ґрунту (у т/га), розраховані у модулі OPTIMIZ.

Питання і завдання для самоконтролю

1. Дайте характеристику історії створення, призначення і структури комп'ютерної системи агроландшафтного проектування (КСАП), розробленої на кафедрі фізичної географії ОНУ.
2. Які завдання можливо вирішувати з використанням КСАП?
3. Яка математична модель ерозійних втрат ґрунту реалізована в КСАП?
4. Охарактеризуйте методику підготовки вхідних даних для розрахунків потенційного змиву ґрунту і змиву ґрунту при заданому варіанті землекористування.
5. Яка математична модель дефляційних втрат ґрунту реалізована в КСАП?
6. Охарактеризуйте методику підготовки вхідних даних для розрахунків потенційних дефляційних втрат ґрунту і дефляційних втрат ґрунту при заданому варіанті землекористування.
7. В якому вигляді представлені результати розрахунків змиву ґрунту в КСАП?

8. Які методи розрахунку добрив існують поточного часу?
9. Перелічити основні етапи розрахунку добрив балансово-розрахункового методу Лібіха.
10. Який модуль у середовищі КСАП відповідний за розрахунки добрив і яку інформацію слід використовувати для відповідних розрахунків?

3. ВИРІШЕННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ

3.1. Підготовка вхідних даних для розрахунків ерозійних втрат ґрунту в середовищі комп'ютерної системи агроландшафтного проектування

Мета: підготувати базові вхідні дані для розрахунків ерозійних втрат ґрунту в межах комп'ютерної системи агроландшафтного проектування (КСАП).

Завдання: 1) дати стислу фізико-географічну характеристику території дослідження; 2) на основі фрагменту топографічної карти підготувати дані у вигляді таблиць для урахування рельєфу, ґрунтового покриття та землекористування території; 3) на міліметровому папері побудувати робочі профілі схилів; 4) ввести дані у КС агроландшафтного проектування.

Обладнання: фрагмент топографічної карти масштабу 1:25000, лінійка, циркуль-вимірювач, простий олівець, міліметровий папір, КСАП.

Хід виконання

1) Фізико-географічна характеристика території включає наступні відомості:

- фізико-географічне положення;
- макро- та мезоформа рельєфу, їх коротка характеристика (абсолютні висоти, перевищення, горизонтальне та вертикальне розчленування території);
- кліматичні умови (тип клімату, середньорічна кількість опадів, середня інтенсивність опадів, максимальна інтенсивність опадів, розподіл опадів по сезонах року, кількість (у %) твердих та рідких опадів, середні температури повітря по сезонах). Дані для опису є Кліматичний кадастр України та довільно обрані Інтернет джерела;
- поверхневі та підземні води (водні об'єкти, їх режим, глибини залягання підземних вод);
- ґрунтовий покрив (типи, підтипи, види ґрунтів, механічний склад, ступінь еродованості);
- ландшафти (стисла характеристика місцевостей та урочищ території дослідження).

2) Підготовка даних для подальших розрахунків виконується на основі топографічної карти масштабу 1:25 000. На карті обирається схилова ділянка, вздовж якої необхідно провести щонайменше три профілі. Для цього на початку проводять лінії вододілу та підосви схилу. Профілі проводять рівномірно по площі всієї ділянки перпендикулярно горизонталям рельєфу від лінії вододілу до підосви схилу.

За допомогою лінійки або циркуля-вимірювача, починаючи зверху вздовж кожного профілю, вимірюють відстані між горизонталями (у мм) і результати заносять у таблицю (табл. 3.1), у першій колонці якої надається висота (значення горизонталі). Далі за масштабом карти міліметри переводять у метри. У останній колонці таблиці наводять накопичену відстань, отримуючи загальну довжину профілю.

Таблиця 3.1

Дані вимірювань: рельєф. Профіль № ...

Висота, м	Відстань, мм	Відстань, м	Накопичена відстань, м
100	0	0	0
95	5	125	125

На основі карти ґрунтового покриття території із урахуванням ступеня еродованості ґрунтів створюється таблиця із даними про ширину смуг ґрунтів різного ступеня еродованості вздовж розрахункових профілів (табл. 3.2): 1 – незмиті ґрунти, 2 – слабкозмиті, 3 – середньозмиті, 4 – сильнозмиті.

Таблиця 3.2

Дані вимірювань: ґрунти. Профіль № ...

Відстань, мм	Відстань, м	Накопичена відстань, м	Ступінь еродованості ґрунту, код
0	0	0	1
20	500	500	1
15	375	875	2

Відстані між перетином профілю із границею смуг ґрунтів різного ступеню еродованості вимірюють за допомогою циркуля-вимірювача або лінійки в мм зверху від вододілу і за масштабом карти переводяться в м.

Кінцева накопичена відстань (довжина профілю) в таблицях 3.1 і 3.2 повинна бути однаковою.

3) Кожний розрахунковий профіль креслять на окремому аркуші міліметрового паперу (формату А4) за даними таблиці 3.1. Вздовж вертикальної лінії відкладають висоту (h , м). За початкову (нульову) відмітку приймається мінімальна відмітка горизонталей на кожному профілі. Вздовж горизонтальної лінії відкладають довжину профілю (L , м).

Зазвичай відношення вертикального масштабу до горизонтального складає близько 1:10. Профілі креслять зліва направо зверху (від вододілу) вниз (до підосви схилу).

4) Для вводу даних у середовищі КСАП необхідно створити окрему папку (директорію) з унікальною назвою (найкращий варіант – прізвище студента латиницею). Необхідно внести дані Рельєф та Ґрунти для кожного профілю окремо у вигляді двохколонних таблиць. Для Рельєфу першою колонкою є висота (відмітка горизонталі), другою – відстані між горизонталями в м. Дані вводяться зверху вниз (від вододілу до підосви схилу). Для Ґрунтів першою колонкою є відстань між межами контурів у м, другою – код ґрунту за ступенем еродованості.

Після запуску програми необхідно виконати настройку каталогу (рис. 3.1) і увійти у відповідну папку. Для цього натиснути меню Настройка (Настр.) у верхньому рядку і Робочий каталог. У списку каталогів вибрати відповідний.

У меню файл обрати опцію Новий редакт. У полі, що відкрилося, ввести дані з таблиці Рельєф (колонки 1 і 3) для профілю №1. Вигляд двохколонного файлу файлу Рельєф наведений у п. 2.1. Ідентифікатором файлу є символ Z.

Для збереження файлу натиснути в меню Файл Зберегти як... Як описано у п. 2.1. посібника, назви файлів у КС строго уніфіковані. За ідентифікатор ділянки дослідження можна прийняти перші чотири літери прізвища студента латиницею. Таким чином, назва файлу даних з рельєфу для профілю №1 може мати такий вигляд: `ivanZ001.000`.

Аналогічно створюються файли Рельєф для інших профілів ділянки дослідження.

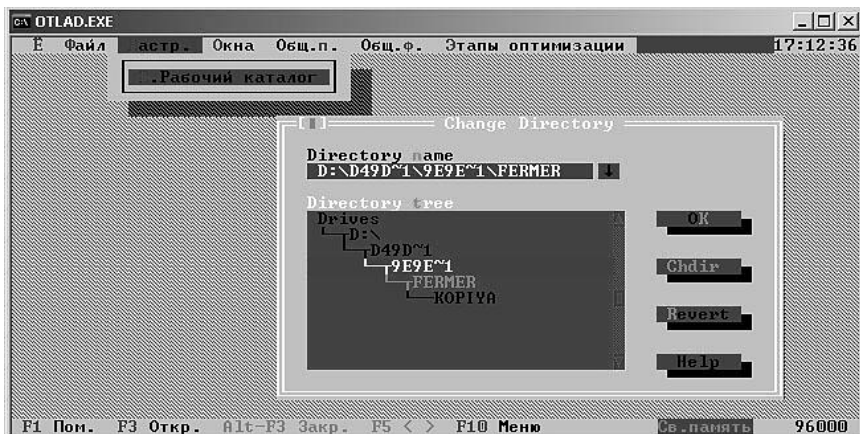


Рис. 3.1. Налаштування робочого каталогу в середовищі КСАП

Надалі створюються і зберігаються файли з даними про ґрунти, які мають наступний вигляд (таблиця 3.2, колонки 2 і 4):

```
0 1
500 1
180 2
75 3
60 4
```

Назва файлу із даними про ґрунти може мати вигляд: ivanE001.000. Після введення і збереження даних у відповідному каталозі необхідно перевірити наявність для кожного профілю двох файлів із відповідними файловими ідентифікаторами Z та E.

Контрольні питання

1. Які дані необхідно підготувати для роботи у КСАП?
2. Як отримують дані про рельєф?
3. Що містять дані файлу про рельєф?
4. Яким чином отримують дані про ґрунти?
5. Що містять дані файлу про ґрунти?

3.2. Розрахунки потенційного змиву ґрунту в середовищі комп'ютерної системи агроландшафтного проектування

Мета: оцінити ерозійну небезпеку території на основі розрахунків потенційного змиву ґрунту в середовищі КСАП.

Завдання: 1) розрахувати потенційний змив ґрунту; 2) побудувати графіки зміни потенційного змиву ґрунту вздовж розрахункових профілів; 3) побудувати карту потенційного змиву ґрунту; 4) зробити аналіз отриманих результатів та висновки щодо зміни потенційного змиву ґрунту вздовж розрахункових профілів; 5) обґрунтувати рекомендації щодо використання земель.

Обладнання: КСАП.

Хід виконання

1) Для розрахунків потенційного змиву ґрунту в середовищі КСАП необхідно обрати відповідний етап (рис. 3.2.). Для цього у головному меню вибрати підменю Етапи оптимізації і у ньому – режим Розрахунки потенційного змиву ґрунту (POTERLOS).

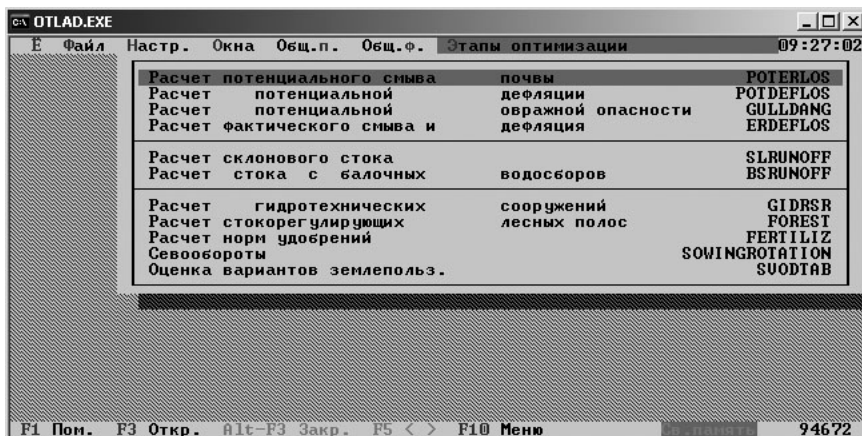


Рис. 3.2. Підменю Етапи оптимізації КСАП

Після вибору режиму необхідно задати загальні параметри розрахунків, до яких відносяться: масштабний коефіцієнт, крок розрахунків вздовж профілю, номер профілю, номер модифіка-

ції, список профілів, площа оперативної ділянки, тип ґрунту, назва оперативної ділянки, ідентифікатор операційної ділянки. Всі ці параметри знаходяться в підменю Загальні параметри (меню «Общ. п.») (рис. 3.3)

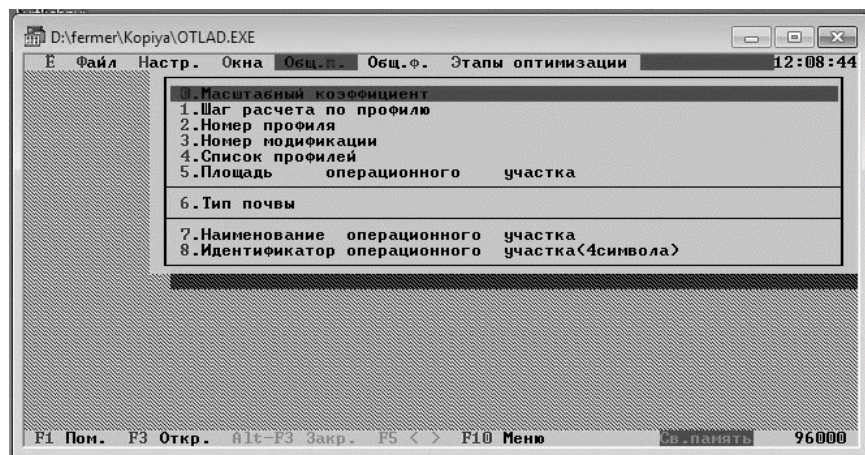


Рис. 3.3. Підменю Загальні параметри КСАП

Масштабний коефіцієнт приймається рівним 1 у разі, коли вводяться дані з карти, переведені у метри згідно з масштабом (друга і третя колонки таблиці 3.1).

Згідно з численними перевітками моделі самим наближеним до реальних значень кроком розрахунків є значення 10 м. У разі довжини профілю більш, ніж 500 м, доцільним є обрання кроку розрахунків 50 м. Збільшення кроку розрахунків призводить до узагальнення результатів у межах великих відрізків схилу і втрати точності розрахунків.

Номер профілю задається відповідно до назви файлів даних (див. лабораторну роботу №1).

Номер модифікації можна прийняти без задання (0). З навчальної мети достатньо використовувати одну модифікацію даних.

Список профілів можна активувати для того, щоб бачити у процесі роботи, які профілі є в базі даних. Використовувати не обов'язково.

Площа оперативної ділянки розраховується за картою з використанням стандартної палетки із квадратом 1 см² та масштабу карти.

Тип ґрунту обирається з відповідної таблиці (рис. 3.4). Тип та механічний склад ґрунту визначає його протиерозійні властивості. У профільній моделі змиву-акумуляції ґрунту, що реалізована в середовищі КС агроландшафтного проектування, використані дані з протиерозійної стійкості ґрунтів для типів, характерних для природних зон степу та лісостепу України. Обраний тип та механічний склад ґрунту автоматично визначає величину параметру його протиерозійної стійкості, а саме загальної та часткової характеристик змиваємості.

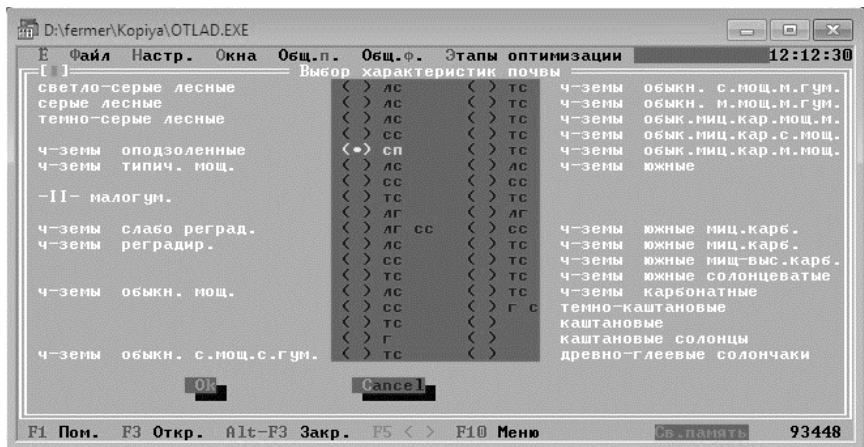


Рис. 3.4. Підменю Загальні параметри / Тип ґрунту

Назва операційної ділянки обирається за бажанням. Ідентифікатор операційної ділянки – чотири перших літери назви файлів даних (див. лабораторну роботу №1). Введення ідентифікатора операційної ділянки є обов'язковим!

Після введення всіх загальних параметрів задають параметри етапу POTERLOS, до яких відносяться: гідрометеорологічний фактор зливогого змиву ґрунту ($K_{ГМзлив}$), гідрометеорологічний фактор весняного змиву ґрунту ($K_{ГМвесн}$), експозиція, характер поверхні, розрахункова інтенсивність опадів (рис. 3.5, п. 1.2.2).

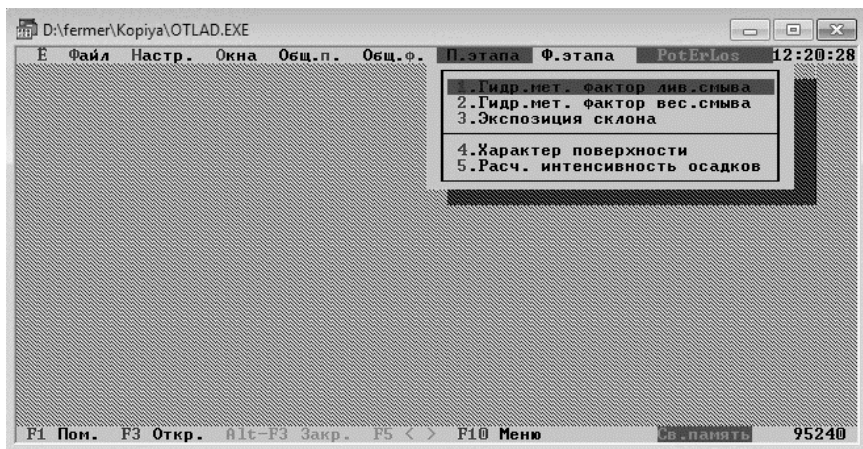


Рис. 3.5. Підменю Параметри етапу

Значення гідрометеорологічного фактору зливого та весняного змиву беруть з картосхем (рис. 1.1 та 1.2) методом інтерполяції. Числові значення $K_{ГМзлив}$ по регіонам наведені у табл. 1.6. Значення $K_{ГМвесн}$, отримані з карти, помножують на 10^{-5} .

Експозиція схилу визначається за топографічною картою за чотирма румбами.

Характер поверхні обирається зі списку (рис. 3.6). Для обчислення потенційного змиву ґрунту обирається Пар (оранка поперек або вздовж схилу).

Розрахункову інтенсивність опадів можна залишити без задання. У програмі запропонована середня максимальна інтенсивність зливових опадів для степу та лісостепу України (2,1 мм/хв.).

Після введення параметрів етапу та загальних параметрів у підменю Загальні функції («Общ. ф.») виконати дію Ініціалізація профілю (рис. 3.7). Якщо всі дані введені правильно, рядок ініціалізації буде позначений зеленим кольором. В іншому випадку на екрані з'явиться запис про помилку.

Після успішної ініціалізації в підменю Загальні функції виконати дію Формування таблиці. Після цього в підменю Файл вибрати дію Переглянути і відкрити відповідний файл, який буде мати назву POTERLOS із відповідним номером профілю. Приклад розрахункової таблиці потенційного змиву ґрунту наведений

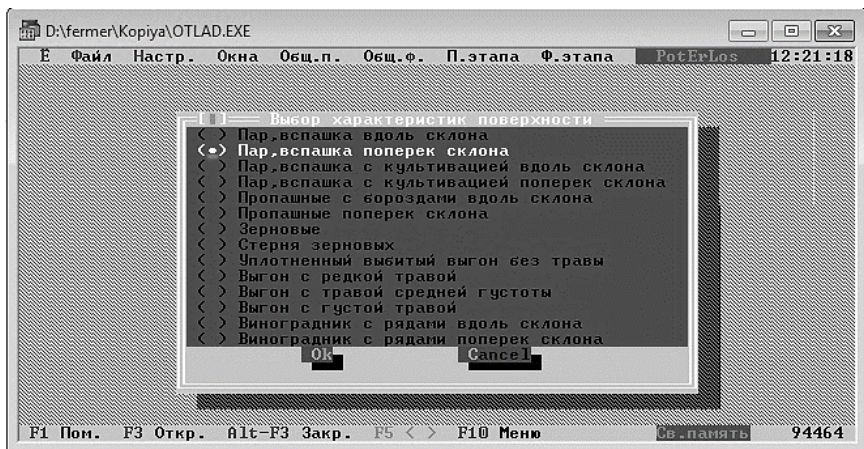


Рис. 3.6. Підменю Параметри етапу / Характер поверхні

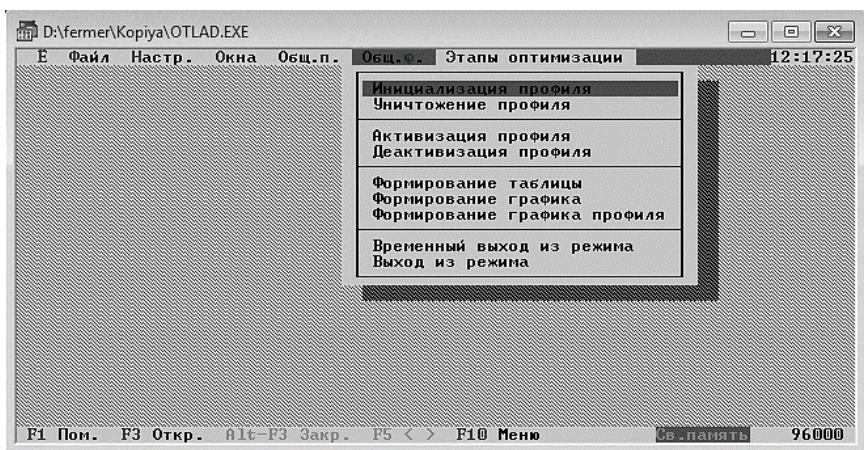


Рис. 3.7. Підменю Загальні функції

на рис. 3.8. (а також у табл. 1.12). Дані з таблиці необхідно роздрукувати або зафіксувати письмово.

2) На основі розрахунків потенційного змиву ґрунту будуть графіки розподілу значень змиву вздовж схилу. У середовищі програми графіки створюються шляхом активізації опції «Формирование графика». Графіки мають вигляд, як показано на рис. 2.3.

Расстояние от начала м	Местный уклон %	Модуль ливневого смыва т/га/год	Модуль весеннего смыва т/га/год	Модуль суммарного смыва т/га/год
50.0	2.9	0.47	0.50	0.97
100.0	15.1	37.51	24.53	62.04
150.0	14.0	-16.17	-10.35	-26.52
200.0	7.2	6.38	5.69	12.07
250.0	12.9	11.13	22.72	33.86
300.0	11.1	7.06	-6.47	0.59
350.0	16.3	19.32	70.76	90.08
400.0	12.9	7.17	-66.86	-59.69
429.1	7.1	13.61	27.74	41.35

Рис. 3.8. Приклад розрахункової таблиці

Для удосконалення навичок побудови графіків змиву, сумісних із профілем схилу, та зручності аналізу на міліметровому папері із профілями (див. Лабораторну роботу №1, п. 3)) необхідно створити додаткову шкалу справа із модулем сумарного потенційного змиву ґрунту (W , т/га/рік) (рис. 3.9). Згідно з масштабом зверху вниз вздовж профілю схилу нанести значення розрахованого змиву на координатну площину і з'єднати точки плавною лінією. Вздовж горизонтальної осі відміряють довжину (колонка Відстань від початку, м, розрахункової таблиці), вздовж вертикальної – модуль сумарного змиву, т/га/рік з відповідної колонки розрахункової таблиці.

3) Для створення карти потенційного змиву ґрунту отримані значення модуля потенційного змиву наносять на топографічну основу поруч відповідних точок на робочих профілях (рис. 3.10). На основі цих точок проводять ізолінії потенційного змиву ґрунту згідно з градацією, наведеною у таблиці 3.3 (перша колонка).

4) Розраховані дані, створені графіки та карта дають підставу для аналізу і інтерпретації отриманих результатів. Вздовж профілів схилу на графіках чітко видно, на яких частинах схилу зменшується або збільшується розрахований потенційний змив. Із таблиць зчитуються мінімальні та максимальні значення. На-

приклад, від'ємні значення потенційного змиву ґрунту свідчать про акумуляцію зруйнованого матеріалу. Карта дозволяє наочно бачити площі із різним рівнем ерозійної небезпеки території. У ході аналізу результатів можна використовувати наступні вирази: «діапазон значень змиву складає від... до...», «процеси акумуляції характерні для...», «найбільші значення змиву характерні для...», «у верхній третині схилу потенційний змив складає...», «нижня третина схилу менш підвержена ерозійному руйнуванню» тощо.

5) Після аналізу та інтерпретації результатів необхідно оцінити ерозійну небезпеку території, рівень якої відповідає рівням потенційного змиву ґрунту, наведеним у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Категорії ерозійної небезпеки земель і рекомендації з їхнього використання

Потенційний змив, т/га/рік	Ерозійна небезпека	Рекомендації з використання земель
<0,5	Відсутня	Обмеження у виборі культур та технологій їх вирощування відсутні
0,5-2,0	Умовно відсутня	Внесення науково обґрунтованих норм органічних та мінеральних добрив, обробка та посіви поперек схилу
2,0-5,0	Слабка	Контурна обробка та посів, проведення агротехнічних протиерозійних заходів
5,0-10,0	Середня	Проведення комплексу протиерозійних заходів (внесення підвищених доз добрив, ущільнені посіви, смугове розміщення культур, зменшення долі просапних культур у сівозміні тощо).
10,0-20,0	Висока	Контурно-меліоративна система землеробства, лісомеліорація
>20,0	Дуже висока	Постійне залужування, заліснення

Агроекологічна оцінка ерозійної небезпеки земель виконується на основі співставлення розрахованих величин потенційного змиву ґрунту для кожної точки досліджуваної території з відповідними величинами допустимих втрат ґрунту (див. п. 1.2.6). Також уявляється доцільним ввести категорію «умовно ерозійно-небезпечні землі» – з розрахованим потенційним змивом не вище 2 т/га/рік. Вважається (Каштанов та ін., 1990), що в умовах культурного ґрунтоутворювального процесу в Україні фактичні допустимі втрати близькі до цієї величини. Проведення навіть найпростіших протиерозійних заходів в межах таких земель практично повністю нівелює змив ґрунту.

На основі створеної карти з використанням матеріалу, наведеного у пп. 1.2.4, 1.2.5 та даних таблиці 3.3. обґрунтувати рекомендації щодо використання окремих частин ділянки дослідження та проведення у їх межах певних протиерозійних заходів.

Контрольні питання

1. Які етапи оптимізації використання ерозійно небезпечних земель містяться в середовищі КСАП?
2. Які параметри відносять до загальних для розрахунків змиву ґрунту у середовищі КСАП?
3. Що містить меню КСАП Параметри етапу?
4. Що означає поняття модуль сумарного змиву в розрахунковій таблиці змиву ґрунту?
5. Перелічити етапи створення карти потенційного змиву ґрунту.
6. Які категорії ерозійної небезпеки земель виділяють?
7. Перелічити загальні рекомендації з використання земель різних категорій ерозійної небезпеки.

3.3. Розрахунки ерозійних втрат ґрунту з урахуванням поточного землекористування

Мета: розрахувати змив ґрунту в середовищі КСАП при поточному використанні земель.

Завдання: 1) підготувати необхідні дані; 2) розрахувати змив ґрунту при поточному землекористуванні; 3) проаналізувати

отримані результати та зробити висновки щодо поліпшення використання земель.

Обладнання: КСАП.

Хід виконання

1) Перед початком роботи необхідно дати стислу характеристику використання даної ділянки. Для цього навести основну продукцію (наприклад, соняшник, озима пшениця тощо), дані з максимальної урожайності культури, проективного покриття, рослинних решток після збору урожаю, основні засоби агротехніки та протиерозійні заходи.

Для розрахунків змиву ґрунту з урахуванням поточного землекористування необхідно підготувати файл з землекористування (п. 2.1). Файл має специфічний формат. Всі дані записуються в одному рядку на відміну від файлів з рельєфу та ґрунтів:

$dL D O K_i Y_i M_i Q_i P_{emi} K_{tpi} R_i O_{fi} P_{dmi}$

де dL – розмір ділянки вздовж профілю (довжина профіля в м) (табл. 3.1. остання колонка, останнє значення); D – код органічних добрив (без задання приймають 1 – гній); O – доза органічних добрив, т/га (як середня, що рекомендується або використовується по району); K_i – код сільськогосподарської культури (додаток Г); Y_i – проектна урожайність, т/га; M_i – код мінеральних добрив (без задання приймають 5 – амміачні добрива); Q_i – доза мінеральних добрив, кг/га/рік; P_{emi} – код протиерозійних заходів (додаток В); K_{tpi} – код характеру поверхні (додаток Г); R_i – кількість рослинних решток, що лишаються після збору урожаю даної культури, т/га; O_{fi} – відкритість фону, %; P_{dmi} – код протидефляційних заходів (без задання приймають 0 – відсутні протидефляційні заходи).

Подібні файли створюються для всіх розрахункових профілів, кожному з них надається назва у відповідності до ідентифікатору ділянки дослідження та файлу даних, у даному випадку K . Таким чином, приклад назви файлу має такий вигляд: $ivanK001.000$.

Файли із рельєфу та ґрунтів, створені раніше (див. Лаб. роб. №2), є також необхідними для обчислення змиву ґрунту при заданому типі землекористування.

2) Для виконання дій із розрахунків необхідно в меню «Этапы оптимизации» вибрати режим «Расчет фактического смыва и дефляция» (ERDEFLOS).

Після цього у головному меню кликнути підменю Ф. етапа і вибрати відповідний режим (ERLOS) (рис. 3.11).

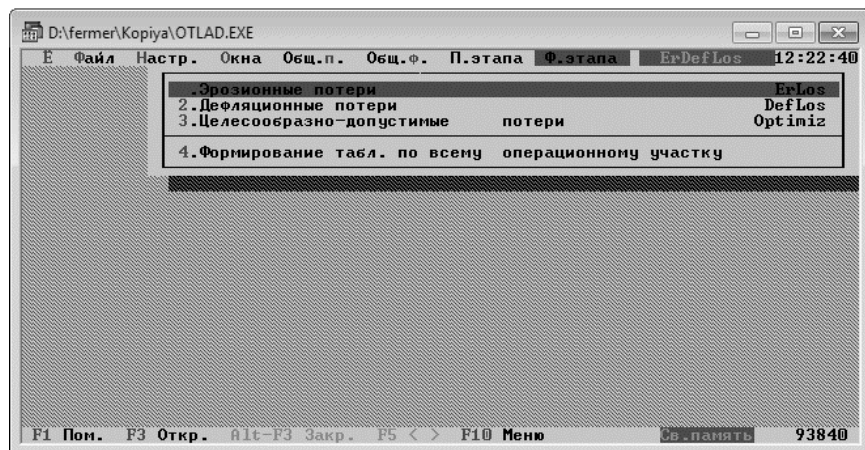


Рис. 3.11. Підменю Функції етапу

Аналогічно до розрахунків потенційного змиву ґрунту для розрахунків змиву при поточному землекористуванні необхідно задати відповідні параметри етапу та загальні параметри (див. Лабораторна робота № 2, п. 1).

Після ініціалізації даних у підменю Загальні функції виконати дію Формування таблиці, у підменю Файл вибрати опцію Переглянути і відкрити відповідний файл, який буде мати назву ERLOS із відповідним номером профілю. Розрахункова таблиця фактичного змиву ґрунту має такий же вигляд, як наведено на рис. 3.7. Дані з таблиці змиву при поточному землекористуванні необхідно також роздрукувати або зафіксувати письмово.

3) Після отримання таблиці із розрахованим змивом ґрунту необхідно проаналізувати дані та зробити висновок щодо раціонального чи нераціонального використання ділянки дослідження. Сформулювати самостійно рекомендації щодо оптимізації використання земель у межах ділянки дослідження.

Контрольні питання

1. Які функції можна виконати в меню ErDefLos?
2. Які дані містить файл про землекористування (К)?

3.4. Розрахунки потенційних ерозійних втрат ґрунту з використанням просторової ГІС-реалізованої версії фізико-статистичної моделі змиву ґрунту

Мета: розрахувати змив ґрунту з використанням просторової ГІС-реалізованої моделі зливогого змиву-акумуляції ґрунту або просторової ГІС-реалізованої версії фізико-статистичної моделі (ГІС-моделі).

Завдання: 1) підготувати необхідні дані; 2) розрахувати потенційний змив ґрунту; 3) проаналізувати отримані результати та зробити висновки щодо поліпшення використання земель.

Обладнання: пакет моделювання природного середовища *PCRaster*, ГІС-моделі.

Хід виконання

1) Для початку розрахунків необхідно створити цифрову модель рельєфу (ЦМР) згідно з стандартною методикою та карту ґрунтів із урахуванням ступеня змитості (п. 1.2.3).

З навчальною метою запропоновано використати вже існуючу ЦМР та ґрунтову карту (рис. 3.12).

Дослідна територія – схил долини річки Малий Катлабух. Територія знаходиться у межах Причорноморської низовини, абсолютні висоти вододілу 55-57 м. Довжина схилу близько 900 м, середня крутизна – близько 8°. Схил зайнятий одним сільськогосподарським полем, культури, які найчастіше вирощують – озима пшениця та кормові трави. Величина комірки растру на ЦМР – 5 м.

Крім ЦМР та ґрунтової карти, за вхідну будемо вважати карту просторового розподілу гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту, створену на основі карти вологості верхнього півметрового шару ґрунту (рис. 1.4), і коефіцієнти агротехніки та рослинності, постійні для всієї дослідної території, оскільки вона обмежується одним сільськогосподарським угіддям.

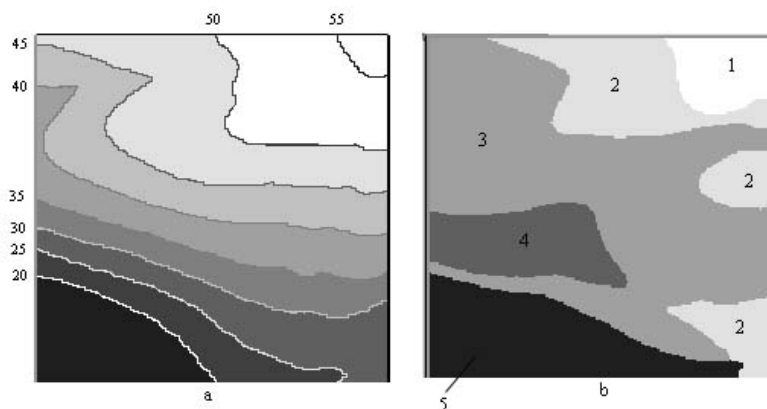


Рис. 3.12. Цифрова модель рельєфу (а) та карта ґрунтів (б) формату *PCRaster*: 1 – чорноземи звичайні міцелярно-карбонатні незмиті; 2 – ті самі слабкозмиті; 3 – ті самі середньозмиті; 4 – ті самі сильнозмиті; 5 – ті самі змито-намиті в комплексі з лучно-чорноземними ґрунтами

Також для розрахунків необхідно підготувати декілька специфічних для пакету *PCRaster* текстових файлів з метою перекондування карт ґрунтів та ліній току:

- текстовий файл для рекласифікації ґрунтової карти в карту показника m при нахилі (*m.txt*) (див. формули 1.11-1.12);
- текстовий файл для рекласифікації ґрунтової карти в карту відносної зиваємості (*jR.txt*);
- текстовий файл для рекласифікації карти місцевих ліній току в карту кутів відхилення від них напрямків змін відносної звиваємості (*ldd.txt*).

Докладніше про роботу в середовищі *PCRaster* можна ознайомитися на офіційному сайті пакету або у навчальному посібнику з геоінформатики (Світличний, П'яткова, 2019).

Наведені текстові файли та цифрові карти є основою банку даних моделі (1.11)-(1.12).

2) Перед початком розрахунків потенційного змиву ґрунту необхідно вивчити текстові файли, які є розрахунковими модулями ГІС-моделі, написаними мовою *PCRaster*. Таки файлів два.

Один з них (param.bat) дозволяє отримати проміжні результати у вигляді цифрових карт з основними факторами водної ерозії ґрунту (протиерозійна стійкість ґрунтів, нахили поверхні, довжина схилів, фактори агротехніки та рослинності, коефіцієнт форми схилових мікророзводобіорів), а в другому файлі (eros.bat) запрограмовані самі вирази (1.11)-(1.12) і результатом є цифрова карта зливогого змиву ґрунту, а точніше його просторового розподілу. Фрагмент одного з модулів наведений на рис. 3.13.

```
rem расчет смыва почвы с участков, на которых La больше длины субводосбора
pcrcalc I.map=if(pr1.map eq 1, ((1+0.5*L.map/length.map)**0.5)*%1jR.map*%1slopm.map*%1length.map, 0)
pcrcalc II.map=if(pr1.map eq 1, %1jR.map*La.map*%1dslopm.map*%2*%3, 0)
pcrcalc III.map=if(pr1.map eq 1, %1slopm.map*La.map*cosa.map*%1djR.map*%2*%3, 0)
pcrcalc IV.map=if(pr1.map eq 1, %1jR.map*%1slopm.map*La.map*%2*%0, 0)
pcrcalc V.map=if(pr1.map eq 1, %1jR.map*%1slopm.map*La.map*%0*%3, 0)
pcrcalc VI.map=if(pr1.map eq 1, %1jR.map*%1slopm.map*La.map*kk8.map*%2*%3, 0)
pause

rem смыв почвы с участков, где La меньше длины субводосбора
pcrcalc I1.map=if(pr1.map eq 0, ((1+0.5*L.map/%1ldds1.map)**0.5)*%1jR.map*%1slopm.map*%1length.map, 0)
pcrcalc II1.map=if(pr1.map eq 0, %1jR.map*%1dslopm.map*length.map**1.5*%2*%3, 0)
pcrcalc III1.map=if(pr1.map eq 0, %1slopm.map*length.map**1.5*cosa.map*%1djR.map*%2*%3, 0)
pcrcalc IV1.map=if(pr1.map eq 0, %1jR.map*%1slopm.map*length.map**1.5*%2*%0, 0)
pcrcalc V1.map=if(pr1.map eq 0, %1jR.map*%1slopm.map*length.map**1.5*%0*%3, 0)
pcrcalc VI1.map=if(pr1.map eq 0, %1jR.map*%1slopm.map*kk8.map*length.map*%2*%3, 0)
pause

rem создание карты эрозионных потерь почвы
pcrcalc %1eros.map=I1.map+II1.map+III1.map+IV1.map+V1.map+VI1.map
```

Рис. 3.13. Фрагмент розрахункового модуля просторової версії ГІС-реалізованої фізико-статистичної моделі змиву ґрунту

Для роботи використовують оболонку Windows Commander або Total commander. Першою дією в командному рядку вводиться файл param.bat і через пробіли ідентифікатор ділянки дослідження (два перших латинських символи, однакові для назв всіх вхідних файлів) та величина комірки растру. Після введення даних натиснути клавішу Enter.

Другою дією в командному рядку вводиться назва файлу eros.bat і через пробіли ідентифікатор ділянки, значення гідрометеорологічного фактору ($K_{ГМ}$) для району досліджень (рис. 1.1) та осереднене значення фактору агротехніки (табл. 1.8). Після натискання Enter. Карта потенційного змиву в списку файлів форма-

ту *PCRaster* буде мати назву %1eros.map, де %1 – ідентифікатор ділянки дослідження. Карту необхідно відкрити та зробити аналіз розподілу потенційного змиву ґрунту по площі ділянки. При цьому слід вказати максимальні та мінімальні значення, для яких частин ділянки характерні такі значення і т. д.

Аналіз цифрової карти потенційного змиву ґрунту виконується також з використанням мови *PCRaster*. Для оцінки ерозійної небезпеки і виділення категорій земель з різною ерозійною небезпекою задля рекомендацій їхнього використання у середовищі пакету *PCRaster* створюється текстовий файл (eros.txt) із значеннями ерозійної небезпеки території: до 0,5 т/га/рік – змив відсутній, або акумуляція матеріалу; 0,5 - 2, змив умовно відсутній; 2 - 5 змив слабкий; 5 - 10 – змив середній; 10 - 20 – змив високий і більше 20 т/га/рік – змив дуже високий. Текстовий файл має вигляд:

```
[-50, 0>  
[0, 0,5>  
[0,5, 2>  
[2, 5>  
[5, 10>  
[10, 20>  
[20,>
```

Після створення та збереження текстового файлу у командному рядку необхідно ввести наступну команду формату *PCRaster*:

Table.exe -i eros.txt %1eros.map eros2.txt

де %1eros.map – цифрова карта потенційного змиву ґрунту; eros.txt – створений текстовий файл; eros2.txt – новий текстовий файл із даними про площі (м²), на яких розповсюджений змив ґрунту у певному діапазоні.

На основі даних новоутвореної таблиці створити стовбчасту діаграму, яка показує просторовий розподіл потенційного змиву ґрунту. На діаграмі вздовж горизонтальної осі відкладаються діапазони змиву ґрунту, а вздовж вертикальної – площа у %.

3) Проаналізувати отримані результати і на основі таблиці 3.3 самостійно сформулювати рекомендації щодо використання

земель ділянки дослідження та проведення певних протиерозійних заходів (див. пп. 1.2.4, 1.2.5, табл 3.3).

Контрольні питання

1. Які вхідні дані необхідні для розрахунків змиву ґрунту з використанням ГІС-реалізованої версії фізико-статистичної моделі змиву ґрунту?
2. Яка інформація використовується у вигляді цифрових карт, а яка у вигляді числових даних та таблиць у ГІС-реалізованій версії фізико-статистичної моделі змиву ґрунту?
3. Що називають цифровою моделлю рельєфу території?
4. Яким чином можна виконати аналіз цифрової карти змиву ґрунту у середовищі *PCRaster*?

СЛОВНИК ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ

Базис ерозії – горизонтальна поверхня, на рівні якої припиняється ерозія: для яру *Б. Е.* є меженний рівень ріки або її заплави; для дрібних річок – рівень ріки, у яку вони впадають. Загальний *Б. Е.* – рівень Світового океану.

Вали протиерозійні – земляні споруди, що будуються на схилах для припинення процесів ерозії та зростання ярів. По цільовому призначенню розділяються на водозатримуючі та водовідвідні.

Вали-тераси (синоніми – вали з широкою основою, гребеневидні тераси) – земляні споруди, які призначені для регулювання поверхневого стоку талих і зливових вод шляхом зміни профілю схилу. Висота валів, як правило, 0,3-0,6 м, ширина основи – в 8-12 разів більше висоти. *В.-т.* підрозділяються на: горизонтальні (розташовувані по горизонталях місцевості в умовах нестійкого зволоження) і похилі (застосовувані в умовах надлишкового зволоження для перехоплення і часткового відводу поверхневих вод).

Вологість ґрунту – кількість води, що міститься в порах ґрунту в умовах його природного залягання. Величина природної вологості є важливою характеристикою фізичного стану ґрунту, що визначає його міцність, деякі властивості, поведінку під навантаженнями від споруд і здатність вбирати воду від зливи або при сніготаненні.

Ґрунти еродовані (змиті) – ґрунти з укороченим гумусним профілем; *Г.Е.* є результатом інтенсивного процесу ерозії.

Дефляція (вітрова ерозія) (від латинського *deflatio* – видування, здування) – руйнування і знесення ґрунту вітром.

Еродуємість – загальне позначення податливості ґрунту ерозійному руйнуванню; існують різні кількісні показники і методи визначення *Е.*

Ерозіознавство – наукова дисципліна, яка розглядає водну ерозію як процес; наслідки цього процесу для навколишнього середовища та господарської діяльності, а також засоби боротьби з ерозією.

Ерозія антропогенна – ерозія ґрунту, яка є результатом діяльності людини.

Ерозія (водна ерозія) – частина процесу денудації, яка складається з руйнування, переміщення і відкладення частинок ґрунту і порід під дією дощу та поверхневого стоку і визначається законами падіння крапель і руху водних потоків.

Ерозія геологічна – ерозія як складова процесу денудації, що відбувається під впливом тільки природних чинників.

Ерозія ґрунту – змив і розмив ґрунту, а іноді і ґрунтоутворюючих порід, поверхневим стоком тимчасових водних потоків.

Ерозія злизова – ерозія, обумовлена дією зливових вод.

Ерозія іригаційна – в широкому трактуванні терміну застосовується при визначенні ерозійних процесів на зрошуваних землях. У вузькому значенні термін *Е.І.* часто використовують для позначення тільки ерозії при поливах і є синонімом *поливної ерозії*.

Ерозія лінійна – процес інтенсивного розмиву в глибину природного або штучного поглиблення на схилі. Результатом *Е.Л.* є лінійні розмиви – витягнуті ерозійні форми різних розмірів – *промоїни і яри*.

Ерозія нормальна – ерозія ґрунту, при якій інтенсивність ерозійного руйнування не перевищує швидкість ґрунтоутворення і яка не веде до деградації ґрунтового покриву.

Ерозія поверхнева (площинна) – змив і розмив ґрунту в тимчасовій струмковій мережі, а також на міжструмкових ділянках. Підрозділяється на *поверхнево-дрібноструменевий* і *зливовий поверхневий змиви*.

Ерозія поливна – ерозійне руйнування ґрунту, обумовлене безпосередньою дією зрошуваних (поливних) вод.

Ерозія прискорена – ерозія ґрунту, при якій інтенсивність ерозійного руйнування перевищує швидкість ґрунтоутворення і йде деградація ґрунтового покриву.

Ерозія розбризкування (крапельна ерозія) – руйнування і переміщення униз по схилу ґрунту під дією крапель дощу при їх падінні на зволожену поверхню.

Ерозія струмкова – ерозія, яка проявляється в струменях (струмках, водоріях) поверхневого стоку.

Ерозія яружна – ерозія ґрунту і ґрунтоутворюючих порід у лінійних поглибленнях з подовжнім профілем (*ярах*), відмінним

від профілю поверхні, що розмивається, проявляється під дією концентрованих водних потоків.

Залуження – посів багаторічних трав на ерозійно-небезпечних та еродованих ґрунтах з метою зменшення та розпилення поверхневого стоку і послаблення ерозії за рахунок утворення щільної дернини, створення водостійкої структури, підвищення водопроникності ґрунту і захисту поверхні ґрунту від ударів дощових крапель.

Землі (або ґрунти) ерозійно-небезпечні – землі (або ґрунти), на яких можливе ерозійне руйнування земель при гіпотетичному суцільному використанні території під ріллям без проведення будь-яких протиерозійних заходів.

Злива – короточасні атмосферні опади у вигляді дощу, що відрізняються високою інтенсивністю (до 100 мм/год); випадають на обмеженій території і виникають у вертикально нестійких повітряних масах; 3. викликає, як правило, формування поверхневого стоку та ерозію.

Зливовий поверхневий змив – змив ґрунту, який відбувається в тих же умовах, що і *поверхнево-дрібноструменевий*, але при додатковій енергетичній дії крапель дощу.

Змив ґрунту – втрати ґрунту внаслідок водної ерозії; має вираз в тоннах з гектара площі (т/га) або міліметрах шару (мм) за деякий період часу (найчастіше всього – за рік).

Змив весняний – втрати ґрунту, обумовлені ерозійною дією вод при сніготаненні.

Змив зливовий – втрати ґрунту, які обумовлені ерозійною дією крапель зливових дощів та поверхневого стоку, що формується зливовими опадами.

Змиваємість – в загальному значенні синонім терміну *еродуємість*; у вузькому – параметр логіко-математичної моделі поверхневого змиву ґрунту Г. І. Швєбса.

Інтенсивність ерозії – середня втрата ґрунту за певний період (зазвичай – рік), яка має вираз або у величині шару ґрунту, або у величині маси ґрунту з одиниці площі.

Класифікація земель – розподіл орних земель за однотипністю і інтенсивністю прояву ерозійної деградації ґрунтів; найчастіше виділяються три типи земель (“ерозійних фондів”, “еколо-

го-технологічних груп" і т. п.) – з ухилом до 3° , $3-5 (7)^\circ$, $>5 (7)^\circ$.

Коефіцієнт протиерозійної ефективності – відношення величини змиву ґрунту на варіанті досліду з оцінюваним ґрунтозахисним заходом до змиву ґрунту на контролі.

Контурна обробка ґрунту – спосіб обробки поверхні ґрунту, який передбачає обробіток (орання, культивування) на складних схилах у напрямку, близькому до горизонталей місцевості. Попереджує змив ґрунту, сприяє затримці талих та дощових вод, покращує їх використання сільськогосподарськими рослинами. *К.О.Г.* здійснюється з одночасним утворенням *гребенів, лунок, мікролиманів, щілюванням* тощо.

Лісосмуги прияружні – лісові насадження у вигляді стрічок уздовж великих ярів, створені для запобігання подальшого розвитку ерозійних процесів; скріплюють ґрунт, перешкоджають його розмиву, переводять поверхневий стік у внутрішньогрунтовий, поліпшують мікроклімат, сприяють раціональному використанню малопродуктивних земель.

Лісосмуги стокорегулюючі – лісові насадження у виді стрічок на схилах, які створюються для захисту ґрунту від ерозії; один з видів захисних лісових насаджень; *Л.С.* сприяють рівномірному розподілові снігу, затримці і регулюванню поверхневого стоку; *Л.С.* зменшують змив і розмив ґрунту, підвищують його вологість, збільшують врожайність сільськогосподарських культур; *Л.С.* на схилах більш 2° , а в районах сильного прояву ерозії і менше, закладають упоперек схилу; на водозборах з різноманітним падінням схилів – у напрямку горизонталей з випрямленням по балкам; *Л.С.*, як правило, поєднують з гідротехнічними спорудами.

Логіко-математична модель поверхневого змиву ґрунту – емпірична фізико-статистична модель змиву ґрунту, розроблена Г. І. Швєбсом і в повному вигляді опублікована в 1974 р. У 80-ті – 90-ті роки минулого сторіччя була модифікована. Сучасний модифікований варіант *Л.М.М.П.З.* (1995) уявляє собою емпіричну фізико-статистичну модель змиву-акумуляції ґрунту.

Мікроводозбір схиловий – площа поверхні схилу, з якої всі поверхневі води стікають у задану точку простору (комірку растру) із координатами i, j .

Модель – образ (у тому числі, умовне або уявне зображення, опис, схема, креслення, графік, план, карта тощо) або прообраз (зразок) якого-небудь об'єкту, явища або системи об'єктів («оригіналу» даної *М.*), що використовується за певних умов у якості їх «замісника».

Модель змиву логіко-математична – див. *модель змиву фізико-статистична*.

Модель ерозії теоретична – математична модель водної ерозії, що спирається на описання основних складових ерозійно-аккумулятивного процесу з використанням диференціальних рівнянь нерозривності (балансу маси) і руху (балансу енергії). У якості субмоделей у складі *М.Е.Т.*, як правило, використовуються емпіричні формули інтерполяційного типу.

Модель змиву фізико-статистична – емпірична *математична модель* ерозійних втрат ґрунту, отримується в результаті обробки емпіричних даних з широким застосуванням теоретичних знань про процес ерозії. Деякі з моделей другої групи в ерозіознавстві називають ще «логіко-математичними».

Модель змиву формально-статистична – емпірична *математична модель* ерозійних втрат ґрунту, отримується в результаті обробки емпіричних даних на основі формально-статистичного підходу з використанням апарату множинної регресії.

Моделювання – дослідження будь-яких явищ, процесів або систем об'єктів шляхом побудови і вивчення їхніх *моделей*. *М.* включає: визначення, попередній аналіз досліджуваного об'єкта (формалізацію об'єкта), побудову моделі і її вивчення; отримання інформації щодо моделюємого явища, процесу, об'єкта і зіставлення її з реальною інформацією про явище, процес, об'єкт; коректування моделі до одержання задовільних результатів при порівнянні зазначеної інформації.

Моделювання імітаційне – побудова моделей реальних систем, які будується спочатку концептуально, а потім з залученням відомих методів формалізації і математичного опису, включаючи методи інформатики, системного аналізу; при *М.І.* строге математичне описання об'єкту (процесу) не обов'язкове – значне місце в цієї процедурі займають діалоги людини і комп'ютера, методи системного аналізу тощо; поступаючись в точності математично-

го опису традиційним математичним моделям реального об'єкта (процесу) імітаційна модель, як правило, має перевагу при розв'язанні практичних задач.

Моделювання математичне – опис будь-якого класу явищ зовнішнього світу за допомогою математичної символіки; в *ерозіознавстві* широко застосовуються моделі ерозії – *USLE*; *RESLE*; *логіко-математична* тощо.

Моделювання фізичне – вид моделювання, який реалізується через процедуру заміни при вивченні деякого об'єкта або явища експериментальним дослідженням його *моделі*, що має ту ж фізичну природу; в ерозіознавстві прикладом *М.Ф.* є *штучне дощування*.

Мульчування – покриття поверхні ґрунту різними матеріалами (мульчею) з метою зниження ерозійних втрат ґрунту, а також зменшення випаровування вологи з його поверхні, регулювання температури ґрунту, запобігання руйнування ґрунтової структури тощо; для *М.* застосовуються картон, торф'яна крихта, дрібний гній, солома тощо.

Мутність – концентрація наносів в одиниці об'єму води, кг/м³ (хоча може бути і безрозмірною – у вигляді так званої “об'ємної мутності”).

Наносоутворення – процес формування силових наносів – надходження в потік часток ґрунту або ґрунтоутворюючих порід під дією крапель дощу або води, що тече.

Небезпека ерозійна потенційна (син. - небезпека ерозійна) – можливість ерозійного руйнування земель при гіпотетичному суцільному використанні території під рілля без проведення будь-яких протиерозійних заходів.

Нерозмиваюча швидкість потоку – найбільша швидкість потоку, при якій ще не відбувається переміщення часток

Норма ерозії допустима – максимальні ерозійні втрати ґрунту (т/га/рік, м³/га/рік або мм/рік), що не приводять до деградації ґрунтового покриву, а в більш широкому значенні – агроландшафту в цілому.

Обробка ґрунту протиерозійна – безполіцевий обробіток ґрунту, прийом розпушування ґрунту знаряддями, які не обертають верхній шар ґрунту; застосовується при осінній основній

глибокій і дрібній обробці, при обробці пару та весняній передпосівній підготовці ґрунту; *О.І.П.* забезпечує розпушування ґрунту, але при цьому найбільш родюча її частина залишається на своєму місці, забезпечує збереження на поверхні ріллі до 50-80% стерні і рослинних решток; *О.І.П.* – невід'ємна частина ґрунтозахисної системи землеробства

Період активного наносоутворення – період в середині зливи з найбільшими інтенсивностями випадання, впродовж якого формується головна частина схилових наносів; для умов України *П.А.Н.* дорівнює 10-15 хвилинам.

Прийоми фітомеліоративні – комплекс протиерозійних заходів, які використовують ґрунтозахисні властивості дерев та польових сільськогосподарських культур; *П.Ф.* включають *ґрунтозахисні сівозміни, смугове розміщення культур, лісосмуги, залуження, буферні смуги на парах та полях з просапними культурами тощо.*

Покриття проективне – відношення площі вертикальної проекції надземної частини рослинного покриву в межах розглянутої площі до величини цієї площі; *П.П.* визначається або в безрозмірних показниках (частках одиниці), або у відсотках.

Потенційний змив ґрунту – можливі в даних кліматичних і ґрунтово-геоморфологічних умовах щорічні втрати ґрунту (т/га/рік, м³/га/рік, мм/рік) при використанні території під ріллю і відсутності протиерозійних заходів

“Пояс максимальної ерозії” – найбільш ерозійно небезпечна територія рівнинної України; *П.М.Е.* знаходиться на півдні Лісостепу - півночі Степу, в межах Подільської, Придніпровської і Донецької височин, де максимальна розораність сільськогосподарських угідь поєднується з максимальною зливовою діяльністю та найбільш ерозійно небезпечними характеристиками рельєфу.

Промойна – лінійний розмив, який не можна вирівняти (заорати) землеробськими знаряддями. Глибина *П.* складає 0,5-3,0 м.

Протиерозійна стійкість ґрунту – здатність ґрунту протистояти руйнуючій дії поверхневого стоку та крапель дощу. Характеристика, протилежна *змиваємості.*

Рівняння Уїшмейєра-Сміта – див. *Універсальне рівняння втрат ґрунту.*

Розмиваюча швидкість потоку – найменша швидкість (м/с), при якій настає безперервний відрив ґрунтових часток, що приводить до помітної ерозії ґрунтів.

Розпилювачі стоку – найпростіші протиерозійні гідромеліоративні земляні споруди, які призначаються для розосередження і відводу поверхневого стоку, який концентрується уздовж природних і штучних рубежів місцевості в безпечні щодо розмиву ґрунту місця.

Сівозміни ґрунтозахисні – сівозміни з великою часткою багаторічних та однорічних трав, а також густопокривних культур.

Система землеробства ґрунтозахисна – система, яка забезпечує надійний захист ґрунту від ерозії: *С.З.Г.* розробляється для кожної ґрунтово-кліматичної зони і є основою стійкого високопродуктивного землеробства; *С.З.Г.* включає ґрунтозахисні сівозміни з *смуговим розміщенням* зернових та кормових культур, *безпліщевим* та *плоскорізним обробітком ґрунту* упоперек схилу або контурно з залишенням на її поверхні стерні та інших рослинних рештків для затримки стоку і захисту ґрунту від ерозії; в *С.З.Г.* для підвищення врожайності зернових культур застосовують мінеральні добрива, особливо фосфорні (азотні – в обмеженій кількості); застосовують сівозміни без чистих пар, з багаторічними травами і з обмеженою площею просапних культур.

Смугове розміщення культур – фітомеліоративний захід по боротьбі з ерозією, пов'язаний з чергуванням поперек схилу або вздовж горизонталей смуг, зайнятих культурами з різною ґрунтозахисною ефективністю.

Струменеві (струмкові) розмиви (водобої) – лінійні ерозійні форми, які ще можуть бути зарівнені землеробськими знаряддями. Їх максимальна глибина не перевищує 0,5 м, часто обмежуючись плуговою підшоною (20-22 см). Ширина *С.Р.* може досягати 2-3 м і більше.

Тангенційне напруження (рушійна сила) потоку – сила, з якою потік діє на частки ґрунту на його дні, Па/м².

Терасування – штучна зміна поверхні схилів для боротьби з ерозією та кращого використання їх під сільськогосподарські та лісові культури; утворення *терас* - земляних споруд, обмежених

валами площадок, уступів; розрізняють тераси гребенеподібні, східчасті (лавоподібні), траншейні та тераси-канави.

УкрНДІЗГЕ – - Український науково-дослідницький інститут захисту ґрунтів від ерозії.

УкрНДГМІ – Український науково-дослідницький гідрометеорологічний інститут.

Універсальне рівняння втрат ґрунту (від англійського Universal Soil Loss Equation, скорочено – USLE) – фізико-статистична-математична модель змиву (або – ерозійних втрат) ґрунту, перша редакція якої розроблена у США у 1958 р., друга - у 1978 р., остання (під назвою *Revised Universal Soil Loss Equation*, скорочено – RUSLE) – у 1989 р. *У.Р.В.Г.* називають також іменем основних розробників перших версій У. Х. Уішмейєра (W. H. Wischmeier) і Д. Д. Сміта (D. D. Smith) “*рівнянням Уішмейєра-Сміта*”.

Формули змиву (втрат) ґрунту емпіричні (синоніми – математичні моделі змиву, або втрат ґрунту, емпіричні) – формули розрахунку середньобогаторічних ерозійних втрат ґрунту на схилі, отримані на основі статистичної обробки даних спостережень за змивом ґрунту або на стаціонарних стокових майданчиках, або з використанням методу штучного дощування.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР, Digital Elevation Model, DEM, інколи Digital Terrain Model, DTM) – цифрове представлення топографічної поверхні у вигляді регулярної мережі комірок заданого розміру (grid DEM), або нерегулярної трикутної мережі (TIN DEM).

Швидкість ґрунтоутворення – швидкість утворення ґрунту (в тому числі еродованого) з материнської гірської породи під впливом дії на неї живих організмів, продуктів їх метаболізму і розкладання; *Ш.Г.* залежить від властивостей гірських порід, клімату, рослинного покриву; основне джерело енергії ґрунтоутворення – сонячна енергія; великий вплив на *Ш.Г.* у сучасну епоху робить людина.

Щілювання – прийом обробки ґрунту; прорізання в ній поперек схилу щілин, як правило, глибиною 40-60 см на відстані 100-150 см одна від одної, використовується для регулювання поверхневого стоку і більш повного поглинання ґрунтом талих, зливових та поливних вод.

Яр – лінійна ерозійна форма, що виробили подовжній профіль, відмінний від профілю схилу.

Яри берегові – схилів яри, які розташовані на крутих схилах балок і річкових долин, нижче за їх брівку.

Яри вершинні – схилів яри, розміщені у верхів'ях балок, лощин і малих річкових долин.

Яри донні – лінійні розмиви, що розміщуються по днищах стародавніх ерозійних форм – улоговин, лощин, балок. Характеризуються великою водозбірною площею (від десятків до тисяч гектарів і більше) і значною глибиною.

Яри схилів – яри, що утворюються на схилах лощин, балок і річкових терас. Залежно від розташування схилів яри можуть бути *береговими, типово схилівими і вершинними*. Я.С., як правило, є одноступінчастими ярами, що розвиваються однією вершиною.

Яри типово схилів – схилів яри, вершини яких вийшли за брівку стародавніх ерозійних форм (балок, річкових долин) на пологі привододільні схили.

Яружна система – єдина сукупність основного русла і густої мережі ярів менших порядків.

Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE – див *Універсальне рівняння втрат ґрунту*.

Universal Soil Loss Equation, USLE – див. *Універсальне рівняння втрат ґрунту*.

EUROSEM (European Soil Erosion Model – Європейська модель ґрунтової ерозії) – динамічна математична модель ерозії-аккумуляції, розроблена європейськими фахівцями під керівництвом професора Р. П. С. Моргана (перша версія – у 1994 р.).

LISEM (Limburg Soil Erosion Model – Лімбурзька модель ґрунтової ерозії) – динамічна математична модель змиву-аккумуляції, розроблена в університеті м. Утрехта, Нідерланди (перша версія – у 1994 р.).

RUSLE – див. *Універсальне рівняння втрат ґрунту*.

USLE – див. *Універсальне рівняння втрат ґрунту*.

WEPP (Water Erosion Prediction Project) – Проект прогнозу водної ерозії – науково-дослідницький проект, що розробляється у США з 1985 р. Мета проекту – розробка методичної бази протиерозійного проектування нового покоління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Виноградов Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. 312 с.
2. ВСН 10.15 УССР 1-87. Правила по определению максимальных расходов воды дождевых паводков с малых водосборов при проектировании противозрозионных гидротехнических сооружений на равнинной территории УССР. Киев, 1987. 25 с.
3. Глобус А. М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических моделей. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 428 с.
4. Грушевский М. С. Неустановившееся движение воды в реках и каналах. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 288 с.
5. Долгилевич М. И. Пыльные бури и агролесомелиоративные мероприятия. Москва, 1978. 158 с.
6. ДСТУ 7081:2009. Ерозія ґрунту. Допустимі норми. Київ, 2010. 12 с.
7. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противозрозионных мероприятий на Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 49 с.
8. Заславский М. Н. Эрозия почв. Москва, 1979. 245 с.
9. Заславский М. Н. Эрозиоведение. Москва, 1983. 320 с.
10. Игошин Н. И., Сизов В. А., Хан К. Ю., Кириченко В. И. Определение противозрозионной устойчивости почв методом искусственного дождевания. *Эродированные почвы и повышение их плодородия*. Новосибирск, 1985. С.105-108.
11. Каштанов А. Н., Заславский М. Н. Почвоводоохранное земледелие. Москва: Россельхозиздат, 1984. 464 с.
12. Каштанов А. Н., Лисецкий Ф. Н., Швец Г. И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. Москва: Высшая школа, 1994. 126 с.
13. Киркби М. Дж. Моделирование процессов водной эрозии // Эрозия почв. Под ред. М. Дж. Киркби и Р. П. С. Моргана. Москва: Колос, 1984. С. 252-295.

14. Кліматичний кадастр України: стандартні кліматичні норми за період 1961-1990 рр.: електронний ресурс. Київ, Центральна геофізична лабораторія, 2006.
15. Копистинський М. М. Протієрозійні гідротехнічні споруди. Київ: Урожай, 1983. 136 с.
16. Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. Эрозия и охрана почв: Учебник. Москва: МГУ. 1996. 335 с.
17. Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. Эрозия и охрана почв. Москва, 2004. 352 с.
18. Куценко М. В. Геосисемні основи регулювання ерозійно-аккумулятивних процесів: геоморфосистемний аспект. Харків, 2012. 320 с.
19. Кумани М. В. Методы изучения ливневой эрозии почв в Центральной Черноземной области и пути их совершенствования. *Современные аспекты изучения эрозионных процессов*. Новосибирск: Наука, 1988. С. 60-62.
20. Кучмент Л. С., Демидов В. Н., Мотовилов Ю. Г. Формирование речного стока. Москва: Наука, 1983. 216 с.
21. Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв. Москва, 1993. 200 с.
22. Лисецкий Ф. Н. Закономерности формирования гумусового горизонта зональных почв Русской равнины. *Агрохимия и почвоведение*. 1990. Вып. 53. С. 3-7.
23. Лисецкий Ф. Н. Пространственно-временная организация агроландшафтов. Белгород, 2000. 304 с.
24. Лисецкий Ф. Н., Светличный А. А., Черный С. Г. Современные проблемы эрозиоведения / под ред. А. А. Светличного. Белгород, 2012. 456 с.
25. Лопырев М. И., Рябов Е. И. Защита земель от эрозии и охрана природы. Москва, 1989. 240 с.
26. Мероприятия по охране почв от эрозии. Научный обзор ФГНУ «РосНИИПМ». Москва, 2010. 71 с.
27. Методические указания по проектированию противэрозионной организации территории при внутриводосточном землеустройстве в зонах проявления водной эрозии. Москва, 1989. 79 с.

28. Пабат І. А. Грунтозахисна система землеробства. Київ: Урожай, 1992. 157 с.
29. Прокопенко С. С. Оценка среднего годового весеннего смыва почвы для территории Добрянской оросительной системы. *Комплекс первоочередных и перспективных научных и практических задач по мелиоративным мероприятиям на юге Украины*. Херсон, 1986. С. 70-71.
30. П'яткова А. В. Просторове моделювання водної ерозії ґрунту як основа наукового обґрунтування раціонального використання ерозійно-небезпечних земель: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.11. Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів. Одеса, 2011. 20 с.
31. П'яткова А. В. Урахування структури схилового стікання при просторовому моделюванні зливу ґрунту. *Вісник ОНУ. Серія географічні та геологічні науки*. 2013. Том 18 Вип. 2(18), С. 82-87.
32. Романова Е. Н., Мосолова Г. И., Береснева И. А. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства. Ленинград, 1983. 245 с.
33. Сазонов И. Н., Штофель М. А., Пилипенко А. И. Система мероприятий против эрозии почв. Киев: Вища школа, 1984. 248 с.
34. Светличный А. А. Принципы совершенствования эмпирических моделей смыва. *Почвоведение*. 1999. № 8. С. 1015-1023.
35. Светличный А. А., Швебс Г. И. Оценка противоэрозионной эффективности почвозащитных мероприятий. *Почвоведение*. 1984. № 7. С. 114-121.
36. Світличний О. О. Кількісна оцінка характеристик схилового ерозійного процесу і питання оптимізації використання ерозійно-небезпечних земель. Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. Одеса: Одеськ. держ. ун-т, 1995. 47 с.
37. Світличний О. О. Розрахунки ерозійних втрат ґрунту. Методичний посібник для самостійної роботи студентів. Одеса, 2000. 28 с.

38. Світличний О. О., Іванова А. В. Принципи просторового моделювання гідрометеорологічних умов зливого змиву ґрунту. Вісник ОНУ. Серія географічні та геологічні науки. 2004. Том 8. Вип. 5. С. 77-82.
39. Светличный А. А., Черный С. Г., Швебс Г.И. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты. Сумы, 2004. 410 с.
40. Світличний О. О., Чорний С. Г. Основи ерозієзнавства. Суми, 2007. 266 с.
41. Світличний О. О., Плотницький С. В. Основи геоінформатики. Суми: «Університетська книга», 2006. 296 с.
42. Светличный А. А., Черный С. Г., Швебс Г. И. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты. Сумы: ИТД «Университетская книга», 2004. 410 с.
43. Світличний О. О., П'яткова А. В. Практикум з геоінформатики: навчально-методичний посібник. Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2019. 176 с.
44. Справочник по почвозащитному земледелию / под ред. И. Н. Безручко и Л. Я. Мильчевской. Киев, 1990. 278 с.
45. Срибный И. К. Среднегодовой сток воды и смыв почвы со склонов. *Водохозяйственное строительство на малых реках*. Киев: Будівельник, 1977. С. 145-147.
46. Срибный И. К. О расчетах скоростей стекания и времени добега воды со склонов при определении максимальных ливневых расходов для малых водосборов. *Метеорология и гидрология*. 1979. № 12. С. 76-82.
47. Срібний І. К., Вергунов В. А. Визначення змиву ґрунту зі схилів. *Вісник аграрної науки*, 1993, № 7. С. 42-46.
48. Сурмач Г. П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. Волгоград, 1992. 174 с.
49. Сухановский Ю. П. Методы моделирования эрозионных процессов и основы формирования противоэрозионных комплексов. Автореф. дисс. ... докт. сельскохоз. наук. Курск: ВНИИЗЗПЭ, 2000. 47 с.
50. Сухановский Ю. П., Пискунов А. Н. Стохастическая модель с программным обеспечением для прогнозирования смыва

- почвы с пахотных земель (при весеннем снеготаянии). Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2006. 16 с.
51. Сухановский Ю. П., Пискунов А. Н, Санжарова С. И. Компьютерная модель для расчета среднесноголетних потерь почвы, обусловленных дождевой эрозией и эрозией при весеннем снеготаянии. Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2009. 52 с.
 52. *Философский энциклопедический словарь*. Москва: Советская энциклопедия, 1983. 840 с.
 53. Швебс Г. И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка. Ленинград, 1974. 184 с.
 54. Швебс Г. И., Светличный А. А. Проблемы оценки эффективности противоэрозионных мероприятий. *Теоретические основы противоэрозионных мероприятий*, ч. I. Одесса, 1979. С. 23-25.
 55. Швебс Г. И. Теоретические вопросы изучения водной эрозии. *Современные аспекты изучения эрозионных процессов*. Новосибирск: Наука, 1980. С. 17-22.
 56. Швебс Г. И. Теоретические основы эрозиоведения. Киев-Одесса, 1981. 223 с.
 57. Швебс Г. И., Светличный А. А. Вопросы методики количественной оценки противоэрозионных мероприятий. *Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях*. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1981. С. 142-144.
 58. Швебс Г. И., Светличный А. А., Ершов С. А., Кирток В.С., Лисецкий Ф. Н., Прокопенко С. С. Компьютерная система оптимизации использования эрозионно- и дефляционноопасных земель Украинского Причерноморья. *Оросительные мелиорации – их развитие, эффективность и проблемы*. Херсон, 1993. С. 51-52.
 59. Шелякин Н. М., Белолипский В. А., Головченко И. Н. Контурно-мелиоративное земледелие на склонах. Киев, 1990. 178 с.
 60. Эрозия почвы / под ред. М. Дж. Киркби и Р. П. С.Моргана. Москва, 1984. 416 с.

61. Arnold J. G., Fohrer N. SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrologic Processes* 19(3): 2005. P. 563-572.
62. Arnold, J. G., J. R. Williams, A. D. Nicks, and N.B. Sammons. SWRRB: A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management. Texas A&M Press. 1990. 255 p.
63. Beck M. B., Jakeman A. J., McAleer M. J. Construction and evaluation of models of environmental systems. In: Beck, M. B., McAleer, M. J. (Eds.), *Modelling Change in Environmental Systems*. John Wiley and Sons, 1995. P. 3–35
64. Bennett J. P. Concepts of mathematical modeling of sediment yield. *Water Resources Research*, 1974, vol. 10, № 3. P. 485-492.
65. De Jong S. M. Applications of reflective remote sensing for land degradation studies in a Mediterranean environment. *Netherlands Geographical Studies*, Utrecht, 1994, vol.177. 237 p.
66. De Roo A. P. J., Wesseling C. G., Cremers N. H. D. T., Offermans R. J. E., Ritserma C. J., Van Oostindie K. LISEM: A physically-based hydrological and soil erosion model incorporated in a GIS // J. J.Harts, H. F. L.Ottens, H. J.Scholten (eds), *EGIS/MARI'94 Conference Proceedings*. Utrecht, Amsterdam: EGIS Foundation, 1994. P. 207-216.
67. Doe III W. W., Harmon R. S. Introduction to soil erosion and landscape evolution modeling. *Landscape Erosion and Evolution Modeling* / R. S. Harmon and W. W. Doe III (eds). New York: Kluwer Academic/Plenum Publisher, 2001. P. 1-14.
68. Jakeman A. J., Green T. R., Beavis S. G., Zhang L., Dietrich C. R., Crapper P. F. Modelling upland and in-stream erosion, sediment and phosphorus transport in a large catchment. *Hydrological Processes*. 1999. 13 (5). P. 745-752.
69. Jetten V. G., Govers G., Hessel R. Erosion models: quality of spatial predictions. *Hydrological Processes*, 2003, V.17. P. 887-900.
70. Merritt W. S., Letcher R. A., Jakeman A. J. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software* 18, 2003. P. 761-799.

71. Morgan R. P. C. A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan-Morgan-Finney model. *Catena*. 2001. 44. P. 305-322.
72. Morgan R. P. C., Morgan D. D. V., Finney H. J. A predictive model for assessment of erosion risk. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1984. 30. P. 245-253.
73. Morgan R. P. C., Quinton J. N., Smith R. E., Govers G., Poesen J. W. A., Auerswald K., Chisci G., Torri D., Styczen M. E. The European soil erosion model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*. 1998, vol. 23. P. 527-544.
74. PCRaster manual, version 2: электронный ресурс. Utrecht: Faculty of Geographical Sciences Utrecht University & PCRaster Environmental Software, 1998. 368 p. URL: <http://pcraster.geo.uu.nl/documentation/pcrman/book1.htm>
75. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., and Yoder, D.C. coordinators. *Agricultural Handbook*. No. 703. U.S. Dept. of Agriculture, Washington DC, 1997. 404 p.
76. Prosser I. P., Young B., Rustomji P., Hughes A., Moran C. A model of river sediment budgets as an element of river health assessment. In: *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'2001)*, December 10-13, 2001. P. 861-866.
77. Recent development in erosion and sediment yield studies. Tech. Documents in Hydrology by the Working Group of the ICCE on INP-II/Project A. 1.31. UNESCO, Paris, 1985. 127 p.
78. Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., Yoder, D. C., 1997. Predicting Soil Erosion By Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) – USDA Agricultural Handbook 703. U.S. Department of Agriculture, Washington DC. 404 p.
79. Svetlitchnyi A., Yegorkin I., Shvebs H., Lisetsky F. Object-oriented approach in designing optimal agrolandscape based upon

- GIS / J. J. Harts, H. F. L. Ottens, H. J. Scholten (eds). EGIS'92 Conference Proceedings, Utrecht-Amsterdam: EGIS Foundation, 1992. pp. 423-430.
80. Svetlichny A. A., Plotnitskiy S. V., Stepovaya O. Y. Spatial distribution of soil moisture content within catchments and its modeling on the basis of topographic data. *Journal of Hydrology*. 2003. Vol. 277. P. 50-60.
 81. Vigiak O. Modelling spatial patterns of erosion in the West Usambara Mountains of Tanzania. *Doctoral Thesis Wageningen University*. Wageningen. 2005. 187 p.
 82. Viney N. R., Sivapalan M. A conceptual model of sediment transport: application to the Avon River Basin in Western Australia. *Hydrological Processes* 13, 1999. P. 727-743.
 83. Wheater, H. S., Jakeman, A. J., Beven, K. J. Progress and directions in rainfall-runoff modelling. In: Jakeman A. J., Beck M. B., McAleer M. J. (Eds.), *Modelling Change in Environmental Systems*. John Wiley and Sons, Chichester. 1993. P. 101-132.
 84. Williams J. R. Sediment-yield predictions with the Universal Equation using a runoff energy factor. ARS-S-40. U.S. Department of Agriculture, 1975. P. 244-252
 85. Wischmeier W. H., Smith D. D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*. No. 537. U.S. Department of Agriculture, Washington DC, 1978-1981. 67 p.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мальцев К. А., Мухарамова С. С. Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer): учебное пособие. Казань: Казан. ун-т, 2014. 103 с.
2. Наукові та прикладні аспекти захисту ґрунтів від ерозії. Харків: Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», 2010. 538 с.
3. Светличный А. А., Черный С. Г., Швобс Г. И. Эрозирование: теоретические и прикладные аспекты. Сумы, 2004. 410 с.
4. Світличний О. О., Іванова А. В. Принципи просторового моделювання гідрометеорологічних умов зливового змиву ґрунту. *Вісник ОНУ. Серія географічні та геологічні науки*. 2004. Том 8. Вип. 5. С. 77-82.
5. Світличний О. О., Чорний С. Г. Основи ерозієзнавства. Суми, 2007. 266 с.
6. Світличний О. О., Плотницький С. В. Основи геоінформатики. Суми: «Університетська книга», 2006. 296 с.
7. Світличний О. О., П'яткова А. В. Практикум з геоінформатики: навчально-методичний посібник. Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2019. 176 с.
8. PCRaster manual, version 2: електронний ресурс. Utrecht: Faculty of Geographical Sciences Utrecht University & PCRaster Environmental Software, 1998. 368 p. URL: <http://pcraster.geo.uu.nl/documentation/pcrman/book1.htm>
9. Svetlichny A. A., Plotnitskiy S. V., Stepovaya O. Y. Spatial distribution of soil moisture content within catchments and its modeling on the basis of topographic data. *Journal of Hydrology*. 2003. Vol. 277. P. 50-60.

ДОДАТКИ

Додаток А

Ідентифікатори файлів вхідних даних для роботи в середовищі КСАП

Тип файлу даних	Ідентифікатор
Координати земної поверхні (рельєф)	Z
Контури еродованості ґрунту	E
Характеристики ґрунтів	S
Дані про сівозміну (землекористування) модуль ERLOS	K
Дані про сівозміну (землекористування) модуль OPTIMIZ	O
Дані про сівозміну (землекористування) модуль FERTILIZ	Y
Характер поверхні	F

Додаток Б

Коди еродованості ґрунтового покриву

Ґрунт	Код
Незмитий	1
Слабкозмитий	2
Середньозмитий	3
Сильнозмитий	4
Намитий	5

Коди протиерозійних заходів

Протиерозійні заходи	Код
Протиерозійні заходи відсутні	0
Глибока оранка і оранка із ґрунтозаглибленням	1
Безвідвальний і плоскорізний обробіток ґрунту	2
Щілювання	3
Полосне розміщення культур	4
Мульчування	5

Код сільськогосподарських культур

Культура	Код
Чорний пар, зяб	1
Буряк цукровий і кормовий	2
Картопля	3
Горох, віка	4
Соя	5
Баштанні	6
Овочі	7
Кукурудза на зерно	8
Кукурудза на силос	9
Кукурудза на зелений корм	10
Соняшник на насіння	11
Соняшник на силос	12
Ячмінь яровий	13
Овес яровий	14
Просо, сорго	15
Гречка	16
Зернобобові на зерно	17
Зернобобові на сіно	18
Озима пшениця, ячмінь на зерно	19
Озима пшениця, ячмінь на зелений корм	20
Однорічні трави	21, 22
Багаторічні трави	23, 24

Коди характеру поверхні

Характер поверхні	Код
Пар:	
оранка вздовж схилу	1
оранка поперек схилу	2
оранка з культивацією вздовж схилу	3
оранка з культивацією поперек схилу	4
Просапні:	
з борознами вздовж схилу	5
з борознами поперек схилу	6
Зернові	7
Стерня зернових	8
Пасовище:	
ущільнене вибите без трави	9
з рідкою травою	10
з травою середньої густоти	11
з густою травою	12
Багатолітні насадження:	
з рядами вздовж схилу	13
з рядами поперек схилу	14

Навчальне видання

**Світличний Олександр Олексіївич
П'яткова Алла Вікторівна**

ПРИКЛАДНЕ ЕРОЗІЄЗНАВСТВО

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

За редакцією авторів

Верстка – С. Остапенко

Підп. до друку 16.11.2020. Формат 60х84/16.

Ум.-друк. арк.9,07. Тираж 30 пр.

Зам. № 2175.

Видавець та виготовлювач
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

Україна, 65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12

Тел.: (048) 723 28 39. E-mail: druk@onu.edu.ua

**Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215
від 22.11.2011 р. Р 51**