

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра землезнавства та геоморфології

На правах рукопису
УДК: 631.4

ГРУНТОЗАХИСНА ФУНКЦІЯ МІСЬКИХ ЗЕЛЕНИХ ЗОН

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Галузь знань	10 – Природничі науки
Спеціальність	103 – Науки про Землю
Освітня програма	Ґрунтознавство, управління земельними ресурсами та територіальне планування

Кваліфікаційна робота бакалавра
студентки четвертого курсу
Ангеліни БОВК

Науковий керівник
кандидат географічних наук, доцент
Ольга КОВТОНЮК

Київ – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ ЗЕЛЕНИХ ЗОН	6
1.1. Загальний огляд екосистемних послуг	6
1.2 . Ґрунтозахисні екосистемні послуги.....	11
РОЗДІЛ 2. ЧИННИКИ РОЗВИТКУ ЕРОЗІЇ ТА ДЕФЛЯЦІЇ У МЕЖАХ МІСЬКИХ ЗЕЛЕНИХ ЗОН	16
2.1. Ґрунтозахисна функція рослинності міських зелених зон.....	16
2.2. Кліматичні чинники.....	19
2.3. Ґрунтові чинники	20
2.4. Геоморфологічні чинники	21
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМНОЇ ПОСЛУГИ КОНТРОЛЮ ЕРОЗІЇ ҐРУНТУ: СВІТОВИЙ ДОСВІД І ПІДХОДИ	23
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ З КОНТРОЛЮ ШВИДКОСТІ ЕРОЗІЇ ҐРУНТУ МІСЬКИМИ ЗЕЛЕНИМИ ЗОНАМИ	28
4.1 Показники ефективності екосистемних послуг зелених зон у контролі швидкості ерозії ґрунту.....	28
4.2. Кількісна оцінка ризиків втрати екосистемної послуги контролю швидкості ерозії ґрунту.....	32
РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ҐРУНТОЗАХИСНОЇ ФУНКЦІЇ ЗЕЛЕНИХ ЗОН М. КИЄВА	35
ВИСНОВКИ	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	41
ДОДАТКИ	46

РЕФЕРАТ

У дипломній роботі досліджено екосистемні послуги зелених зон міського середовища з акцентом на ґрунтозахисну функцію як важливу складову регулюючих екосистемних послуг. Розглянуто роль міських зелених насаджень у попередженні ерозійних процесів, покращенні стану ґрунтів, зменшенні рівня запиленості та стабілізації мікроклімату в умовах урбанізації. Проведено аналіз чинників, що впливають на ерозійну активність, а також оцінено ефективність ґрунтозахисної функції на прикладі зелених зон Києва. Робота включає огляд міжнародного досвіду, запропоновано методику кількісного оцінювання екосистемної послуги контролю ерозії. Отримані результати мають практичне значення для збереження міських екосистем, підтримання родючості ґрунтів та планування зеленого простору в умовах кліматичних змін.

Ключові слова: екосистемні послуги, зелені зони, ґрунтозахисна функція, ерозійні процеси, міське середовище.

ВСТУП

Екосистемні послуги — це сукупність матеріальних і нематеріальних благ, які людство отримує від природних і напівприродних екосистем, включаючи регулювання біофізичних процесів, забезпечення ресурсами, підтримання біорізноманіття та формування умов для соціокультурного розвитку.

Зелені зони — це ділянки в межах або за межами населених пунктів, вкриті лісами чи лісопарками, які виконують захисні та санітарно-гігієнічні функції, а також слугують місцями для відпочинку. Рослинність у таких зонах зменшує вплив промислових і транспортних викидів, знижує рівень шуму, утримує пил, запобігає сніговим заметам і ерозії ґрунтів. Крім того, зелені насадження сприяють формуванню міського середовища, впорядковують простір і надають містам унікального вигляду. Вони забезпечують ряд екосистемних послуг, серед яких важливе місце посідає ґрунтозахисна функція. Міські зелені зони зменшують інтенсивність водної та вітрової ерозії, покращують структуру ґрунту, знижують рівень запиленості повітря, сприяють стабільності мікроклімату та накопиченню вологи. Саме функція контролю ерозійних процесів набуває особливої актуальності в умовах щільної міської забудови, оскільки деградація ґрунту впливає не лише на екосистеми, а й на комфорт та безпеку життя міського населення.

Сьогодні вже існують методики, які дозволяють оцінити ґрунтозахисну ефективність зелених зон і визначити ризики, пов'язані з можливими втратами цієї екосистемної послуги.

Актуальність теми зумовлена необхідністю збереження родючості міських ґрунтів, зменшенням ерозійного навантаження та збереження екосистемних функцій зелених зон в умовах урбанізації та кліматичних змін.

Об'єкт дослідження це екосистемні послуги зелених зон міського середовища. **Предмет дослідження** це ґрунтозахисна функція зелених зон як екосистемна послуга в умовах міст.

Метою даної роботи є оцінка ефективності ґрунтозахисної функції зелених зон у межах урбанізованих територій та розробити підходи до її кількісного аналізу.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз видів екосистемних послуг, що надаються зеленими зонами міст.
2. Розкрити зміст та значення ґрунтозахисної функції як однієї з регулюючих екосистемних послуг.
3. Визначити чинники, що впливають на розвиток ерозійних процесів у межах міських зелених зон.
4. Дослідити світовий досвід оцінювання екосистемної послуги контролю ерозії.
5. Розглянути методику оцінювання ефективності ґрунтозахисної функції.
6. Провести аналіз методичних підходів та результатів оцінки ґрунтозахисної функції зелених зон м. Києва.

Методи дослідження: системний аналіз, літературний огляд, емпіричне моделювання ерозійних процесів, порівняльний аналіз.

Інформаційна база: у роботі використано наукові публікації з екології, ґрунтознавства, урбаністики та ландшафтної екології, а також дані екологічного моніторингу.

Аналіз проведено з урахуванням сучасних методик оцінки екосистемних послуг, зокрема ґрунтозахисної функції, які адаптовані до умов урбанізованих територій.

Структура роботи складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний зміст викладений на 52 сторінках, містить 1 ілюстрацію, 11 таблиць та 2 додатки. Список використаних джерел має 34 позиції.

РОЗДІЛ 1. ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ ЗЕЛЕНИХ ЗОН

1.1. Загальний огляд екосистемних послуг

Термін «екосистемні послуги» вперше був запропонований британським науковцем E.F Schumacher у 1973 році в його праці «Small is Beautiful: Economics as if People Mattered». Досліджуючи тісний взаємозв'язок між людиною та навколишнім середовищем, він увів поняття «екосистемні», або ж природні (довкіллєві), послуги [1].

Вперше визначення цього терміна надали Пауль та Анна Ерліх у 1981 році, які розглядали екосистемні функції та послуги, що використовуються суспільством. Водночас на цьому етапі термін «екосистемні послуги» здебільшого застосовувався з пізнавальною метою — для демонстрації впливу втрати біорізноманіття та порушення функціонування екосистем на життя й добробут людей [1, 2].

У дослідженні О. Василюка та Л. Ільмінської наголошується, що при аналізі екосистемних послуг варто зосереджуватися лише на тих, які властиві екосистемам України. Значна частина екосистемних послуг не є актуальною для нашого регіону, оскільки вони характерні для інших кліматичних зон або континентів — наприклад, екваторіальних лісів, пустель, арктичних областей, пірогенних тропічних екосистем чи екосистем світового океану [3].

Екосистемні послуги — це сукупність матеріальних і нематеріальних благ, що надані природними екосистемами та забезпечують життєдіяльність людини. Вони відіграють важливу роль у задоволенні основних потреб, включаючи формування навколишнього середовища та забезпечення продовольчими ресурсами, які визначають рівень добробуту суспільства [3].

Існує багато типів екосистемних послуг, і їх важко систематизувати без відповідної класифікації. Схеми класифікації дозволяють упорядкувати екосистемні послуги, розділивши їх на логічні категорії відповідно до їхніх характеристик і функцій. У світовій практиці основним підходом до класифікації екосистемних послуг є поділ екосистемних послуг на групи в залежності від функцій, які виконує екосистема.

Ідентифікація та опис екосистемних послуг були вперше здійснені Робертом Констанцою у 1997 році. Тоді було визначено 17 видів екосистемних послуг для 16 біомів, однак їх ще не поділяли на категорії [4].

У 2005 році в межах ініціативи Millennium Ecosystem Assessment (Оцінка екосистем тисячоліття, МЕА) було запропоновано класифікацію екосистемних послуг на чотири основні категорії:

- Регулюючі послуги (regulating) — контроль клімату, повеней, поширення хвороб, очищення води тощо;
- Забезпечувальні послуги (provisioning) — продукти харчування, прісна вода, деревина, паливо, сировина;
- Культурні послуги (cultural) — рекреаційні, освітні, духовні, естетичні;
- Послуги підтримки (supporting) — ґрунтоутворення, кругообіг поживних речовин, первинна продукція. [5].

Згодом, у проєктах ТЕЕВ (2010 рік), підтримувальні послуги були об'єднані з регулюючими, а також виокремлено нову категорію послуг середовища існування [4].

У системі класифікації CICES (2018 рік) екосистемні послуги поділено на три основні групи: забезпечувальні (provisioning), регулювальні та підтримувальні (regulation and maintenance) і культурні (cultural). При цьому окрема категорія підтримувальних послуг не виділяється. У межах цієї класифікації всі послуги згруповані у 20 груп та 48 класів [6].

Таким чином, класифікація екосистемних послуг еволюціонувала, відображаючи зміни у підходах до розуміння ролі природи в забезпеченні добробуту людини. Сучасні системи класифікації дозволяють більш чітко структурувати та оцінювати різні типи послуг, які надають екосистеми.

Для характеристики екосистемних послуг виділяють сім показників [3]:

1. Назва екосистемної послуги, що відображає її зміст.
2. Джерело послуги, тобто ландшафти або їх частини, де формується зазначена послуга.

3. Забезпечення - відомості про функції екосистем, характерні для них властивості та процеси, функціонування яких забезпечує існування послуги.

4. Вигоди від послуги - інформація про те, що отримує людина при використанні послуги або при проживанні в середовищі, яке залежить від її підтримання.

5. Оцінка вартості - визначається для послуг, за які може бути матеріальна вигода. Якщо немає можливості оцінити вартість у грошовому еквіваленті, тоді можна оцінити саме важливість послуги – через можливі втрати й збитки від її недоотримання або й повного зникнення.

6. Ризики для екосистем від використання людьми екосистемної послуги.

7. Наявність додаткової інформації - опосередковані вигоди, ризики та інше.

Розглянемо детальніше основні категорії екосистемних послуг, починаючи з послуг постачання.

Екосистемні послуги постачання

До екосистемних послуг постачання належать матеріальні ресурси, які надають природні екосистеми: продовольчі (рослинна і тваринна сировина, природні корма, продукти бджільництва), лісові та мінеральні ресурси, лікарська сировина, джерела енергії й будівельні матеріали. Важливим компонентом є нагульні площі — природні території для випасу худоби, які забезпечують виробництво м'яса й дають прибуток. Однак надмірне навантаження на ці ділянки загрожує деградацією екосистем.

Лікарська сировина, біоматеріали, насінневий матеріал також надходять із природних екосистем. Прісна вода використовується в побуті, сільському господарстві та промисловості. Ґрунти — основа для вирощування культур та отримання добрив. Багато ресурсів мають пряму економічну вартість (деревина, риба, мед), інші оцінюються опосередковано (наприклад, вартість заміни кормів або рекультивації земель).

Деякі послуги постачання мають чітку економічну цінність, яка виражається через ринкову ціну товарів (деревина, риба, мінерали, продукти

бджільництва тощо). Однак інші, наприклад, природні кормові угіддя або нагульні площі для худоби, оцінюються опосередковано через витрати, які довелося б понести, якби ці землі були втрачені (наприклад, вартість заміни кормів або рекультивації земель).

Нераціональне використання ресурсів призводить до виснаження природи, зниження біорізноманіття та деградації середовища. Тому важливим завданням є впровадження стійких моделей споживання, що дозволяють зберегти природні багатства для майбутніх поколінь [1].

Екосистемні послуги регулювання

Екосистемні послуги регулювання охоплюють природні процеси, що забезпечують стабільність довкілля та підтримують життя, включаючи кліматичну рівновагу, якість повітря й води, контроль шкідників і популяцій. Ліси, болота, річки та інші екосистеми поглинають CO₂, фільтрують воду, утримують вологу, знижують ризики стихійних лих, підтоплень і ерозії, а також покращують умови для ведення сільського господарства.

Ці послуги мають значну екологічну й економічну цінність: вони зменшують витрати на боротьбу з наслідками змін клімату, забрудненням і стихіями. Їх вартість оцінюється через уникнуті збитки. Руйнування природних середовищ веде до втрати цих функцій і значних витрат для суспільства.

Наприклад, втрата лісів і водно-болотних угідь зменшує їх здатність регулювати клімат і очищати воду, що може мати довготерміновий негативний вплив на екосистеми та населення.

Оскільки більшість таких процесів непомітні, їхню важливість часто усвідомлюють лише після втрати. Тому збереження природних екосистем критично важливе для довкілля, економіки й здоров'я людей [1].

Культурні та соціальні екосистемні послуги

Культурні та соціальні послуги екосистем — це нематеріальні блага, які людина отримує від взаємодії з природою: рекреація, духовний розвиток, естетичне задоволення, освіта, наука та формування культурної ідентичності.

Вони сприяють психоемоційному здоров'ю, зменшують стрес, покращують фізичний стан і підтримують соціальну стабільність.

Природні території використовуються для туризму, відпочинку, полювання, рибальства, фотозйомки. Вони надихають митців, сприяють розвитку екологічної свідомості й пізнання природи. Хоча ці послуги важко оцінити економічно, їх значення виявляється через прибутки від туризму, витрати на збереження природних об'єктів тощо.

Екосистеми також формують культурну ідентичність спільнот через особливості ландшафту, клімату та традиційного природокористування. Хоча культурні послуги не виснажують ресурси, надмірний туризм може шкодити природі, тому збереження природних територій є важливим для забезпечення якості життя [1].

Послуги підтримання екосистем

Послуги підтримання екосистем охоплюють основні природні процеси, які забезпечують стабільність біосфери та умови для життя. Вони включають формування клімату, кругообіг речовин і підтримання біорізноманіття, що є основою сталого функціонування екосистем. Важливими є біогеохімічні цикли вуглецю, азоту, фосфору, а також первинна продуктивність, що впливає на накопичення органічної речовини й регулювання парникових газів.

Хоча ці послуги важко оцінити економічно, вони мають вирішальне значення для стабільного клімату, родючості ґрунтів, чистоти повітря й води. Їх втрата призводить до значних екологічних та економічних втрат, як-от деградація ґрунтів і зниження врожайності. Приклади негативних наслідків — осушення боліт, що сприяє пожежам і знижує стійкість лісів.

Екосистемні послуги поділяються на конкурентні (наприклад, вода для зрошення) та неконкурентні (як-от регулювання клімату), що визначає підхід до їхнього управління. Основними ризиками є надмірне природокористування, забруднення, урбанізація та кліматичні зміни.

Ці послуги взаємопов'язані: наприклад, під час риболовлі людина отримує не лише харчовий ресурс, а й психологічне полегшення, свіже повітря та естетичне задоволення [1,8].

Лише в гармонійному співіснуванні з усіма іншими видами людство може забезпечити стабільність і стійкість власного існування в майбутньому. Саме тому збереження біорізноманіття є критично важливим для підтримання екологічної рівноваги та функціонування природних екосистем.

1.2 . Ґрунтозахисні екосистемні послуги

Регулювання ґрунтів, як було зазначено у підрозділі 1.1, включає до себе ґрунтоутворення, захист ґрунтів від ерозії та дефляції, симбіотичні послуги ґрунтових організмів. Розглянемо детально кожен за основними з показників, перелік яких було наведено у підрозділі 1.1 для характеристики екосистемних послуг. Міські зелені зони забезпечують надання екосистемних послуг з контролю швидкості ерозії в урбанізованих просторах, з урахуванням впливання на якість життєвого простору (табл. 1.1, 1.2, 1.3) [3].

Таблиця 1.1

Значення зелених зон для ґрунтоутворення [3]

Показник	Характеристика показника
Джерело	Природна рослинність у різних наземних екосистемах, а також штучні насадження — лісосмуги, рекультивовані території, буферні зони та перелоги.
Забезпечення	Присутність ґрунтових організмів і природної трав'янистої рослинності, включаючи ризосферу. Рослинність зменшує інтенсивність поверхневого стоку й уповільнює вітрові потоки, сприяючи зміцненню структури ґрунту.
Вигоди	Родючість ґрунтів, можливість вирощування сільськогосподарських культур.
Оцінка вартості	Вартість продукції, вирощеної з використанням ґрунтів (ґрунтоутворення сприяє фіксації азоту, особливо за участю бобових рослин, а також структуризації ґрунту. Саме структура, яку формують кореневі системи, безхребетні організми, гриби та бактерії, забезпечує агрегацію частинок ґрунту, створює пористість, покращує аерацію та циркуляцію

	вологи, сприяючи ефективному засвоєнню поживних речовин рослинами).
Ризики	Сільськогосподарське використання ґрунтів може спричинити їхню швидку деградацію, темпи якої значно перевищують швидкість їх природного відновлення.

Таблиця 1.2

Екосистемна послуга захисту ґрунтів від ерозії [3]

Показник	Характеристика показника
Джерело	Природна рослинність у різних наземних екосистемах.
Забезпечення	Наявність рослинності запобігає пересиханню ґрунтів, знижує ймовірність водної та вітрової ерозії, а також захищає ґрунт від шкідливого впливу ультрафіолету. Крім того, рослинний покрив впливає на альbedo земної поверхні — здатність відбивати сонячне випромінювання.
Вигоди	Збереження родючості ґрунтів і сприятливі умови для вирощування культур. Додатковою вигодою є зниження потреби у добривах та покращення якості поверхневих вод.
Оцінка вартості	Економічна цінність оцінюється через вартість вирощеної сільськогосподарської продукції. Водночас збереження біорізноманіття, що забезпечує захист ґрунтів, є важливою умовою для сталого добробуту місцевих громад у довгостроковій перспективі.
Ризики	Активне сільськогосподарське використання землі може спричинити прискорення процесів ерозії, що веде до деградації ґрунтів і зниження їх продуктивності.

Таблиця 1.3

Симбіотичні послуги ґрунтових організмів [3]

Показник	Характеристика показника
Джерело	Природна рослинність у різних наземних екосистемах.
Забезпечення	Створення стабільних рослинних угруповань та формування мікоризних зв'язків між рослинами й

	грибами є ключовими для росту окремих видів (особливо лісових). Значну роль також відіграють бульбочкові бактерії, які вступають у симбіоз із бобовими культурами, сприяючи фіксації атмосферного азоту та підвищенню родючості ґрунту.
Вигоди	Формування здорових, збалансованих природних екосистем, які здатні повноцінно виконувати свої екосистемні функції.
Оцінка вартості	Економічна цінність включає вартість вирощеної продукції та екосистемних послуг, забезпечених діяльністю симбіотичних організмів, які підтримують стабільність екосистем.
Ризики	Порушення природних екосистем — зокрема зміна видового складу, забруднення чи втручання в ґрунтову структуру — може призвести до часткової або повної втрати цієї екосистемної послуги.

У ході своєї господарської діяльності людина свідомо впливає на ґрунт, змінюючи його властивості відповідно до власних потреб.

Екосистемна послуга контролю швидкості ерозії ґрунту - це регулююча послуга, що протидіє руйнуванню ґрунтів екзогенними чинниками. У роботі використовуємо саме цю назву, щоб чіткіше визначити, на що спрямована дія послуги, та уникнути термінологічної неоднозначності.

Згідно з [9], ця послуга не є об'єктом прямого споживання, а опосередковано сприяє якості життя, забезпечуючи інші екосистемні послуги.

Рослинний покрив є ключовим чинником, що впливає на деградацію ґрунтів, тому зелені зони міста ефективно надають послугу захисту ґрунтів. Екосистемна послуга контролю швидкості ерозії забезпечує їх збереження від розмивання, дефляції, пересихання, УФ-опромінення тощо. Хоча ці процеси мають різну природу, всі вони руйнують ґрунтовий покрив і негативно впливають на умови життя людини. Зокрема, на відкритих ділянках підвищується випаровування, ґрунт пересихає, втрачає зв'язність

і стає вразливим до ерозії та дефляції. За [9], густота й різноманітність рослинного покриву безпосередньо зменшують поверхневий стік і втрати ґрунту. Бідна рослинність сприяє вимиванню частинок, що посилює ерозійні процеси, забруднює водойми та формує ерозійні форми рельєфу. У разі дефляції відбувається видування частинок ґрунту, що погіршує якість повітря та умови проживання населення.

Наприклад, якщо міські зелені зони вкриті природною чи близькою до такої рослинністю, то відбувається природний процес захисту ґрунтів від таких чинників, як розмивання, висихання. Чим вище густота та різноманітність рослинного покриву, тим краще він затримує опади з атмосфери, й тим менша інтенсивність випарювання вологи. Це дозволяє уповільнити процес висушування ґрунту, отже він буде менше піддаватись ерозії.

За [11], чим більше агросистема подібна до лісу за структурою та покривом, тим нижча ймовірність ерозії. Це твердження стосується і міських зелених зон: ефективність ЕП контролю ерозії ґрунту напряму залежить від збереження їхнього біорізноманіття.

Усе розмаїття зелених зон міста — включно з парками, скверами, вуличними та прибережними насадженнями, бульварами, дендропарками, ботанічними садами, зоопарками, озелененням у дворах, на територіях освітніх, культурних і медичних закладів, меморіальних комплексів, кладовищ, а також міськими лісами — класифікується на три основні групи:

а) зелені зони загального користування — це території, відкриті для всіх мешканців, такі як парки культури і відпочинку, рекреаційні парки, сквери, бульвари тощо;

б) озеленені простори обмеженого користування — зелені насадження, розташовані у дворах житлових будинків, на територіях дитячих садків, шкіл, вищих навчальних закладів, наукових установ, медичних закладів, підприємств і організацій;

в) озеленення спеціального призначення — це насадження в санітарно-захисних зонах промислових об'єктів, водоохоронні, меліоративні та лісозахисні смуги, території тепличних господарств і розсадників, зелені зони вздовж інженерних комунікацій, а також озеленення вулиць, доріг і кладовищ [9].

За даними FAO [10], щороку через ерозію втрачається 300–600 млн т ґрунту, що еквівалентно приблизно 5 млрд доларів США втрачених поживних речовин. Як зазначено в [9], разом з еродованим ґрунтом щорічно виноситься до 10–15 млн т гумусу, 0,3–0,9 млн т азоту, 700–900 тис. т фосфору та 6–12 млн т калію. Вартість відновлення 1 га деградованої землі становить близько 175 тис. грн.

Економічні вигоди цієї екосистемної послуги у міських умовах полягають у зменшенні витрат на добрива для покращення ґрунтів зелених зон та у збереженні якості поверхневих вод.

Регулювання ерозійних процесів у міських зелених зонах дає змогу отримати й економічні вигоди, що можуть виражатись у зниженні або відсутності витрат на поліпшення якості ґрунту, на поліпшення якості поверхневих вод [12].

РОЗДІЛ 2. ЧИННИКИ РОЗВИТКУ ЕРОЗІЇ ТА ДЕФЛЯЦІЇ У МЕЖАХ МІСЬКИХ ЗЕЛЕНИХ ЗОН

Екосистемна послуга зі зниження швидкості ерозії ґрунтів належить до ключових регулюючих функцій. Зелені зони в межах міста виконують цю роль, запобігаючи вітровому (дефляційному) та водному руйнуванню ґрунту. Завдяки цьому зменшується запилення повітря, забруднення водою наносами та утворення ерозійних форм, які погіршують естетичний вигляд ландшафту.

Для того щоб оцінити значущість зелених територій у стримуванні руйнування ґрунтів і визначити показники ефективності надання цієї екосистемної послуги, необхідно проаналізувати чинники, що впливають на розвиток ерозійних і дефляційних процесів.

Ґрунтозахисна функція міських зелених зон полягає у наступному:

- 1) зниження рівня ерозії;
- 2) закріплення сипучих ґрунтів;
- 3) затримання снігового покриву й талих вод, що знижує рівень дегідратації;
- 4) поліпшення структури, підвищення проникності, і, як наслідок, можливість підвищення родючості ґрунтів.

Розвиток ерозії та дефляції зумовлений низкою природних чинників, зокрема кліматичних, геоморфологічних (топографічних), ґрунтових і біотичних [13]. У межах міських зелених зон ці чинники можуть зазнавати значного антропогенного впливу внаслідок господарської діяльності, що, у свою чергу, позначається на ефективності екосистемної послуги з регулювання швидкості ерозійних процесів.

2.1. Ґрунтозахисна функція рослинності міських зелених зон

Зелені зони, виступаючи джерелом рослинного покриву, є активним чинником у формуванні ерозійної стійкості території. Їхнє функціонування як природних ґрунтозахисних систем визначається тими самими чинниками, що й розвиток ерозійних і дефляційних процесів:

- Кліматичний чинник, який формує гідротермічні умови та впливає на ріст і життєздатність рослинності;

- Ґрунтовий чинник, що забезпечує рослини вологою, поживними речовинами та визначає умови їх укорінення;

- Геоморфологічний чинник, який контролює рельєф, дренажні властивості території, освітленість і температурний режим.

Таким чином, у контексті надання екосистемної послуги з контролю ерозії ґрунту міські зелені зони розглядаються як саморегульовані системи, вразливі до змін чинників ерозійного розвитку, але водночас здатні забезпечувати стійкий протиерозійний ефект. З огляду на це, доцільним є детальний аналіз ролі рослинності як одного з ключових компонентів таких систем.

Рослинність відіграє ключову роль у стримуванні ерозії та дефляції, істотно знижуючи їхню інтенсивність аж до повного припинення. Основними параметрами, що визначають ефективність захисту, є щільність проективного покриття, біомаса, висота рослин, видовий склад, наявність підстилки тощо. Рослинний покрив також модифікує вплив інших природних чинників. Наприклад, за умов добре розвиненого рослинного покриву та підстилки ерозійні втрати можуть зменшуватись до 95% навіть на крутих схилах, тоді як на ділянках із порушеною рослинністю цей показник становить лише близько 20% [9].

Дослідження Університету Меріленда [14] показали, що трав'яний покрив може знижувати ерозійні втрати до 98% порівняно з відкритим ґрунтом. Це обумовлено поєднанням таких ефектів, як підвищена шорсткість поверхні, покращена інфільтрація та перехоплення опадів. На вкритих рослинністю територіях поверхневий стік зазвичай не перевищує 10–20% опадів, тоді як на оголених – може досягати 60–70%.

Рослинність послаблює механічну дію дощу, знижуючи енергію бризок, і механічно закріплює ґрунт за рахунок кореневої системи [9]. Особливо ефективними в цьому контексті є лісові насадження, які поглинають до 95%

енергії дощових крапель і запобігають їх потраплянню на ґрунт у 80% випадків.

Однак захисна функція варіюється залежно від структури насаджень. Найефективнішими є багаторусні змішані лісові угруповання, кореневі системи яких проникають глибше та забезпечують кращу стабілізацію ґрунту. Особливу роль відіграє лісова підстилка, яка зберігає водопроникність ґрунту, перешкоджає утворенню кірки та фільтрує твердий стік. Її видалення може збільшити об'єм стоку в 5 разів і прискорити швидкість руху води до 5,5 разів.

Крім типу рослинності, важливим є її віковий склад. Молоді насадження лише частково виконують протиерозійну функцію, тоді як зрілі ліси ефективно регулюють водний режим. Водоутримувальна здатність насаджень істотно зростає протягом 10–20 років після посадки або природного відновлення.

Значення має також морфологічний тип рослин. Трав'яні угруповання з високим вмістом коротко- та довгокореневищних видів забезпечують до 90–100% покриття ґрунту, підвищуючи його стійкість до розмиву.

У межах міста, за винятком лісопаркових зон та прибережних територій, де збереглися природні трав'янисті угруповання, функцію трав'яного ярусу переважно виконують газони. Окрім естетичної та декоративної ролі, вони забезпечують низку регулювальних функцій: стримують ерозію, покращують стан ґрунту завдяки бар'єру з коренів і пагонів, зменшують забруднення повітря та шум, сприяють очищенню води та накопиченню вуглецю, що, у свою чергу, знижує температуру повітря [14].

Отже, висаджування чагарників і дерев уздовж схилів у межах зелених зон здатне суттєво знизити інтенсивність поверхневого стоку та підвищити стійкість ґрунту до ерозії. Коренева система таких рослин зміцнює ґрунтовий шар, сприяє покращенню його структури, зменшує схильність до змивання та дефляції. Крім того, крони дерев і чагарників знижують енергію дощових крапель, що також зменшує ризик механічного руйнування ґрунту. У той же час надмірне прорідження або видалення деревно-чагарникової рослинності, наприклад, у процесі санітарних вирубок або благоустрою, може призвести до

зниження протиерозійної ефективності таких ділянок і сприяти активізації ерозійних процесів.

Ґрунтозахисна функція рослинності, а отже й екосистемна послуга контролю ерозійних процесів, реалізується за такими напрямками:

- зменшення кінетичної енергії крапель дощу;
- уповільнення вітру в приземному шарі;
- підвищення гідравлічної шорсткості схилів, що знижує швидкість і руйнівну силу стоку;
- утримання води в підстилці з подальшим її проникненням у ґрунт;
- снігонанесення, що впливає на промерзання ґрунту та ерозію при сніготаненні;
- зміцнення кореневмісного шару, що підвищує ерозійну стійкість ґрунту.

2.2. Кліматичні чинники

Кліматичні чинники ерозійних процесів передусім визначаються характером, інтенсивністю та кількістю опадів, енергією поверхневого стоку, товщиною снігового покриву, вмістом у ньому води, швидкістю танення снігу, вітровим режимом, температурними умовами тощо [14].

Інтенсивність та характер дощів формують кінетичну енергію крапель, яка прямо впливає на розвиток ерозії. Зливові опади, навіть при однаковій кількості опадів, мають значно більший ерозійний потенціал. Потужність поверхневого стоку, своєю чергою, визначає його руйнівну та транспортну дію. Відповідно, зі зростанням енергії дощу та стоку зростає й інтенсивність ерозії.

Сніговий покрив і запаси води в ньому визначають масштаб весняного стоку, а інтенсивність танення — швидкість водотоку. За різкого сніготанення ґрунт часто не встигає розмерзнути, що суттєво збільшує ерозійні втрати [13].

Дефляція залежить від посушливості клімату, яку зумовлюють кількість опадів і температура. При зменшенні зволоженості інтенсивність дефляції

зростає. Ключовим фактором є швидкість вітру: вітер 4 м/с чинить дефляційну дію у 8 разів більшу, ніж вітер 2 м/с.

Клімат також має опосередкований вплив, визначаючи зволоженість і температурний режим, що регулюють розвиток рослинного покриву — основного природного захисника ґрунту. Крім того, він впливає на ґрунтотвірні процеси та фізико-хімічні властивості ґрунтів. Зокрема, режим зволоження сприяє накопиченню гумусових речовин, які підвищують ерозійну стійкість, а часті переходи температури через 0 °С взимку руйнують водотривкі агрегати, підвищуючи ризик дефляції.

2.3. Ґрунтові чинники

Ґрунтові чинники ерозії визначаються гранулометричним складом, щільністю будови, структурно-агрегатним складом, вмістом гумусу, водним і температурним режимами тощо [13].

Гранулометричний склад впливає на інтенсивність ерозії і дефляції. Зростання вмісту фізичної глини підвищує водостійкість ґрунту, тоді як легший склад збільшує водопроникність. Частки розміром понад 0,1-0,3 мм складніше транспортуються водою, тому ґрунти важкого складу більш уразливі до ерозії [18]. Для дефляції характерна залежність від механічного складу: супіщані ґрунти реагують на вітер зі швидкістю 3-4 м/с, глинисті — 7-8 м/с. Основна маса матеріалу переноситься на висоті до 10 см, а відстань осадження змінюється від 250 м (супіщані) до 2000 м (глинисті) [13].

Щільність будови ґрунту визначає об'єм водопроникних пор. Ущільнення, часто спричинене антропогенним впливом (витоптування), зменшує водопроникність, збільшуючи поверхневий стік, обмежує рух води і газів, погіршуючи умови росту рослин [13].

Структурно-агрегатний склад визначає розподіл ґрунтових агрегатів. Збільшення середнього діаметру структурних окремоностей знижує ерозійну небезпеку, створюючи шорсткість, яка гальмує потоки води і повітря. Проте надмірна турбулентність може підсилювати дефляцію, особливо якщо

шорсткість не формується рослинами. Антропогенний вплив призводить до втрати шорсткості та підвищення ерозійної уразливості [13].

Грудкуватість (вміст агрегатів >1 мм) зменшує дефляційну піддатливість; при 60-70% грудкуватості ґрунт надійно протистоїть вітровій ерозії.

Водний режим ґрунту, що включає водостійкість структури, водопроникність і вологість, також важливий. Водостійкість визначає здатність агрегатів протистояти руйнуванню водою. Збільшення вологості зменшує водопоглинання, підвищуючи поверхневий стік і інтенсивність ерозії, але знижує дефляційну піддатливість ґрунту [13].

Вміст гумусу підвищує протиерозійну стійкість ґрунту.

Температурний режим, зокрема глибина промерзання, впливає на водопроникність: глибоке промерзання знижує інфільтрацію, збільшуючи поверхневий стік і тривалість несприятливих умов навесні. Підвищення температури активізує руйнівну дію водного стоку.

Тільки комплексний аналіз усіх ґрунтових факторів дозволяє визначити протиерозійну стійкість конкретного ґрунту.

2.4. Геоморфологічні чинники

Геоморфологічні (топографічні) чинники впливають на швидкість ерозії ґрунту через ухил, довжину, форму, поперечну кривизну та експозицію схилу [10, 13].

Зі збільшенням ухилу зростає горизонтальна складова сили тяжіння, що підвищує швидкість потоків і руйнівну силу ерозії. Інтенсивність змиву залежить від типу рослинного покриву: найбільша вона на відкритих ділянках (пари), менша — на багаторічних травах і газонах [9, 13].

Довжина схилу взаємопов'язана з ухилом, але вплив її на ерозію неоднозначний. На більшості схилів України інтенсивність змиву не залежить від відстані до вододілу, проте у привододільних частинах (50–200 м) змив зростає з віддаленням від вододілу.

Повздовжня форма схилу також важлива: випуклі схили найбільш ерозійно небезпечні через збільшення ухилу вниз, тоді як увігнуті схили, де ухил зменшується, мають менший рівень ерозії [13].

Поперечна кривизна впливає на швидкість ерозії: схили, що збирають поверхневий стік, сприяють зростанню швидкості потоків і ерозійної небезпеки, а схили, що розсіюють стік, — зменшують її. Ерозійна небезпека на таких схилах відповідно зростає або знижується приблизно на 20% порівняно з прямими схилами [13, 15].

Експозиція схилів впливає на ерозію через сонячне освітлення і сніготанення. На освітлених схилах ерозія в 1,5–3 рази інтенсивніша, ніж на тінювих. Водночас ґрунти на «холодних» експозиціях (північна, західна) більш вологі, що підвищує ризик зливового змиву [13].

Отже, при оцінюванні екосистемних послуг зелених зон міст слід враховувати не лише рослинність, а й кліматичні, геоморфологічні та ґрунтові фактори, які впливають на розвиток ерозійних і дефляційних процесів.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМНОЇ ПОСЛУГИ КОНТРОЛЮ ЕРОЗІЇ ҐРУНТУ: СВІТОВИЙ ДОСВІД І ПІДХОДИ

Оцінка екосистемних послуг контролю швидкості ерозії ґрунту в межах міст є актуальною, що підтверджується дослідженням [10]: ця послуга займає восьме місце серед 19 аналізованих екосистемних послуг (15 публікацій із 157, четверте місце серед регулюючих). Водночас більшість досліджень стосується природних або сільськогосподарських систем, зокрема у працях як українських, так і зарубіжних авторів.

У статті [16], розглянуто підходи до оцінки впливу ерозії ґрунту на екосистемні послуги. Основний методологічний підхід базується на поєднанні моделювання, моніторингу, сценарного аналізу та просторової оцінки екосистемних послуг.

Для оцінки потенційної ерозії ґрунту використано німецьку версію універсального рівняння ерозії ґрунту USLE, де враховано ерозійність опадів (фактор R), еродованість ґрунту (K), крутість схилів (S) та тип землекористування. Дані для моделі отримано з цифрової моделі рельєфу (DEM) та ґрунтових карт. Фактичні втрати ґрунту (SL_{act}) визначено за даними польових вимірювань у межах програми моніторингу ерозії в Нижній Саксонії (Lower Saxonian Soil Erosion Monitoring Programme) за 2000–2016 роки.

У статті [17], досліджують вплив часової мінливості рослинного покриву на результати моделювання ерозії ґрунту за допомогою модифікованого універсального рівняння втрат ґрунту MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation). Основна увага приділяється тому, як зміни індексу рослинного покриву NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), отриманого з супутникових знімків Landsat 8, впливають на розрахунок фактору покриву (C -фактор), що є ключовим параметром у моделюванні ерозії.

Для оцінки екосистемних послуг часто використовуються моделі ерозії на основі даних дистанційного зондування та універсальних рівнянь (USLE, RWEQ).

Універсальне рівняння втрат ґрунту (USLE - Universal Soil Loss Equation) – це потужний інструмент, який широко використовується захисниками ґрунтів у Сполучених Штатах та багатьох інших країнах. USLE був розроблений В. Х. Вішмайером, Д. Д. Смітом та іншими спільно з Міністерством сільського господарства США (USDA), Службою сільськогосподарських досліджень (ARS) та Службою охорони ґрунтів (SCS). Його польове використання було унормовано у формі Сільськогосподарського довідника USDA 282 у 1965 році, а пізніше оновлено як Сільськогосподарський довідник USDA 537 у 1978 році. USLE оцінює середньорічні втрати ґрунту внаслідок поверхневої та струмкової ерозії на тих ділянках ландшафтних профілів, де відбувається ерозія, але не відкладення [18].

Переглянуте рівняння вітрової ерозії (RWEQ - Revised Wind Erosion Equation) було розроблено на основі даних про ерозію полів за 45 років на ділянці, а також на запит Служби охорони природних ресурсів для заміни рівняння вітрової ерозії (WEQ). Вона була розроблена в 1998 році командою вчених з Агентства сільськогосподарських досліджень Міністерства сільського господарства США (USDA-ARS). RWEQ включає нові технології, розроблені з моменту публікації WEQ у 1965 році. Хоча основні вхідні дані однакові для обох рівнянь, форма вхідних даних значно відрізняється. RWEQ може оцінювати ерозію щодня або протягом 365 днів. Багаторічні системи сівозміни можуть бути введені в RWEQ, а також можуть бути внесені зміни до системи управління для оцінки найбажанішої системи землеробства для кожного землевласника. RWEQ базується на припущенні, що вітер має обмежену здатність переносити еродований матеріал. Технологія RWEQ підкреслює, що для ефективного контролю вітрової ерозії та мінімізації пошкодження землі необхідно запровадити ефективні методи боротьби з

вітровою ерозією на всьому полі. Коли ерозія все ж таки відбувається, втрати ґрунту є найбільшими в межах кількох десятків метрів від навітряної межі [19].

Наприклад, дослідження на Лесовому плато в Китаї [20-22] показали, що заходи з відновлення рослинності на схилах зменшили втрати ґрунту з 5000–8500 до 3600–5500 т/км²/рік.

У [23] розглянуто сценарний підхід до оцінки екосистемної послуги ерозійного контролю та її вплив на інші послуги (фільтрація води, забезпечення культурами тощо). Моделювання для Північної Німеччини показало: чим більша деградація ґрунтів, тим нижчий потенціал забезпечення цими ЕП, за винятком забезпечення прісною водою, яке отримує певну вигоду від зменшення ґрунтового профілю.

У польському дослідженні [24] встановлено зв'язок між ерозією та типами землекористування. Найбільший негативний вплив мають орні землі й забудови, тоді як ліси, глина та органічна речовина пом'якшують ерозію.

Рослинний покрив є ключовим фактором, що регулює ерозію. У роботі [16] досліджено вплив сезонних змін рослинності на ерозію у Південній Африці. Використання NDVI як C-фактора для MUSLE показало, що врахування тимчасових коливань покриву значно зменшує обсяг наносів (до 85% у міжрічному масштабі).

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) це нормалізований відносний індекс рослинності, за яким можна робити висновки про розвиток біомаси рослин під час вегетації. Алгоритм для розрахунку був розроблений у 1973 році дослідницькою групою під керівництвом доктора Джона Роуса (John W. Rouse) в Техаському університеті A&M (Texas A&M University) [25].

MUSLE (Modification Universal Soil Loss Equation), або модифіковане універсальне рівняння втрат ґрунту (Williams, 1975), – це математична модель, що використовується в ґрунтознавстві та гідрології для оцінки ерозії ґрунту. Вона була розроблена як розширення та модифікація оригінального універсального рівняння втрат ґрунту (USLE). MUSLE враховує такі фактори, як землекористування, топографія, еродованість ґрунту та кліматичні умови,

для прогнозування потенційної швидкості ерозії в певній місцевості. Модифікації оригінального рівняння USLE змінили формулювання для розрахунку ерозії від поверхневого стоку, а не від опадів. Інші компоненти оригінального формулювання залишилися незмінними. Метод найкраще працює в сільськогосподарських умовах, де він був розроблений [26].

Модель ESTIMAP (на основі RUSLE) дозволяє кількісно оцінювати ЕП контролю ерозії шляхом порівняння ерозії з рослинністю та без неї. Різниця вважається обсягом утриманого ґрунту (т/га/рік).

ESTIMAP (Ecosystem Services Mapping Tool) — це набір геоінформаційних моделей, розроблених для просторового оцінювання екосистемних послуг на європейському рівні. Метою ESTIMAP є підтримка політик Європейського Союзу шляхом надання інформації про екосистемні послуги, що сприяє інтеграції цих даних у процеси прийняття рішень. Оцінка дефляційних процесів також важлива. Модель ESTIMAP була створена у 2013 році Об'єднаним дослідницьким центром (Joint Research Centre, JRC) Європейської Комісії [27].

У [28] для північного Китаю застосовано кілька моделей (NWESMC - National Wind Erosion Survey Model of China, RWEQ - Revised Wind Erosion Equation, WEPS - Wind erosion prediction system, IWEMS - Integrated wind erosion modeling system). Основними чинниками дефляції виявилися швидкість вітру, вологість ґрунту та рослинний покрив. Хоча моделі дали різні кількісні результати, просторові й часові тренди були подібними, що підкреслює потребу в їх ретельній перевірці та калібруванні.

ABAG (Allgemeine Bodenabtragsgleichung (загальне рівняння втрат ґрунту), — це модель ерозії ґрунту, яка використовується для прогнозування обсягу втрат ґрунту внаслідок водної ерозії. Вона широко використовується в Німеччині та інших регіонах і пов'язана з Універсальним рівнянням втрат ґрунту (USLE) та Переглянутим універсальним рівнянням втрат ґрунту (RUSLE). Ці моделі мають схожі алгоритми та можуть давати порівнянні результати. ABAG допомагає оцінити ризик ерозії ґрунту, особливо в

сільськогосподарських районах, враховуючи такі фактори, як кількість опадів, властивості ґрунту (тип, текстура тощо), довжина та крутизна схилу, землекоривні культури та методи управління (тип культури, обробіток ґрунту тощо). ABAG розраховує оціночну кількість втрат ґрунту в тоннах на гектар на рік [30].

Отже, для оцінювання ґрунтозахисної послуги міських зелених зон найбільш ефективним є використання моделей для оцінки ерозії розроблених на основі USLE (RUSLE/MUSLE, ABAG) та оцінки дефляції (RWEQ) як таких, що враховують найбільшу групу факторів, що відіграють домінуючу роль у процесах ерозії ґрунту.

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ З КОНТРОЛЮ ШВИДКОСТІ ЕРОЗІЇ ҐРУНТУ МІСЬКИМИ ЗЕЛЕНИМИ ЗОНАМИ

4.1 Показники ефективності екосистемних послуг зелених зон у контролі швидкості ерозії ґрунту

При виборі показників для оцінки екосистемної послуги контролю швидкості ерозії ґрунту необхідно враховувати як природні умови, що сприяють ерозії та дефляції, так і антропогенний вплив. Відсутність трав'яного покриву в зеленій зоні свідчить про ризик ерозійних процесів, а перепади висот - про наявність схилів, що сприяють розвитку ерозії. Тому пропонується у якості індикаторів враховувати структурно-агрегатний, гранулометричний та речовинний склад ґрунту, крутизну і довжину схилу, кількість опадів, середньорічну швидкість вітру, наявність і висоту вітрових перешкод тощо (табл. 4.1).

Ефективність надання послуги контролю ерозії можна оцінити через розрахунок втрат ґрунту внаслідок змиву поверхневим стоком, використовуючи емпіричні моделі (USLE, RUSLE, MUSLE, ABAG). Ці моделі поділяють територію на сектори і призначають їм параметри, що впливають на ерозію, зокрема крутизну та довжину схилу, інтенсивність опадів, еродованість ґрунту.

Таким чином, природні умови та антропогенний вплив є ключовими показниками для оцінки якості послуги контролю ерозії. Ці показники можна використати як атрибутивну інформацію у базі даних для розрахунку обсягів надання і втрат послуги з урахуванням її поточного стану. Такий підхід допоможе планувати ефективні рішення для забезпечення комфортного міського середовища.

Набір розрахункових параметрів для оцінки екосистемних послуг з контролю швидкості ерозії ґрунту в міських зелених зонах [10]

актори	Атрибут БД	Зміст	Спосіб розрахунку	Джерело отримання
Для визначення ерозії				
Геоморфологічні (Топографічні)	L	параметр, що характеризує вплив рельєфу, а саме довжини та крутизни схилу на втрати ґрунту з ерозією	на основі співвідношення довжини та ухилу поверхні	DEM ALOS World 3D-30m
	S	параметр, що характеризує вплив ухилу поверхні на втрати ґрунту з ерозією	на основі алгоритму Zevenbergen-Thorne (у %) (<i>Zevenbergen & Thorne, 1987</i>)	
Ґрунтові	K_b	коефіцієнт потенційної ерозії ґрунту, обумовлений сумарним вмістом дрібного піску та пилу	на основі номограми Уїшмейера-Джонса-Кроса, або за гранулометричним складом ґрунту	Карта ґрунтів території та таблиці відповідності
	K_s	коефіцієнт потенційної ерозії ґрунту (скелетності), обумовлений структурно-агрегатним складом ґрунту	на основі визначення сумарного вмісту частинок розміром більше 2 мм у верхньому горизонті відносно маси горизонту (у %)	
	K_h	коефіцієнт потенційної ерозії ґрунту, обумовлений гумусованістю верхнього горизонту	на основі визначення вмісту гумусу у верхньому горизонті (у %)	
Рослинні	C	параметр, що характеризує вплив рослинного покриву на швидкість протікання ерозійних процесів	відношення значень виносу ґрунту до значень на ділянці, що не має рослинності	Карти рослинних покривів, таблиці відповідності
Кліматичні	R	показник еродуючої здатності дощів або ерозійний індекс опадів	на основі середньої річної кількості опадів або середньої кількості опадів у тепле півріччя	Карти ерозійного індексу опадів

Методика оцінки обсягів екосистемної послуги контролю швидкості ерозії ґрунту базується на визначенні ефективності виконання ґрунтозахисної функції конкретною зеленою зоною [29]. Оцінка відбувається на основі набору характеристик (атрибутів) зеленої зони, що відображають її поточний стан і рівень розвитку ерозійних та дефляційних процесів.

Алгоритм оцінки включає:

1. Моделювання передумов розвитку ерозійних і дефляційних процесів.
2. Визначення ефективності ґрунтозахисної функції зеленої зони.
3. Переведення ефективності у обсяги ЕП контролю швидкості ерозії.
4. Обчислення обсягів послуги.
5. Оцінка ризиків втрати послуги сьогодні і в майбутньому.

Ефективність визначається через втрати ґрунту, розраховані за емпіричною моделлю AVAG, де середньорічна втрата ґрунту MBA (mittleren jährlichen Bodenabtrag) визначається як добуток факторів:

$$MBA = K_b K_s \cdot K_n LS \cdot R \cdot C \cdot P$$

де MBA - кількість ґрунту (т), що виноситься, за рахунок ерозійних процесів, з одиниці площі (га) за певний проміжок часу (рік), K_b - коефіцієнт потенційної ерозії ґрунтів, K_s - коефіцієнт скелетності ґрунтів, K_n - коефіцієнт гумусності ґрунтів, L - рельєфозалежний фактор ерозійних процесів, що відображає вплив довжини схилу на втрати ґрунту, S - фактор градієнту ухилу, що відображає втрати ґрунту в залежності від кута ухилу ділянки, R - ерозійний індекс дощових опадів, C - коефіцієнт впливу рослинного покриву, P - фактор протиерозійних заходів.

Коефіцієнт потенційної ерозії (K_b) характеризує потенційну здатність ґрунтів до ерозії, що обумовлено: 1 – сумарним вмістом дрібного піску і пилу (0,1...0,001 мм); 2 – вмістом піщаної фракції (1...0,1 мм); 3 – вмістом гумусу; 4 – ступенем структурованості (структурно-агрегатним станом - вмістом агрегатів розміром більше ніж 0,25 мм); 5 – водопроникністю ґрунту. Цей коефіцієнт можна визначати за допомогою номограми Уїшмейєра-Джонса-

Кроса. Але в роботі [30] запропоновано обраховані показники коефіцієнта K_v у відповідності із гранулометричним складом ґрунту (табл. А1, додаток А).

Коефіцієнт скелетності ґрунтів (K_s) відображає загальний вміст твердих частинок розміром понад 2 мм у верхньому горизонті ґрунту, виражений у відсотках від його загальної маси. Його значення визначається за таблицею А2 (додаток А).

LS-фактор — топографічний показник, який не має розмірності та характеризує вплив рельєфу місцевості (зокрема довжини та крутизни схилів) на швидкість поверхневого стоку та інтенсивність ґрунтових втрат внаслідок ерозії. Визначення LS-фактора передбачає виконання чотирьох етапів:

1. За цифровою моделлю рельєфу встановлюються довжина кожного схилу (l , м) та його крутизна (s , %).

2. Для ділянок з однорідним ухилом за таблицею А3 (додаток А [30]) визначається фактор L — показник, що враховує вплив довжини схилу на ґрунтові втрати.

3. За тими ж ділянками, відповідно до таблиці А4 (додаток А [30]), розраховується фактор S , який характеризує ерозійні втрати залежно від нахилу поверхні.

4. Показник LS обчислюється як добуток значень L та S для кожної досліджуваної ділянки.

Значення коефіцієнта C для міських зелених зон було адаптовано таким чином: для лісопаркових територій, об'єктів природоохоронного призначення та водоохоронних зон воно визначалося як типове для природних ландшафтів. У випадку штучних зелених насаджень (скверів, газонів, алей), значення обиралися з урахуванням специфіки наявного рослинного складу. Газони трактувалися як лучна рослинність, а ділянки з низьким трав'яним покривом — як сільськогосподарські угіддя, що використовуються як пасовища [30] (за табл. А5, додаток А).

Залежно від розташування території дослідження та наявності регіональних кліматичних даних, R можна розрахувати на основі середньої

річної кількості опадів або середньої кількості опадів у тепле півріччя [10]. Також цей показник можна визначити за картами ерозійного індексу опадів [31].

P-фактор – фактор протиерозійних заходів, що відображає зміни у кількості винесеного ґрунту при їх проведенні. Розраховується як відношення кількості ґрунту, що виноситься з ділянки, де проводяться протиерозійні заходи, до втрат на адекватній ділянці, на якій такі дії не відбуваються.

Остаточна оцінка обсягів екосистемних послуг контролю ерозії базується на співвідношенні швидкості ерозії та відтворення ґрунту, що визначає стабільність послуги та розподіляє значення ефективності на 5 категорій (табл. А6, додаток А).

4.2. Кількісна оцінка ризиків втрати екосистемної послуги контролю швидкості ерозії ґрунту

Кількісна оцінка ризиків втрати екосистемної послуги контролю швидкості ерозії ґрунту базувалась на припущенні, що зелена зона нині або в майбутньому може надавати послугу у зменшеному обсязі. Оцінка включала визначення втрати екосистемної послуги сьогодні та ймовірності її подальшого зниження.

Втрату послуг кількісно визначали через загальну втрату ґрунту внаслідок ерозії, порівнюючи темпи ерозійних процесів і відтворення ґрунту (див. табл. 3.2) за європейськими методиками [9].

Оцінка ймовірності настання ризиків у майбутньому проводилась за допомогою функції бажаності Харрінгтона [32], адаптованої для оцінки екосистемних послуг. Це перше застосування даної функції для подібного завдання. Вибір функції Харрінгтона зумовлений її ефективністю у комплексній оцінці якості об'єкта за кількома параметрами, що робить її придатною для оцінки різних екосистемних послуг.

Принцип побудови функції полягає у нормуванні всіх розмірних параметрів (ерозійних і дефляційних процесів) у безрозмірні величини за

шкалою бажаності Харрінгтона (q), де значення варіюються від 0 до 1 ($0 \leq q \leq 1$). Діапазон шкали поділений на п'ять якісних категорій за п'ятибальною системою.

Під час оцінювання ризиків було враховано, що всі параметри (грунтові, рельєфозалежні тощо) мають однаковий вплив на швидкість ерозії. Значення кожного параметра [9] було нормоване за шкалою бажаності, а загальний ризик обчислено як середнє арифметичне значень за всіма факторами (табл. А7, додаток А).

Отже, розглянута методика оцінки ґрунтозахисної екосистемної послуги передбачає послідовне виконання низки аналітичних і просторових процедур, спрямованих на кількісне та якісне визначення здатності екосистем запобігати деградації ґрунтів. На першому етапі здійснюється моделювання природних і антропогенних чинників, що обумовлюють виникнення та розвиток ерозійних і дефляційних процесів у межах міської зеленої зони. Далі проводиться оцінка ефективності виконання ґрунтозахисної функції досліджуваною зеленою зоною шляхом аналізу обсягів втрати ґрунту через ерозію та дефляцію, що дозволяє виявити ділянки з найбільш уразливими процесами деградації. На третьому етапі визначається обсяг екосистемної послуги з контролю швидкості ерозійних процесів. Це досягається шляхом категорювання отриманих значень ефективності, що дозволяє переводити кількісні показники у якісні оціночні рівні. Завершальним етапом є прогнозування ризиків втрати або недоотримання цієї послуги як у поточних умовах, так і в майбутньому, із урахуванням можливих змін у природних та соціально-економічних параметрах середовища.

З технічного боку реалізація методики базується на створенні комплексної бази геоданих, яка включає просторову, тематичну та часову інформацію про досліджувану територію. Основна увага приділяється використанню відкритих та доступних джерел, зокрема супутникових даних дистанційного зондування Землі, цифрових моделей рельєфу, кліматичних баз даних і картографічних матеріалів. Інтеграція цих джерел у єдину ГІС-систему

дозволяє здійснювати автоматизований аналіз, просторове моделювання та візуалізацію результатів оцінки ЕП, що значно підвищує точність і прикладну цінність методики. У багатьох методиках оцінка ґрунтозахисної ЕП зосереджується саме на ерозії, бо це: найбільш вимірювана й наочна форма деградації ґрунту та має прямі економічні наслідки (втрата гумусу, зниження врожайності).

РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ГРУНТОЗАХИСНОЇ ФУНКЦІЇ ЗЕЛЕНИХ ЗОН

М. КИЄВА

У статті [12] представлено методику кількісного оцінювання екосистемних послуг, що надаються міськими зеленими зонами шляхом зменшення ерозії ґрунту. Основна мета це розробка технологічно простої та доступної методики, що дозволить міським планувальникам приймати ефективні рішення щодо просторової організації та збереження зелених зон.

В основі оцінювання лежить геоінформаційний аналіз за допомогою програмного середовища QGIS. Як базові моделі для розрахунків було обрано емпіричну модель ABAG (Allgemeine Bodenabtragungsgleichung) для визначення втрат ґрунту внаслідок водної ерозії та модель оцінки ризику дефляції згідно з документом Methodendokumentation «Bodenkunde», яка враховує показники вітрової ерозії. Також частково застосовувалася модель RWEQ (Revised Wind Erosion Equation).

Отримані результати дозволяють кількісно оцінити ефективність кожної зеленої зони Києва щодо протидії ерозії ґрунтів, а також виявити зони з підвищеним ризиком втрати цієї послуги, що критично важливо для сталого розвитку міських територій.

У статті [33] було проведено оцінку ґрунтозахисної функції 50 зелених зон Києва, які включають парки, сквери, ботанічні сади, міські ліси та інші озеленені території.

Дослідження базувалося на геоінформаційному моделюванні, що враховувало природні, такі як рельєф, тип ґрунту, рослинний покрив та антропогенні фактори - витоптування трав'яного покриву, ущільнення ґрунту, зміна кута схилу — всі вони значно впливають на темпи ерозійних процесів.

Як вхідні дані використовувалися цифрова модель рельєфу Києва, ґрунтові карти (масштаб 1:100 000), результати польових та лабораторних досліджень ґрунтів, а також дані про рослинність із супутникових знімків Sentinel-1 та Sentinel-2, глобальні бази Copernicus та OpenStreetMap.

Оцінка ефективності ґрунтозахисної функції здійснювалася шляхом розрахунку швидкості ерозійних процесів МВА що пояснена у попередньому розділі.

У процесі геоінформаційного моделювання було визначено швидкість протікання ерозійних процесів. Ефективність оцінювалася на основі порівняння темпів ерозії, обумовлених природними та антропогенними факторами, з процесом ґрунтоутворення.

Алгоритм дій, включав ідентифікацію природних і антропогенних факторів, накладання тематичних шарів (ґрунти, рельєф, рослинність), розрахунок коефіцієнтів ерозії та визначення середньозважених показників швидкості втрати ґрунту. Кожну зелену зону було класифіковано за ефективністю ґрунтозахисної функції.

Результати показали, що у 14% зон ерозія перевищує 1 т/га/рік — тут ефективність ґрунтозахисної функції оцінена як стерпна, а обсяг наданих екосистемних послуг — середній. У 4% зон втрати ґрунту складають від 0,5 до 1 т/га/рік, що відповідає майже оптимальній ефективності та вище середнього рівня надання екосистемної послуги.. У решті зон швидкість ерозії є мінімальною, що пов'язано з плоский рельєфом, ґрунтами з легким гранулометричним складом та використання газонної трави в озелененні парків і скверів. Одним з головних чинників підвищеної ерозії виявилось витоштування, що порушує структуру ґрунту, зменшує щільність рослинного покриву, руйнує дернину. Протиерозійні властивості газонних рослин, навпаки, значно знижують темпи ерозії — аж до 98% порівняно з відкритим ґрунтом.

Розрахунки дозволили поділити зелені зони на п'ять категорій ефективності ґрунтозахисту залежно від темпів ерозії: від «неприйнятною» (понад 10 т/га/рік) до «максимальної» (≈ 0 т/га/рік). Більшість зон мають оптимальну або максимальну функціональну ефективність, забезпечуючи високий рівень екологічної безпеки.

Загалом, дослідження доводить ефективність застосування ГІС-моделювання для просторової оцінки екосистемних послуг міських зелених зон. Воно може бути застосоване як практичний інструмент для прийняття управлінських рішень щодо збереження, відновлення та планування міських екосистем. Крім того, така оцінка дозволяє більш об'єктивно враховувати навіть незначні за площею, але важливі з екологічної точки зору зелені ділянки. Більшість зелених зон Києва функціонують ефективно в контексті протиерозійного захисту, хоча на деяких ділянках спостерігається потреба у підвищенні захисної здатності через вплив як природних, так і антропогенних чинників.

Обидві розглянуті статті демонструють важливість і ефективність використання геоінформаційних технологій для кількісної оцінки протиерозійної функції міських зелених зон. Запропоновані методики дозволяють детально аналізувати природні та антропогенні фактори, що впливають на розвиток ерозійних процесів, та визначати рівень надання відповідних екосистемних послуг.

Загалом, дослідження підтверджують доцільність інтеграції екосистемного підходу в управління міськими зеленими територіями. Кількісна оцінка протиерозійних послуг є не лише інструментом для збереження довкілля, а й основою для прийняття обґрунтованих рішень у сфері сталого міського розвитку.

У Розділі 5 було здійснено комплексну оцінку ґрунтозахисної функції зелених зон м. Києва з використанням геоінформаційного моделювання. Розроблена методика, заснована на доступних інструментах і відкритих даних, дозволила визначити просторові особливості ефективності екосистемної послуги зі зменшення ерозії ґрунту для різних типів зелених насаджень у місті.

Результати дослідження показали, що більшість зелених зон Києва ефективно виконують протиерозійну функцію, однак окремі ділянки потребують підвищеної уваги через негативний вплив антропогенних чинників, таких як витопування та ущільнення ґрунту. Встановлено, що на

ерозійні процеси значною мірою впливають тип ґрунту, рельєф місцевості та стан рослинного покриву.

Запропонований підхід дозволяє системно класифікувати зелені території за рівнем надання протиерозійної екосистемної послуги, що є важливим кроком до інтеграції екосистемного підходу в міське планування. Геоінформаційне моделювання підтвердило свою ефективність як інструмент для виявлення зон ризику та прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері збереження міського довкілля.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що зелені зони урбанізованих територій виконують важливу екологічну функцію — зменшення ерозійних процесів, що належить до категорії регулюючих екосистемних послуг. В умовах інтенсивної антропогенної трансформації міського середовища дана функція набуває особливої актуальності, оскільки забезпечує збереження ґрунтового покриву, стабілізацію ландшафтної структури та зниження негативних наслідків водної і вітрової ерозії.

Проаналізовано основні фактори, що впливають на реалізацію ґрунтозахисної функції зелених зон, серед яких ключову роль відіграють тип ґрунту, морфометричні характеристики рельєфу, структура та щільність рослинного покриву, кліматичні умови, а також ступінь урбанізаційного навантаження. Особливу увагу приділено біопродуктивному потенціалу рослинності, здатності корневих систем фіксувати ґрунт, зменшувати інтенсивність поверхневого стоку та підвищувати водопроникність ґрунтів.

Методологічною основою дослідження стала адаптація та застосування кількісних моделей оцінювання ризику ерозії (зокрема моделі AVAG), а також використання супутникових даних та геоінформаційних технологій для просторового аналізу екосистемних показників. Показано ефективність використання індексу NDVI та шкали бажаності Харрінгтона для комплексної оцінки стану зелених насаджень та рівня реалізації ґрунтозахисної функції.

Емпірична частина дослідження, проведена на прикладі міста Києва, засвідчила наявність як стабільно функціонуючих зелених зон із високим ґрунтозахисним потенціалом, так і ділянок, що перебувають під загрозою деградації внаслідок ущільнення ґрунтів, недостатньої рослинності, витоπτування та гідротехнічних змін. Визначено, що зниження рівня реалізації ґрунтозахисної функції безпосередньо корелює з інтенсивністю антропогенного навантаження.

На основі отриманих результатів запропоновано узагальнену методику оцінювання ґрунтозахисної функції міських зелених зон, що включає аналіз природно-географічних умов, характеристик рослинного покриву, просторових моделей ерозії та ризиків порушення екосистемних функцій. Дана методика є ефективним інструментом для інтеграції екосистемного підходу в міське планування, а також для формування рекомендацій щодо охорони та раціонального використання зелених насаджень.

Таким чином, результати дослідження підтверджують необхідність цілеспрямованої політики щодо збереження й відновлення ґрунтозахисної функції зелених зон у межах урбанізованих територій як важливої складової екологічної безпеки, стабільності міських ландшафтів та адаптації до змін клімату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Варуха, А. (2022). Огляд підходів з оцінки екосистемних послуг через призму їхнього застосування для визначення збитків, завданих військовими діями рф на території України. У О. Кравченко (Ред.), Збірник наукових праць (с. 1–56). Львів: Компанія “Манускрипт”.
2. Архипова, Л. М., Приходько, М. М. (2019). Екосистемні послуги – аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду концепції. Науково-технічний журнал, №2 (20), (с. 24–32).
3. Василюк, О., Ільмінська, Л. (2020). Екосистемні послуги. Огляд. У рамках програми інвентаризації біорізноманіття Ржищівської міської об’єднаної територіальної громади. БО «БФ «Фонд захисту біорізноманіття України». (с. 84)
4. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) Interim report, - 2013, - [електронний ресурс]. – URL: <https://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/pdf/EU%20Valuation.pdf>
5. MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005) Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington DC. - [електронний ресурс]. – URL: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1371482>
6. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1, - [електронний ресурс]. – URL: <https://cices.eu/>
7. Чайка В.М., Рубежнюк І.Г., Мінняйло А.А. (2017) Екологія міських екосистем (урбоекологія). (с. 483), Київ
8. Costanza R. The value of the world's ecosystem services and natural capital. //Nature, - 1997, - Vol. 387, P. 253-260, - [електронний ресурс]. – URL: www.esd.ornl.gov/benefits_conference/nature_paper.pdf
9. Купач Т. Г., Ковтонюк О. В., Галаган О. О., Почаєвець О. О., Яценко Ю. В. (2023-2024) «Технологія геоінформаційного оцінювання надання

екосистемних послуг (ЕП) міськими зеленими зонами». Науково-технічна робота. URL: <https://geo.knu.ua/projects/projects-2023/project-2023-1/>

10. Ecosystem Services & Biodiversity (ESB) - [електронний ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/en/>

11. Висоцька Н. Ю., Калашніков А. О., Сидоренко С. В., Сидоренко С. Г., Юрченко В. А. (2021). Екосистемні послуги полезахисних лісових смуг як основа компенсаційних механізмів їхнього створення та утримання. Наукові праці Лісівничої академії наук України № 22, с. 199-208. URL: <https://doi.org/10.15421/412118>

12. Корогода, Н. П., Ковтонюк, О. В., Галаган, О. О., Купач, Т. Г. Геоінформаційне оцінювання екосистемних послуг з контролю швидкості ерозії ґрунту у ландшафтах міських зелених зон . Landscape Science, (4(2), 54–67. URL: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-54-67>

13. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні: монографія / НААН України [та ін.]; за ред. акад. НААНУ С. А. Балюка та проф. Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. - Х. : НТУ "ХПІ", 2010. - 460 с.

14. Sithin, M., (2021). Role of Turfgrass in Urban Landscapes. Journal of Plant Development Sciences, 13(5): 247-255. - [електронний ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/352211459_Role_of_Turfgrass_in_Urban_Landscapes

15. Бортник С.Ю. Погорільчук Н.М., Ковтонюк О.В. (2014) Методи польових географічних досліджень. Вивчення рельєфу та рельєфоуворюючих відкладів: навчальний посібник. Київ: “Прінт-сервіс”, – 165 с.

16. The impact of soil erosion on soil-related ecosystem services: development and testing a scenario-based assessment approach- [електронний ресурс]. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-020-08814-0>

17. Modeling the Soil Erosion Regulation Ecosystem Services of the Landscape in Polish Catchments [электронный ресурс]. – URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/22/3274>
18. Universal Soil Loss Equation (USLE) - [электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/ru/c/1236441/>
19. Wind erosion in European agricultural soils – RWEQ - [электронный ресурс]. – URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/wind-erosion-european-agricultural-soils-rweq>
20. Fu B., Liu Y., Lu Y., He C., Zeng Y., Wu B. (2011) Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China Ecological Complexity, 8 (4) , pp. 284-293. - [электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2011.07.003> .
21. Chong Jiang, Fei Wang, Haiyan Zhang, Xinling Dong, Quantifying changes in multiple ecosystem services during 2000–2012 on the Loess Plateau, China, as a result of climate variability and ecological restoration, Ecological Engineering, Volume 97, 2016, Pages 258-271, - [электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.030> .
22. Peng Tian, Xiaojing Tian, Ren Geng, Guangju Zhao, Lin Yang, Xingmin Mu, Peng Gao, Wenyi Sun, Yulin Liu, Response of soil erosion to vegetation restoration and terracing on the Loess Plateau, CATENA, Volume 227, 2023, 107103, ISSN 0341-8162, - [электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107103>.
23. Steinhoff-Knopp, B., Kuhn, T.K. & Burkhard, B. The impact of soil erosion on soil-related ecosystem services: development and testing a scenario-based assessment approach. Environ Monit Assess 193 (Suppl 1), 274 (2021). - [электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08814-0>
24. Modeling the Soil Erosion Regulation Ecosystem Services of the Landscape in Polish Catchments (2021) 13(22):3274. - [электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.3390/w13223274>

25. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) - [електронний ресурс]. – URL: <https://surl.li/ivqqqj>
26. The MUSLE, or Modified Universal Soil Loss Equation - [електронний ресурс]. – URL: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/erosion-and-sediment-transport-under-construction/erosion-methods/modified-usle>
27. European Commission, Joint Research Centre, Maes, J., Teller, A., Erhard, M. (2020). Mapping and assessment of ecosystems and their services: an EU wide ecosystem assessment in support of the EU biodiversity strategy, Publications Office. - [електронний ресурс]. – URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/757183>
28. Liu J, Wang X, Zhang L, Guo Z, Chang C, Du H, Wang H, Wang R, Li J, Li Q. Regional Potential Wind Erosion Simulation Using Different Models in the Agro-Pastoral Ecotone of Northern China. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Aug 3;19(15):9538. doi: 10.3390/ijerph19159538. PMID: 35954892; PMCID: PMC9368373.
29. Williams, J.R. Sediment Routing for Agricultural Watersheds. *Water Resour. Bull.* 1975, 11, 965–974
30. Methodendokumentation «Bodenkunde»: Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden.//Geologisches Jahrbuch. Sonderhefte: Reihe G – Heft SG 1- Ad-hoc-AGBoden. Volker Hennings. Herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland. – Verlag Schweizerbart, Stuttgart, 2000. – 296 p.
31. Світличний О.О., Чорний С.Г. (2007) Основи ерозієзнавства: Підручник. – Суми: ВТД «Університетська книга»,– (с. 266)
32. Harrington, E.C., (1965) The desirable function. *Industrial Quality Control*, 21 (10), 124–131.
33. N.P. Korohoda, O.V. Kovtoniuk, O.O. Halahan (2022-2023) Kyiv green areas: assessment of the functioning efficiency and volumes of ecosystem services

for erosion control. - [электронный ресурс]. – URL: <https://geology-dnu.dp.ua/index.php/GG/article/view/1038/851>

34. Environmental Atlas Berlin. - [электронный ресурс]. – URL: <https://www.berlin.de/umweltatlas/en/soil/soil-scientific-characteristic-values/1990/methodology/>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А – до розділу 4

Таблиця А1

Залежність коефіцієнта потенційної ерозії (K_b) від гранулометричного складу ґрунту [30]

Bodenart nach [1]	K_b	Bodenart Kurzzeichen	K_b	Bodenart Kurzzeichen	K_b	Bodenart Kurzzeichen	K_b
Ss	0,13	Uu	0,71	Lt2	0,26	Tu2	0,14
Su2	0,23	Us	0,63	Lt3	0,21	Tu3	0,32
Su3	0,35	Uls	0,50	Tu3	0,32	ffS	0,74
Su4	0,45	Ut2	0,61	Lts	0,15	fS	0,34
Slu	0,40	Ut3	0,56	Ts2	0,04	fSms	0,25
Sl2	0,21	Ut4	0,53	Ts3	0,06	fSgs	0,25
Sl3	0,26	Ls2	0,35	Ts4	0,08	mS	0,07
Sl4	0,24	Ls3	0,28	Tl	0,09	mSfs	0,16
St2	0,11	Ls4	0,19	Tt	0,02	mSgs	0,07
St3	0,10	Lu	0,41	Tu4	0,45	gS	0,07

Таблиця А2

Коефіцієнт скелетності ґрунтів (K_s), за [30]

Кількість уламків у %	K_s
Менше 1	1.00
1-10	0.87
11-30	0.64
31-50	0.39
51-75	0.19
Більше 75	0.1

Таблиця А3

Визначення геоморфологічного фактору ерозійних процесів (L), за [30]

Довжина схилу (м)	L	
	При ухилі більше або = 5%	При ухилі менше 5%

5	0,5	0,6
10	0,7	0,7
20	1	1
30	1,1	1,1
40	1,3	1,3
50	1,5	1,4
60	1,7	1,5
70	1,8	1,6
80	1,9	1,7
90	2	1,8
100	2,1	1,8
120	2,3	2
140	2,5	2,1
160	2,7	2,2
180	2,9	2,3
200	3	2,4
240	3,3	2,6
270	3,5	2,7
300	3,7	2,8
350	4	3
400	4,3	3,2

Таблиця А4

**Визначення фактора градієнту нахилу (S),
за [30]**

Ухил (%)	S
3	0,2
4	0,3
5	0,5

6	0,6
7	0,7
8	0,8
9	1,0
10	1,2
11	1,3
12	1,5
13	1,7
14	2
15	2,2
16	2,4
17	2,6
18	2,9
19	3,2
20	3,5
21	3,8
22	4,1
23	4,4
24	4,7
26	5,4
28	6,1
30	6,8

Таблиця А5

**Значення фактора ґрунтозахисних властивостей рослинного
покриву та типу агротехніки (С), за [30]**

Вид рослинного покриву	С
Ліс	0,001
Луки, пасовища, сіножаті	0,02

Багаторічні трави (1-3 року)	0,08-0,01
Зернові ярі	0,5
Зернові озимі	0,3
Цукрові буряки	0,85
Картопля	0,75
Пар	1

Таблиця А6

Показники ефективності виконання ґрунтозахисної функції та ЕП регулювання ерозії [9]

Значення <i>MVA</i>	Темпи ерозії	Ефективність виконання ґрунтозахисної функції	Обсяг ЕП регулювання ерозії
0-0,5	відбувається значно повільніше, ніж процес ґрунтоутворення	оптимальна	максимальний
0,5-1	відбувається повільніше, ніж процес ґрунтоутворення	прийнятна	вище середнього
1-5	відбувається з тією ж швидкістю, або трохи швидше, ніж процес ґрунтоутворення	допустима	середній
5-10	відбувається швидше, ніж процес ґрунтоутворення	гранично-допустима	нижче середнього
>10	відбувається значно швидше, ніж процес ґрунтоутворення	неприпустима	мінімальний

Таблиця А7

Визначення ризику за множиною параметрів, відповідно до шкали бажаності Харрінгтона [9]

Діапазони за шкалою бажаності	Параметри розрахунку ерозійних втрат					Ризики	Бал
	скелетності ґрунтів (<i>Ks</i>)	потенційної ерозії (<i>Kb</i>)	довжини схилу (<i>L</i>)	градієнту нахилу схилу (<i>S</i>)	рослинного покриву (<i>C</i>)		

[0-0,2)	[0,1-0,19)	[0,048-0,105)	[0,5-0,86)	[0,2-1,36)	[0,01-0,16)	вельми низькі	1
[0,2-0,37)	[0,19-0,39)	[0,105-0,194)	[0,86-1,59)	[1,36- 2,52)	[0,16-0,29)	низькі	2
[0,37-0,63)	[0,39-0,64)	[0,194-0,33)	[1,59-2,71)	[2,52- 4,29)	[0,29-0,49)	помірні	3
[0,63-0,8)	[0,64-0,87)	[0,33-0,419)	[2,71-3,44)	[4,29- 5,44)	[0,49-0,62)	високі	4
[0,8 -1]	[0,87-1]	[0,419-0,524]	[3,44-4,3]	[5,44-6,8]	[0,62-0,78]	вельми високі	5

