

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису УДК: 332:64

**АНАЛІЗ КРУТИЗНИ СХИЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
ЗЕМЕЛЬ ЗАСОБАМИ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво»
Спеціальність 193 – «Геодезія та землеустрій»
Освітня програма «Геодезія та землеустрій»

Кваліфікаційна робота бакалавра
студентки 3 курсу (на основі м. с.)
освітнього рівня бакалавр
Ситник Марії Василівни

Науковий керівник:
Тітова Світлана Вікторівна
доцент кафедри геодезії та картографії,
кандидат географічних наук

Допущено до захисту:

Протокол засідання кафедри №__ від «__» _____ 20__ року

Завідувач кафедри

проф. Даценко Л.М.

КИЇВ-2025

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	3
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТИЗНИ СХИЛІВ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЛЯХ	6
1.1. Поняття, класифікація сільськогосподарських земель та вплив крутизни схилів на землекористування.....	6
1.2. Нормативно-правова база використання та охорони сільськогосподарських земель	12
1.3. Застосування ГІС-технологій для дослідження крутизни схилів на сільськогосподарських землях.....	17
Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2. ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРУТИЗНИ СХИЛІВ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЛЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ.....	26
2.1. Джерела даних для проведення визначення крутизни схилів (ЦМР, супутникові знімки тощо)	26
2.2. Використання сучасних технологій, алгоритм обробки та аналізу отриманих даних	33
2.3. Критерії оцінки та класифікація крутизни схилів на основі отриманих даних	37
Висновки до розділу 2	42
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО АНАЛІЗУ КРУТИЗНИ СХИЛІВ НА ПРИКЛАДІ ВІННИЦЬКОЇ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ	43
3.1. Характеристика обраної ділянки дослідження (географічне розташування, основні особливості)	43
3.2. Проведення аналізу крутизни схилів на прикладі Вінницької міської територіальної громади	48
3.3. Аналіз отриманих результатів: визначення крутизни схилів та її вплив на можливість сільськогосподарського використання земель	54
Висновки до розділу 3	57
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60
ДОДАТКИ.....	71

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу крутизни схилів сільськогосподарських земель із використанням сучасних ГІС-технологій. У роботі розглянуто вплив крутизни схилів на якість сільськогосподарських земель, рівень ерозійних процесів та можливість вирощування культур на територіях зі складним рельєфом. Встановлено, що ухил місцевості визначає мікрокліматичні умови вирощування культур, доступність для техніки та потребу в спеціальних агротехнічних заходах.

Розглянуті основні закони та нормативно-правові акти, які дозволили виокремити ключові аспекти пов'язані з регулюванням питань використання та охорони земель, зокрема питання крутизни схилів.

В ході дослідження порівняно функціональні можливості таких ГІС, як ArcGIS, QGIS, GRASS GIS, SAGA GIS. Основні обчислення проведено в програмному середовищі QGIS з використанням плагіну GRASS, в якості прикладу розглянуто територію Вінницької міської територіальної громади, що дало змогу на практиці оцінити придатність земель до використання у сільському господарстві.

За допомогою ЦМР виконано просторовий аналіз території, зокрема побудовано картограму крутизни для виявлення зон із підвищеною ерозійною небезпекою, створено тематичну схему, що відображає еколого-технологічні групи земель. Ця схема дає змогу візуалізувати просторові відмінності в умовах землекористування та обґрунтувати диференційовані підходи до обробітку ґрунту й впровадження ґрунтозахисних заходів.

Загалом дослідження має як наукову, так і практичну цінність, адже демонструє важливість комплексного підходу до оцінки рельєфу території, використання сучасних ГІС-інструментів для прийняття рішень у сфері сільського господарства та охорони земель. Отримані результати можуть стати основою для покращення системи управління земельними ресурсами та сприяти сталому розвитку сільських територій в умовах сучасних екологічних та економічних викликів.

Ключові слова: сільськогосподарські землі, крутизна схилів, рельєф, цифрова модель рельєфу, землекористування, ерозія.

ВСТУП

Сільське господарство є однією з основних галузей економіки, що забезпечує продовольчу безпеку та стабільність національного господарства. Ефективне використання земель потребує раціонального підходу до управління земельними ресурсами з урахуванням природних умов.

Крутизна схилів має значний вплив на продуктивність земель та їхню придатність до вирощування різноманітних сільськогосподарських культур, оскільки визначає рівень ерозійних процесів, доступність для сільськогосподарської техніки та загальний потенціал використання ділянки. Даний фактор необхідно враховувати на територіях зі складним рельєфом, де неправильно організоване землекористування може призвести до деградації ґрунтів та втрати їх родючості.

Використання ГІС-технологій дозволяє ефективно аналізувати рельєф місцевості та створювати картограми крутизни схилів на основі цифрових моделей рельєфу.

Актуальність теми обумовлена необхідністю застосування сучасних підходів аналізу крутизни схилів для раціонального використання та охорони земель сільськогосподарського призначення в умовах підвищеного антропогенного та кліматичного впливу.

Роботи таких науковців, як А. М. Третяк, Д. С. Добряк, Д. І. Бабміндра, Й. М. Дорош, О. С. Дорош, О. Г. Тараріко, О. П. Канаш, О. С. Помелов, І. А. Розумний, М. С. Богіра, С. В. Тітова, Л. М. Даценко, М. В. Дубницька та багато інших, присвячені питанням раціонального використання та охорони земель сільськогосподарського призначення. У своїх працях вони висвітлили різноманітні науково-методичні підходи до встановлення обмежень у використанні земель для вирішення даної проблеми.

Метою кваліфікаційної роботи є застосування підходів аналізу крутизни схилів на сільськогосподарських землях з використанням ГІС-технологій та її практичне застосування для оцінки придатності земель.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– розкрити сутність поняття «крутизна схилів» та визначити її вплив на сільськогосподарське землекористування;

– проаналізувати чинні нормативно-законодавчі акти дотичні до тематики дослідження;

– описати підходи для аналізу крутизни схилів на сільськогосподарських землях з використанням ГІС-технологій;

– застосувати підходи для аналізу крутизни схилів на прикладі території Вінницької міської територіальної громади та оцінити отримані результати для визначення придатності земель.

Об’єктом дослідження є сільськогосподарські землі, як категорія земель та реєстраційно-облікова одиниця земельного кадастру.

Предметом дослідження є методи і технології аналізу крутизни схилів сільськогосподарських земель для визначення їхньої придатності. У межах роботи було використано комплекс методів, зокрема статистичний аналіз, за допомогою якого проаналізовано структуру земельного фонду Вінницької області та структуру категорій земель Вінницької міської територіальної громади. Картографічний метод дослідження дозволив візуалізувати просторові характеристики території та проаналізувати розташування і морфометричні особливості схилів. Монографічний метод охоплював опрацювання літературних джерел, бібліографічної інформації та наукових публікацій, що стосуються аналізу рельєфу, морфометричних характеристик місцевості та особливостей використання земель на схилах. Аналітичний метод застосовувався для побудови цифрових моделей рельєфу, що є ключовим інструмент у сучасному аналізі території. Крім цього, у даному дослідженні активно використовувалися геоінформаційні системи (ГІС), зокрема основний просторовий аналіз, моделювання рельєфу та визначення крутизни схилів на основі ЦМР було виконано за допомогою програмного забезпечення QGIS (використувався плагін GRASS). Водночас, у роботі було розглянуто переваги та функціональні можливості інших ГІС-платоформ, зокрема ArcGIS, GRASS GIS та SAGA GIS, які можуть бути ефективними для аналізу рельєфу та ухилів у різних дослідницьких і практичних контекстах.

Робота складається з трьох розділів, 2 таблиць, 33 рисунків, використано 84 джерела, викладена на 76 сторінках та містить 5 додатків.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТИЗНИ СХИЛІВ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЛЯХ

1.1. Поняття, класифікація сільськогосподарських земель та вплив крутизни схилів на землекористування

Земельні ресурси – це багатофункціональний ресурс для життя на Землі та розвитку людства, який включає просторове розміщення, рельєф, ґрунти, рослинність, надра і води. Вони відіграють ключову роль у сільському і лісовому господарстві, а також слугують основою для розміщення всіх галузей виробництва. Ці ресурси є необхідною умовою життя і функціонування суспільного виробництва, впливаючи на існування та використання інших природних ресурсів, таких як повітря, поверхневі і підземні води, а також рослинний і тваринний світ [1].

Під земельними ресурсами розуміють сільськогосподарські ділянки та інші землі, які вже використовуються або можуть бути використаними в різних галузях діяльності при сучасному рівні розвитку продуктивних сил суспільства [2]. Усі землі на території України, включно з островами та землями під водними об'єктами, відносяться до земельних ресурсів України і поділяються на категорії відповідно до їх основного цільового призначення.

Згідно із статтею 19 Земельного кодексу України землі поділяються на дев'ять категорій:

- а) землі сільськогосподарського призначення;
- б) землі житлової та громадської забудови;
- в) землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення;
- г) землі оздоровчого призначення;
- г) землі рекреаційного призначення;
- д) землі історико-культурного призначення;
- е) землі лісогосподарського призначення;
- є) землі водного фонду;

ж) землі промисловості, транспорту, електронних комунікацій, енергетики, оборони та іншого призначення [3].

В даній кваліфікаційній роботі дослідження буде зосереджено на аналізі стану та використання сільськогосподарських земель.

Станом на 2021 рік, в Україні найбільшу площу, орієнтовно 42 млн. га, займають землі сільськогосподарського призначення, які є найбільш цінним ресурсом країни і задовольняють найважливіші потреби суспільства та є одним з ключових елементів для забезпечення продовольчої безпеки та розвитку економіки [4].

Відповідно до Земельного кодексу України [3], землі сільськогосподарського призначення – це ділянки, які надані для виробництва агропродукції, ведення науково-дослідної та навчальної діяльності у сфері сільського господарства, розташування відповідної виробничої інфраструктури або призначені для таких цілей.

До цієї категорії земель належать сільськогосподарські угіддя (рілля, перелоги, багаторічні насадження, пасовища) та несільськогосподарські угіддя (господарські дороги та проходи, полезахисні лісосмуги та інші захисні насадження, крім тих, що належать до земель лісогосподарського призначення, землі під господарськими будівлями та спорудами, землі тимчасової консервації) [2].

У системі класифікації сільськогосподарських земель виділяють декілька основних категорій за цільовим призначенням:

- земельні ділянки для сільськогосподарських підприємств;
- землі фермерського господарства;
- земельні ділянки особистих селянських господарств;
- землі для сінокосіння і випасання худоби;
- земельні ділянки для садівництва;
- земельні ділянки для городництва [3].

Якість сільськогосподарських угідь визначається балом бонітету, який залежить від багатьох факторів, у тому числі від рельєфу.

Одним із найважливіших факторів, що впливають на використання землі є крутизна схилів, яка значною мірою визначає можливості та обмеження землекористування на певній території.

Крутизна схилу – показник, що характеризує нахил земної поверхні і вимірюється в градусах або відсотках. Чим більший кут нахилу, тим інтенсивніший процес ерозії ґрунту (особливо в гірських і горбистих районах), що призводить до деградації земель та зниження родючості. Крім того, круті схили ускладнюють механізацію сільськогосподарських робіт, а вибір культур, які можна вирощувати – обмежений.

Будь-який схил характеризується стрімкістю, висотою перерізу, закладанням горизонталей і довжиною схилу. Основні елементи схилу наведені на рис. 1.1 [5].

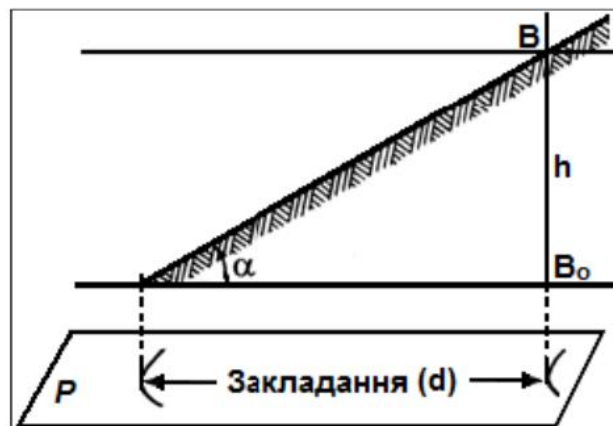


Рис. 1.1. Елементи схилу [джерело: 5]

де стрімкість схилу α – кут між нахиленою поверхнею схилу до горизонтальної площини; висота перерізу h – відстань по висоті між двома суміжними горизонталями; закладання горизонталей d – відстань на карті між двома суміжними горизонталями; довжина схилу D – відстань на схилі від вершини до підосви.

Усі вищезазначені елементи на карті взаємопов'язані, оскільки, чим більшою є висота перерізу, тим більше закладання горизонталей і навпаки та чим стрімкіший схил, тим менше закладання горизонталей і навпаки (рис. 1.2).

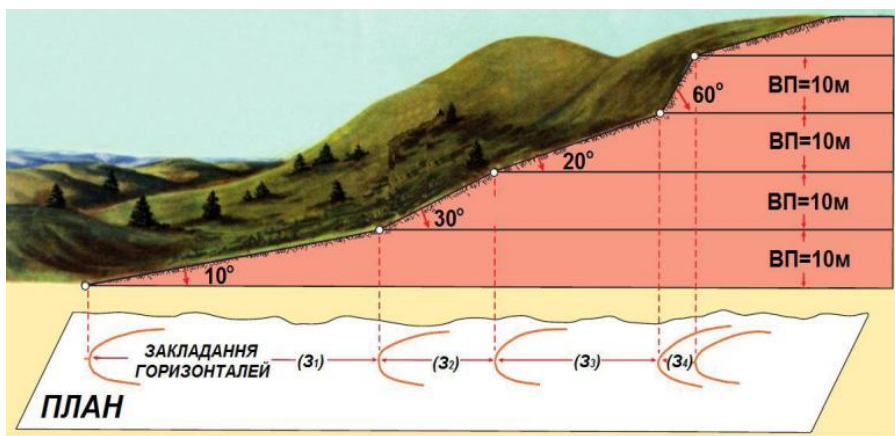


Рис. 1.2. Взаємозв'язок між стрімкістю схилу, закладанням горизонталей і висотою перерізу рельєфу на карті [джерело: 5]

Відстань між сусідніми горизонталями, яка називається закладанням, є ключовим показником крутизни.

Горизонталі на карті дають змогу швидко зрозуміти, який перед нами схил – стрімкий чи пологий. Однакове закладання по всій довжині схилу свідчить про те, що схил рівний, якщо закладання зменшується від вершини до підосви, схил є опуклим, якщо збільшується – увігнутим, а коливання відстані (закладання від вершини до підосви то збільшується, то зменшується) вказує на хвилястий схил (рис. 1.3).

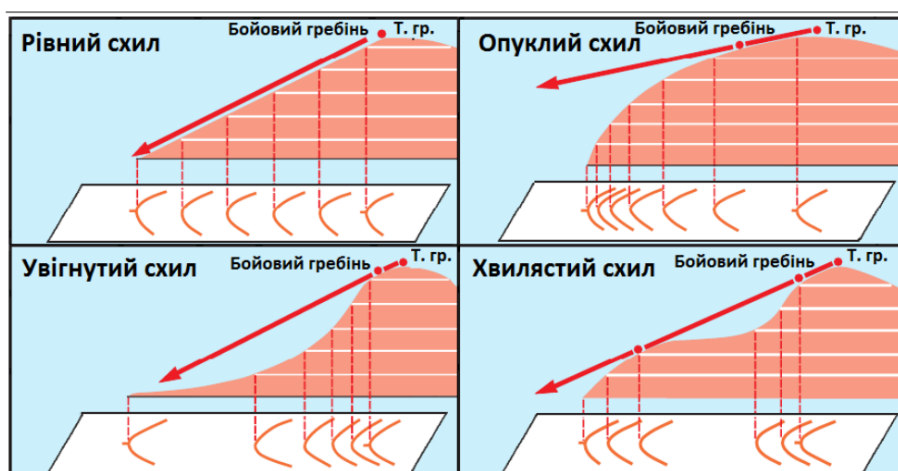


Рис. 1.3. Відображення різних типів схилу за допомогою горизонталей [джерело: 5]

Отже, на топографічній карті крутість схилу характеризується відстанню між двома сусідніми горизонталями та називається закладанням. Шкалу закладень зазвичай розміщують під південною рамкою поряд з лінійним масштабом.

Для того, щоб визначити стрімкість схилу за шкалою закладень, потрібно циркулем або лінійкою відміряти відрізок між двома суміжними основними горизонталями, прикласти його до шкали і прочитати число градусів біля основної шкали (рис. 1.4) [5].

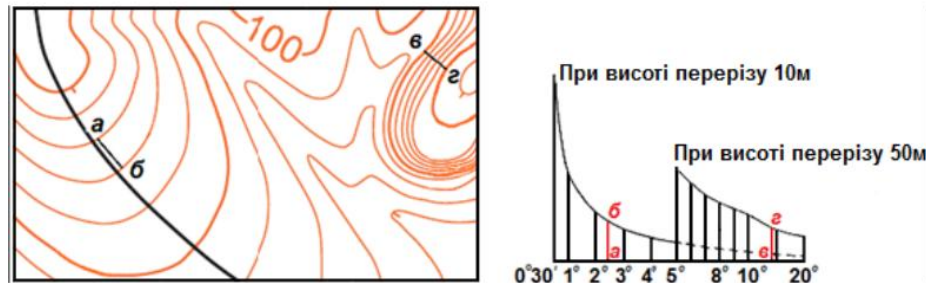


Рис. 1.4. Шкала закладень [джерело: 5]

Якщо горизонталі розташовані близько одна до одної, то тоді зручніше користуватися правою частиною шкали, беручи при цьому на карті закладення між сусідніми потовщеними горизонталями.

Крім, шкали закладень для визначення крутості схилу можна застосовувати формулу:

$$\alpha = 60 \times \frac{h}{d} \quad (1.1)$$

де α – стрімкість схилу; h – висота перерізу, d – закладення.

Наприклад, на карті масштабу 1:50 000 висота перерізу 10 метрів, а закладення у місці визначення 3 мм (оскільки, 1 мм карти масштабу 1:50 000 відповідає 50 м), отже закладення дорівнює 150 м.

Застосовуючи формулу (1.1) отримуємо:

$$\alpha = 60 \times \frac{10}{150} = 4^\circ$$

Проте, застосовувати формулу можна, якщо стрімкість схилів не більше 20-25°, оскільки за більшої стрімкості точність визначення знижується [6].

Як зазначалося раніше, крутизна схилів є одним із найважливіших факторів, що визначають можливості та обмеження у використанні сільськогосподарських

земель. Крутизна має безпосередній вплив на вибір способів обробітку ґрунту, типів сільськогосподарських культур та загальну ефективність землекористування.

На пологих схилах з крутизною до 3° можливе повноцінне використання всіх видів сільськогосподарської техніки та вирощування широкого спектру культур. Такі землі найбільш придатні для інтенсивного землеробства, включаючи вирощування зернових, технічних та просапних культур, крім цього, на таких ділянках можуть застосовуватися будь-які агротехнічні заходи без особливих обмежень.

Якщо відбувається збільшення крутизни схилів від 3° до 7° , то тоді уже починають з'являтися перші суттєві обмеження. По-перше, на таких схилах необхідно застосовувати спеціальні протиерозійні заходи, зокрема оранку поперек схилу, по-друге, вибір культур стає більш обмеженим, перевага надається культурам з розвиненою кореневою системою, які здатні закріплювати ґрунт.

Схили крутизною від 7° до 12° вимагають впровадження ґрунтозахисних сівозмін з переважанням багаторічних трав. Використання техніки стає проблематичним, а деякі види обробітку ґрунту взагалі неможливими. У таких умовах важливо здійснювати терасування схилів і будувати протиерозійні гідротехнічні споруди [7].

З економічної та екологічної точки зору ведення землеробства на схилах понад 12° є як неефективним, так і небезпечним. Такі землі краще використовувати під багаторічні насадження, сади, виноградники або пасовища. А на дуже крутих схилах (понад 20°) сільськогосподарське використання взагалі недоцільне, і їх краще відводити під заліснення [7, 8].

Крутизна схилів має негативний вплив на водний режим ґрунтів, через те, що на крутих схилах значна частина опадів не встигає поглинатися ґрунтом і стікає по поверхні, що в свою чергу призводить до водної ерозії. В результаті чого відбувається змив родючого шару ґрунту, утворення ярів та погіршення загального стану земель. Тому на схилах особливого значення набувають заходи з регулювання поверхневого стоку та захисту ґрунтів від ерозії [9].

Економічна ефективність використання схилених земель безпосередньо залежить від крутизни. З підвищенням крутизни схилів аграрії стикаються зі зростанням витрат на обробіток ґрунту, внесення добрив та реалізацію інших агротехнічних заходів. Водночас спостерігається зниження ефективності використання техніки та якості аграрних робіт, унаслідок цього відбувається підвищення собівартості сільськогосподарської продукції та зниження рентабельності виробництва [10].

Тому, в умовах сьогодення при плануванні використання схилених земель потрібно враховувати не лише економічні, але й екологічні аспекти. Важливим є впровадження систем землеробства, які адаптуються до природних умов, зокрема до крутизни схилів, наприклад, використання методів та обробітку ґрунту та сівозмін, які максимально відповідають природним умовам, зокрема, вибір культур, що краще пристосовані до конкретних кліматичних і ґрунтових умов, створення смуг для захисту від ерозії та використання природних бар'єрів для запобігання вітрової та водної ерозії, здійснювати терасування схилів, планування сівозмін, таким чином, щоб культури, які обробляються, чергувалися з такими, що знижують навантаження на ґрунт, зберігають його родючість, також можна впровадити обробіток ґрунту по контурах схилів, що допомагає зменшити водну ерозію та зберігати вологу тощо. Все це дозволяє забезпечити стале землекористування та зберегти родючість ґрунтів для майбутніх поколінь [10, 11].

1.2. Нормативно-правова база використання та охорони сільськогосподарських земель

Землі сільськогосподарського призначення є одним із найважливіших національних надбань та забезпечують продовольчу безпеку країни, тому їх раціональне використання та охорона є пріоритетним завданням державної політики. Правове регулювання має на меті забезпечення збалансованого

землекористування, збереження родючості та охорону навколишнього середовища [12].

Використання та охорона земель сільськогосподарського призначення регулюється системою законодавчих та нормативних актів, які визначають правові засади щодо володіння, користування та розпорядження сільськогосподарськими землями, а також заходи щодо їх охорони.

Основою цієї системи є Конституція України від 28 червня 1996 року [13], яка у статтях 13 та 14 визначає землю основним національним багатством, що перебуває під особливою охороною держави.

Правові основи забезпечення раціонального використання земель встановлено Земельним кодексом України [14], прийнятий Верховною Радою України 25 жовтня 2001 року під номером № 2768-III. Земельний кодекс України є основним законодавчим актом, який регулює правовідносини у сфері землекористування та землеволодіння. Він визначає загальні принципи охорони земель та їх цільового використання, а також встановлює вимоги щодо запобігання деградації, виснаження та забруднення ґрунтів. Земельний кодекс України також визначає повноваження органів державної влади та місцевого самоврядування у сфері земельних відносин.

Наступним, не менш важливим, є Закон України «Про охорону земель» № 962-IV від 19 червня 2003 року [15], який встановлює правові основи охорони земель, визначає систему заходів щодо збереження якості земель та регламентує державний контроль за їх використанням та охороною та встановлює відповідальність за порушення законодавства у сфері охорони земель.

До основних принципів охорони земель відносяться:

– раціональне використання земельних ресурсів: ділянки повинні використовуватися відповідно до їхнього цільового призначення та природоохоронних норм;

– запобігання деградації ґрунтів: землекористувачі зобов'язані вживати заходи із запобігання погіршення стану ґрунтів;

– збереження природного середовища: врахування екологічної рівноваги при використанні земель.

Землекористувачі під час використання земель повинні дотримуватися екологічних вимог під час ведення господарської діяльності, виконувати заходи щодо запобігання ерозії ґрунтів, вітровим та водним змивам, не допускати забруднення земель хімічними, радіоактивними та іншими шкідливими речовинами, а також не забувати проводити рекультивацію порушених земель.

Відповідно до Закону України «Про охорону земель» № 39 від 19 червня 2003 року [15], а саме статті 47 «Охорона земель від ерозії та зсувів» забороняється розорювання схилів крутизною понад 7° (крім ділянок для залуження, заліснення та здійснення ґрунтозахисних заходів). На схилах крутизною від 3° до 7° обмежується розміщення просапних культур, чорного пару тощо.

Водний кодекс України № 24 від 06 червня 1995 року [16] забороняє розорювати заплави річок та прибережні захисні смуги, ширина яких визначена кодексом (ст. 88. Прибережні захисні смуги) :

- для малих річок, струмків і потічків, а також ставків площею менше 3 гектарів – 25 метрів;
- для середніх річок, водосховищ на них та ставків площею більше 3 гектарів – 50 метрів;
- для великих річок, водосховищ на них та озер – 100 метрів.

При цьому кодекс визначає, що якщо крутизна схилу понад 3° , то мінімальна ширина прибережної захисної смуги подвоюється.

Закон України «Про землеустрій» № 36 від 22 травня 2003 року [17] визначає основні терміни, принципи та завдання землеустрою, а також закріплює основи державної політики у сфері землеустрою. Описує функції та повноваження органів, які здійснюють державний контроль за дотриманням законодавства у сфері землеустрою та встановлює види відповідальності та санкції за порушення законодавства у цій сфері.

Постанова Кабінету Міністрів України Про затвердження Порядку щодо консервації земель № 35 від 19 січня 2022 року [18] є важливим нормативним

документом, що регулює питання охорони земельних ресурсів та забезпечення їх раціонального використання. Постанова вимагає від землекористувачів та власників вживати заходи щодо запобігання деградації ґрунтів. Органам місцевого самоврядування потрібно визначити території, які потрапляють під критерії деградації (ерозія, засолення, втрата родючості тощо).

Згідно з постановою необхідно провести консервацію земель, яка має на меті вилучення земель із сільськогосподарського використання на певний період для проведення заходів із відновлення їх екологічного стану (заліснення, залуження (посів багаторічних трав), рекультивация).

Загалом, метою даної постанови є визначення організаційних засад проведення консервації деградованих і малопродуктивних земель, господарське використання яких є економічно неефективним та завдає шкоди довкіллю, крім того, на таких ділянках неможливо одержати екологічно чисту продукцію, а перебування людей на цих ділянках є небезпечним для їх здоров'я. Відповідно після здійснення комплексу необхідних заходів та обсягу робіт з охорони земель, закінчення строку консервації земель (визначеного проектом консервації), уповноважений орган або власник, залежно від форми власності, приймає рішення про повернення земельної ділянки у використання.

Україна є учасницею міжнародних угод у сфері охорони земель. У рамках міжнародного співробітництва Україна бере участь у виконання зобов'язань у рамках Цілей сталого розвитку ООН, зокрема щодо раціонального землекористування та запобігання ерозії ґрунтів, що є критично важливим для збереження сільськогосподарського потенціалу країни (рис.1.5) [19, 84].

ЦІЛЬ 15. ЗАХИСТ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОСИСТЕМ СУШІ					
Завдання	Індикатор	2015	2020	2025	2030
15.1. Забезпечити збереження, відновлення та стале використання наземних і внутрішніх прісноводних екосистем	15.1.1. Площа територій та об'єктів природно-заповідного фонду, тис. га	3803,1	6276,9	7545,4	9053,2
	15.1.2. Частка площі територій та об'єктів природно-заповідного фонду у загальній території країни, %	6,3	10,4	12,5	15,0
	15.1.3. Частка площі територій національної екологічної мережі у загальній території країни, %	38,2	39,0	40,0	41,0
Завдання	Індикатор	2015	2020	2025	2030
15.2. Сприяти сталому управлінню лісами	15.2.1. Лісистість території країни, %	15,9	17,0	18,5	20,0
	15.2.2. Запаси деревини в лісах, млн куб. м	2102	2200	2300	2400
15.3. Відновити деградовані землі та ґрунти з використанням інноваційних технологій	15.3.1. Кількість визначених та реалізованих завдань щодо досягнення нейтрального рівня деградації земель, одиниць	Дані очікуються			
	15.3.2. Площа орних земель (ріллі), тис. га	32541,0	31150,9	29760,8	28370,7
	15.3.3. Частка площі орних земель (ріллі) у загальній території країни, %	53,9	51,6	49,3	47,0
	15.3.4. Площа земель органічного виробництва, тис. га	410,6	500,0	1500,0	3000,0
	15.3.5. Площа сільськогосподарських угідь екстенсивного використання (сіножатей, пасовищ), тис. га	7840,5	8389,3	8932,5	9536,0
	15.3.6. Частка площі сільськогосподарських угідь екстенсивного використання (сіножатей, пасовищ), у загальній території країни, %	13,0	13,9	14,8	15,8
15.4. Забезпечити збереження гірських екосистем	15.4.1. Площа територій природно-заповідного фонду в гірських регіонах, тис. га	627,7	905,3	1207,1	1533,0
	15.4.2. Частка територій природно-заповідного фонду в гірських регіонах у загальній території країни, %	1,04	1,50	2,00	2,54

Рис. 1.5. Цілі сталого розвитку ООН (ціль 15) [джерело: 19]

У січні 2022 року Уряд України затвердив концепцію загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель. Програма розробляється з метою реалізації державної політики України щодо забезпечення сталого розвитку землекористування та створення екологічно безпечного середовища проживання і провадження господарської діяльності, захисту земель від виснаження, деградації та забруднення, відтворення та підвищення родючості ґрунтів, збереження функцій ґрунтового покриву, збереження ландшафтного і біологічного різноманіття в ринкових умовах та з урахуванням глобальної зміни клімату [21, 22].

Впровадження програми передбачає системний підхід до вирішення проблем землекористування та охорони земель, що включає як законодавчі зміни, так і практичні заходи на місцевому рівні. Це дозволить забезпечити комплексний захист земельних ресурсів та створити умови для їх сталого використання майбутніми поколіннями [22].

1.3. Застосування ГІС-технологій для дослідження крутизни схилів на сільськогосподарських землях

Геоінформаційні системи (ГІС) широко використовуються в багатьох галузях промисловості, включаючи сільське господарство. Одним із найважливіших застосувань ГІС є вивчення рельєфу сільськогосподарських територій, особливо крутизни схилів. Цей параметр важливий для багатьох агротехнічних заходів, таких як обробіток ґрунту, боротьба з ерозією, зрошення, оскільки ГІС надають можливість ефективно оцінювати ерозійні ризики та раціонально планувати землекористування. ГІС-технології є критично важливими для забезпечення сталого ведення сільського господарства [23].

ГІС здійснили революцію в сільськогосподарському виробництві, забезпечуючи фермерів та агропідприємства передовими технологіями для оптимізації аспектів землеробства.

Геоінформаційні системи забезпечують інтеграцію різноманітних просторових даних та реалізацію складних алгоритмів їх обробки для отримання кількісних характеристик поверхні. За допомогою ГІС створюються точні цифрові моделі рельєфу (ЦМР), які дозволяють детально аналізувати топографічні особливості сільськогосподарських угідь, а якщо в додачу використовувати ще дані дистанційного зондування Землі, то тоді у нас з'являється можливість створювати картограми крутизни схилів з високою точністю, що є критично важливим для планування протиерозійних заходів. На підставі цих даних можна ідентифікувати ділянки з різним ступенем схилів та класифікувати їх за придатністю для різних видів сільськогосподарського використання. Окрім цього, ГІС можна використовувати для планування сівозмін та вибору оптимальних способів обробітку ґрунту, оскільки вони дають змогу автоматично обчислювати площі земель з різною крутизною схилів. Особливо цінним є можливість моделювання потенційних шляхів водної ерозії та визначення ділянок, найбільш схильних до змиву ґрунту [24, 25].

На основі аналізу крутизни схилів за допомогою геоінформаційних систем розробляються детальні рекомендації щодо раціонального використання земельних ресурсів, зокрема, для контурно-меліоративної організації території, яка передбачає адаптацію сільськогосподарської діяльності до природного рельєфу місцевості, для розміщення позахисних лісосмуг, які є важливим елементом захисту ґрунтів від водної та вітрової ерозії тощо.

Важливою перевагою ГІС є можливість інтеграції даних про крутизну схилів з іншими характеристиками місцевості – типами ґрунтів, рослинним покривом, кліматичними показниками, що дозволяють проводити комплексний аналіз придатності земель для сільськогосподарського використання [26].

Геоінформаційні системи надають можливість постійного моніторингу змін рельєфу внаслідок ерозійних процесів та оцінки ефективності протиерозійних заходів. Всі вище зазначені особливості використання ГІС роботи їх незамінним інструментом для сталого управління сільськогосподарськими землями на схилових територіях.

Міжнародний досвід показує різноманітність підходів та технологій, які можуть бути адаптовані до умов України.

Яскравим прикладом застосування ГІС є моделювання ерозійних процесів на виноградниках, де за допомогою методів моделювання вдалося оцінити ефективність різних систем терасування та визначити ділянки, найбільш схильні до ерозії (рис. 1.6). Це дозволило розробити оптимальні стратегії захисту ґрунтів і збереження родючості виноградників [27, 28].

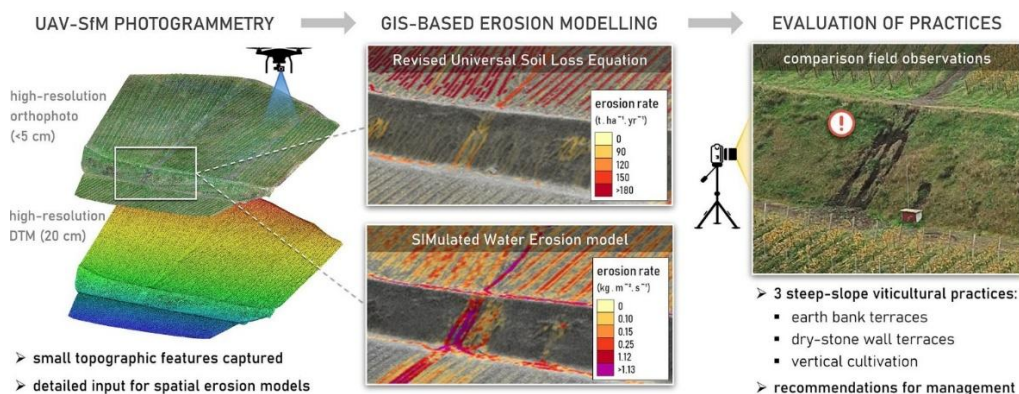


Рис. 1.6. Моделювання ерозії ґрунту на виноградниках на основі ГІС

[джерело: 28]

Терасування схилів під виноградники є традиційною практикою, але саме використання ГІС дозволило вивести цей процес на якісно новий рівень точності та ефективності. За допомогою геоінформаційних систем створюються детальні цифрові моделі рельєфу виноградників, які враховують не тільки загальну крутизну схилів, але й мікрорельєф території.

Процес моделювання включає в себе кілька ключових факторів: кут нахилу схилу, довжина схилу, експозиція, характеристики ґрунту та існуючі протиерозійні споруди.

ГІС дозволяє створювати сценарії розвитку майбутніх (можливих) ерозійних процесів при різних варіантах терасування та інтенсивності опадів. Особливо важливим є можливість моделювання водних потоків та їх впливу на стабільність терас [28, 29].

За результатами цих даних вже розробляються різні варіанти систем терасування, які можуть включати:

- горизонтальні тераси з різною шириною полотна;
- похилі тераси з різним кутом нахилу;
- комбіновані системи з додатковими водовідвідними елементами.

Більше того, ГІС-моделювання допомагає в плануванні розміщення нових виноградних насаджень з урахуванням потенційних ризиків ерозії та необхідних захисних заходів. Особлива актуальність цього спостерігається при створенні нових насаджень на похилих територіях, де коректне проєктування протиерозійних заходів може значно збільшити час функціонування насаджень та зберегти родючість ґрунтів [28].

Постійний моніторинг за допомогою ГІС дає змогу оцінювати ефективність запроваджених заходів та вносити необхідні зміни в систему протиерозійного захисту. Таким чином, це сприяє покращенню адаптивності та стійкості управління виноградниками до змін кліматичних умов і рівня інтенсивності використання земель, забезпечуючи їхню довготривалу продуктивність.

У США широко застосовується система RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), яка являє собою універсальне рівняння втрати ґрунту, широко

застосовується для оцінки та прогнозування ерозії ґрунтів. Важливим компонентом цієї моделі є визначення крутизни схилів, яка безпосередньо впливає на інтенсивність ерозійних процесів та необхідність впровадження відповідних протиерозійних заходів. Дана модель широко застосовується у світовій практиці для планування природоохоронних заходів та управління земельними ресурсами [29].

Модель RUSLE використовує різні алгоритми для розрахунку коефіцієнта крутизни схилу (LS-фактор) для точної оцінки ризику ерозії, а ключовим елементом для точного визначення LS-фактору слугують високоточні цифрові моделі рельєфу (DEM). Модель RUSLE розраховується за формулою (1.2):

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1.2)$$

A – середня багаторічна величина змиву від стоку дощових вод, т/га на рік;

R – середньобагаторічний ерозійний потенціал опадів (ЕПО), умовні одиниці;

K – змивання (еродованість) ґрунту, т/га на одиницю ЕПО;

L – фактор довжини схилу;

S – фактор крутизни схилу;

C – ерозійний індекс культури або сівозміни у цілому;

P – коефіцієнт ґрунтозахисної ефективності протиерозійних заходів (рис. 1.7)

[30].

Застосування RUSLE на сільськогосподарських землях дозволяє оптимізувати розміщення сільськогосподарських культур, планувати сівозміни та розробляти ефективні системи протиерозійних заходів, що в свою чергу сприяє збереженню родючості ґрунтів та забезпеченню сталого сільськогосподарського виробництва на схилових землях.

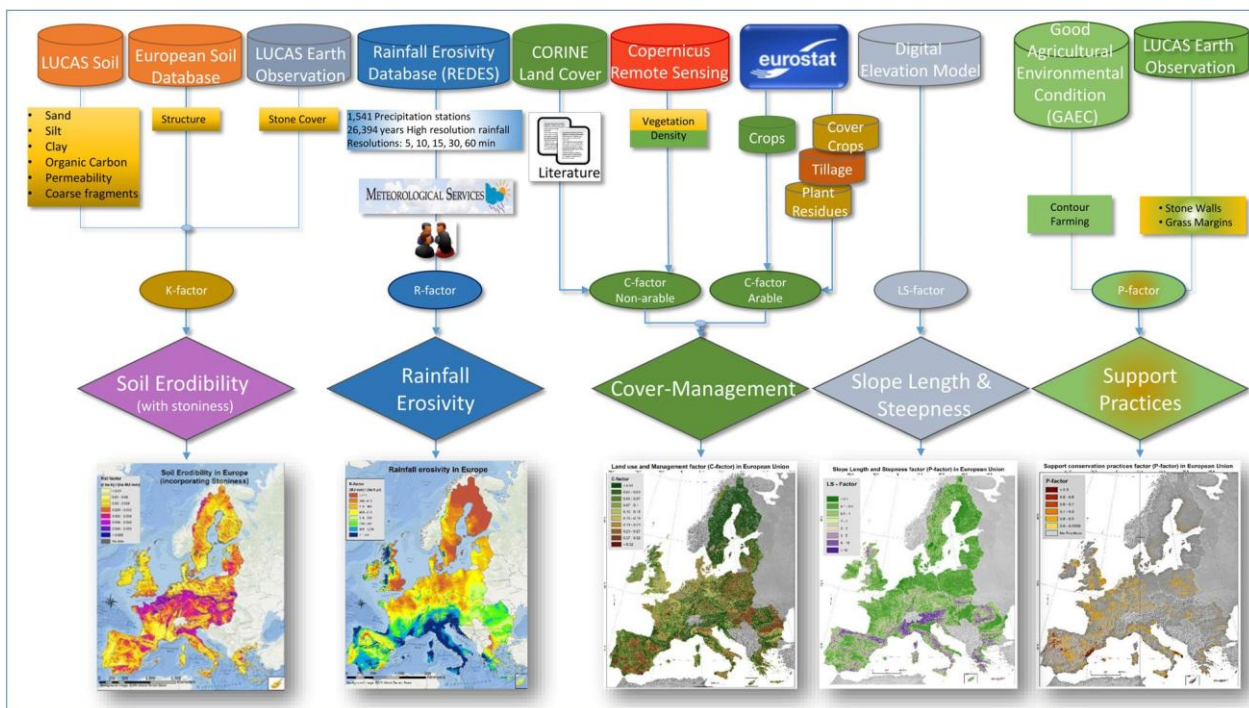


Рис. 1.7. Структура моделі ерозії ґрунту RUSLE [джерело: 31]

До основних переваг застосування ГІС можна віднести те, що при побудові картограм крутизни схилів ми можемо швидко ідентифікувати проблемні ділянки, наприклад, можемо створити детальну тривимірну модель рельєфу певної території на основі даних топографічної зйомки або даних ДЗЗ (рис. 1.8).

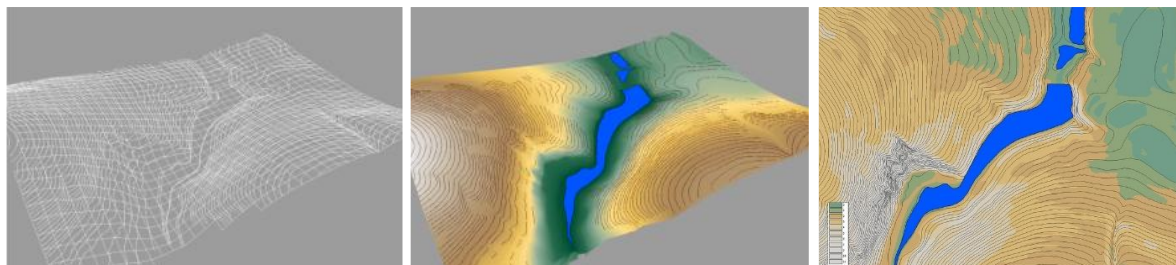


Рис. 1.8. Тривимірна візуалізація цифрової моделі рельєфу [джерело: 32]

ГІС-технології, у поєднанні з дистанційним зондуванням, дозволяють ефективно моніторити зміни в сільськогосподарських ландшафтах, особливо в умовах складного рельєфу, а об'єднання даних лазерного сканування та фотограмметрії дозволяє створювати високоточні цифрові моделі рельєфу для оцінки деградаційних процесів [33].

Крім того, застосування ГІС-технологій у поєднанні з даними від безпілотних літальних апаратів (БПЛА) надають широкі можливості для дослідження крутизни схилів на сільськогосподарських землях. Дрони, обладнані високоточними

камерами, можуть виконувати зйомку з різної висоти, забезпечуючи оптимальне просторове розрізнення знімків [34].

При проведенні знімання з БПЛА необхідно, щоб перекриття між сусідніми знімками (повздовжнє перекриття 70-80%, поперечне 50-60%), що дозволяє створювати якісні ортофотоплани та цифрові моделі місцевості [35].

Процес обробки даних з БПЛА в ГІС включає фотограмметричну обробку знімків у відповідному ПЗ (Pix4D, Agisoft Metashape), де створюється щільна хмара точок, яка потім трансформується в ЦМР і вже отримана модель імпортується в ГІС, де проводиться її подальша обробка та аналіз [36, 37].

Використання БПЛА для картографування культур на складних схилах показало високу точність і ефективність у порівнянні з традиційними методами (рис. 1.9).

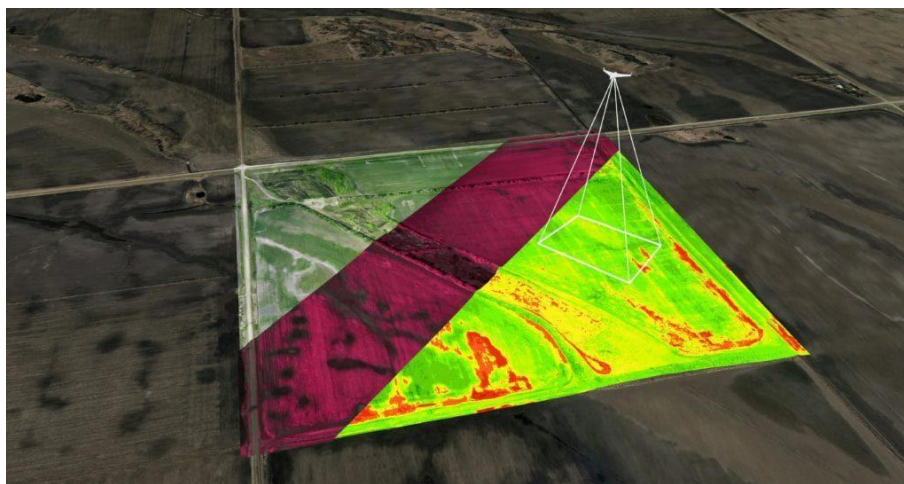


Рис. 1.9. Застосування БПЛА в агропромисловому секторі [джерело: 38]

Геоінформаційні системи, такі як представлений нижче на рис. 1.10 – веб-сервіс OurEnvironment від Landcare Research New Zealand, демонструють значний потенціал для аналізу крутизни схилів на сільськогосподарських землях. Використання подібних онлайн-платформ дозволяє аграріям отримувати детальну інформацію про рельєф місцевості та приймати обґрунтовані рішення щодо землекористування.

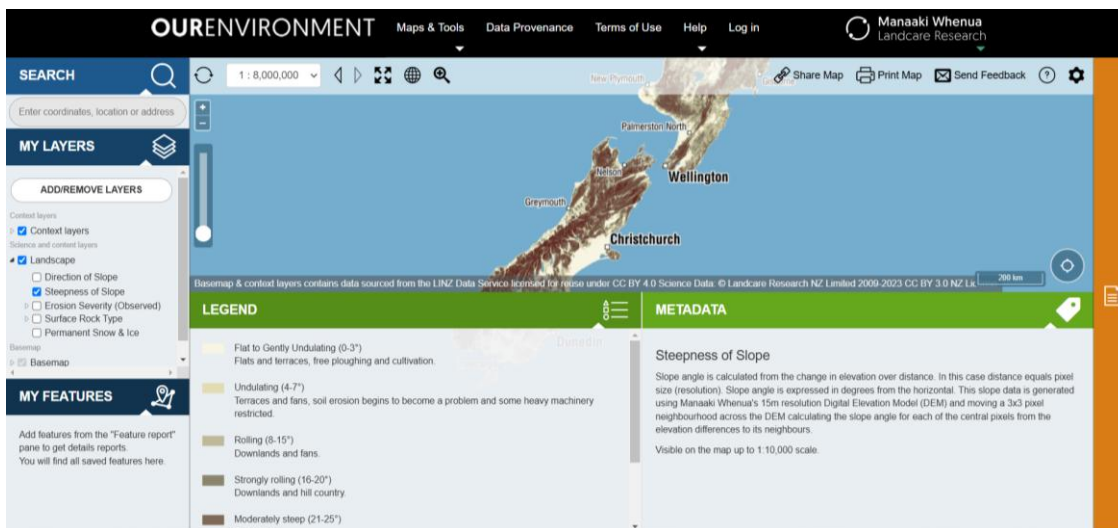


Рис. 1.10. Веб-сервіс OurEnvironment від Landcare Research New Zealand

[джерело: 39]

Перевагою таких систем є можливість візуалізації та аналізу даних про крутизну схилів з високою точністю завдяки використанню цифрових моделей рельєфу. На представленій онлайн-платформі використовується ЦМР з роздільною здатністю 15 метрів, яка забезпечує достатню деталізацію для оцінки ділянок, у цій системі автоматично розраховуються кути нахилу на основі різниці висот між сусідніми точками.

Практичне застосування подібних ГІС-технологій для сільського господарства полягає у можливості оцінки придатності земель для різних видів сільськогосподарської діяльності. Наприклад, система чітко показує зони з пологими схилами ($0 - 3^\circ$), які найкраще підходять для інтенсивного землеробства та використання техніки. Території з помірними схилами ($4 - 7^\circ$) можуть вимагати спеціальних заходів протиерозійного захисту, а ділянки з крутими схилами можуть бути непридатними для орного землеробства [39].

Використання подібних веб-ресурсів спрощує процес моніторингу стану сільськогосподарських земель та прийняття управлінських рішень завдяки можливості швидкого доступу до актуальних даних через інтернет. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни у стані земель та адаптувати методи господарювання відповідно до особливостей рельєфу.

Важливим аспектом застосування ГІС-технологій є можливість моніторингу змін рельєфу в часі та оцінка ефективності протиерозійних заходів. Регулярне оновлення даних та співставлення різночасових ЦМР дозволяє виявляти динаміки ерозійних процесів та вчасно вживати необхідні заходи для збереження родючості ґрунтів [40].

Застосування ГІС-технологій відкриває нові можливості для дослідження крутизни схилів на сільськогосподарських землях. Сучасні геоінформаційні системи дозволяють створювати цифрові моделі рельєфу, проводити просторовий аналіз території, визначати морфометричні характеристики схилів. За допомогою ГІС можна виконати автоматизовану класифікацію земель за крутизною схилів, створити тематичні карти та здійснити планування протиерозійних заходів [41].

Висновки до розділу 1

1. Охарактеризовано поняття та класифікацію сільськогосподарських земель, розглянуто теоретичні основи дослідження крутизни схилів на сільськогосподарських землях та її вплив на землекористування.

2. Проаналізовано законодавче підґрунтя, що регулює використання та охорону земель. Розглянуті основні закони та нормативно-правові акти, які дозволили виокремити ключові аспекти пов'язані з регулюванням питань використання та охорони земель, зокрема питання крутизни схилів.

3. Встановлено, що застосування ГІС-технологій для дослідження крутизни схилів на сільськогосподарських землях відкриває широкі можливості для точного моделювання рельєфу, визначення просторового розподілу схилів різної крутизни та прогнозування ризиків ерозії.

4. Інтеграція теоретичних знань з практичним застосуванням геоінформаційних систем створює ефективний механізм для прийняття обґрунтованих рішень щодо використання сільськогосподарських земель на схилових територіях з метою забезпечення їх збалансованого використання та охорони.

РОЗДІЛ 2. ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРУТИЗНИ СХИЛІВ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЛЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

2.1. Джерела даних для проведення визначення крутизни схилів (ЦМР, супутникові знімки тощо)

Визначення крутизни схилів має велике значення у багатьох наукових і практичних застосуваннях, таких як геоморфологія, гідрологія, планування територій та оцінка ризиків природних катастроф. Для цього використовують різні джерела даних, включаючи цифрові моделі рельєфу (ЦМР), супутникові знімки, дані лазерного сканування тощо.

Джерела даних можна отримати різними методами, які мають свої особливості щодо точності та застосування. Для проведення аналізу використовуються як традиційні методи збору даних, так і сучасні технології ДЗЗ.

Одним із прикладів даних є традиційні топографічні карти (рис. 2.1). Вони слугують базовим джерелом інформації про рельєф місцевості. Топографічні карти являють собою графічне зображення невеликої ділянки земної поверхні, де показано рельєф, гідрографію, населені пункти, дорогу тощо. Головною рисою топографічної карти є горизонталі – умовні криві лінії, що з'єднують точки земної поверхні з однаковими абсолютними (інколи умовними) висотами. За допомогою горизонталей, можна визначити перепади висот та розрахувати крутизну схилів. Для детального аналізу є карти масштабу 1:10 000 та 1:25 000 [42].



Рис. 2.1. Фрагмент топографічної карти

Іншим джерелом, яке дозволяє отримати більш детальну інформацію про рельєф, ніж топографічні карти, є цифрові моделі місцевості (ЦММ) та цифрові моделі рельєфу (ЦМР). ЦММ – це цифрове представлення даних про висоту земної поверхні, включаючи будівлі, рослинність та інші висотні об'єкти, тоді як ЦМР є спрощеною цифровою моделлю, яка відображає лише поверхню рельєфу місцевості (рис.2.2) [43].

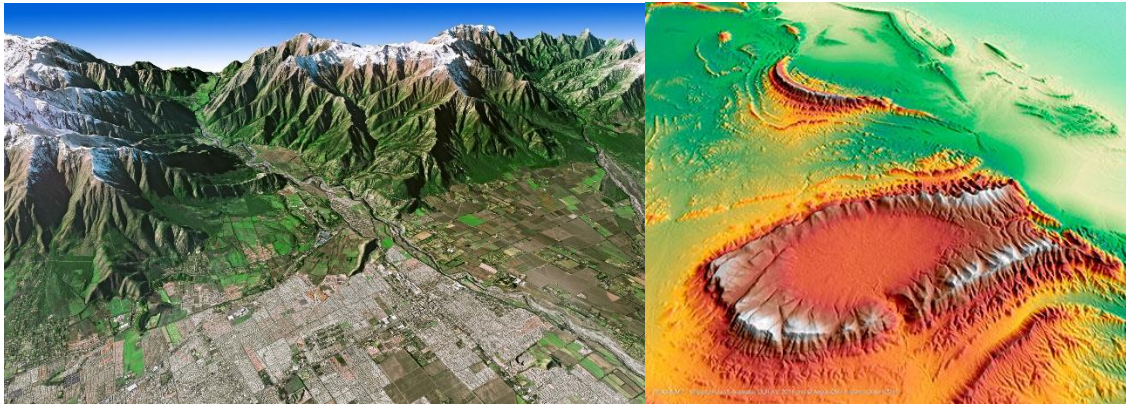


Рис. 2.2. ЦММ та ЦМР [джерело: 43]

До основних типів ЦМР відносять SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) – глобальна цифрова модель висот, яка доступна для публічного використання з 2003 року. Модель являє собою результати радарної топографічної зйомки більшої частини поверхні земної кулі (майже 80% суходолу Землі) [44].

Доступ до інформаційних ресурсів SRTM можливий через декілька відкритих джерел, таких як: USGS Earth Explorer, Nasa Earthdata, OpenTopography, CGIAR-CSI SRTM.

Найбільш популярною онлайн-платформою даних є USGS Earth Explorer, розроблена Геологічною службою США (USGS). За допомогою інтерактивної карти або текстового пошуку користувачі можуть знайти потрібне місцеположення, щоб отримати супутникові зображення Landsat, радіолокаційні дані, дані UAS, цифрові лінійні графіки, дані цифрової моделі рельєфу, аерофотознімки, супутникові дані Sentinel, деякі комерційні супутникові зображення IKONOS та OrbView3, дані про земний покрив і т.п. (рис. 2.3) [45, 46]. Суттєвою перевагою даної платформи є те, що користувач має доступ до значної кількості безкоштовних даних у різних форматах (GeoTIFF, HGT, Shapefile).

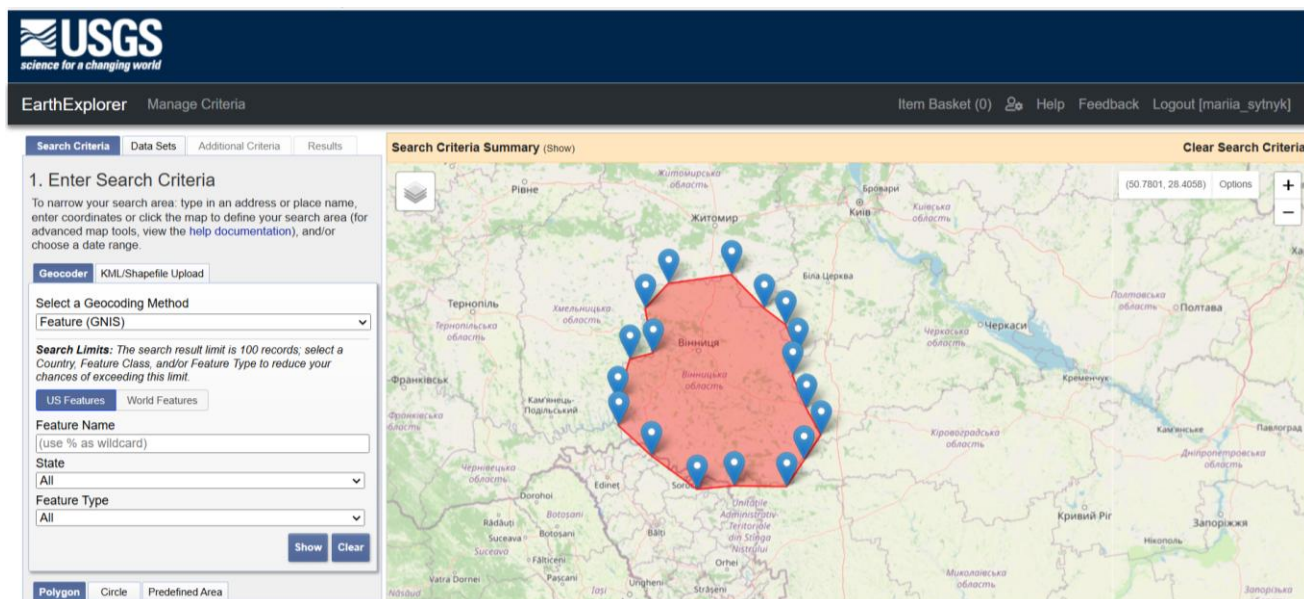


Рис. 2.3. Вікно сервіса EarthExplorer з виділеною областю для пошуку
[джерело: 46]

Завантаживши знімки з платформи USGS Earth Explorer та імпортувавши їх в програмне забезпечення QGIS, ми отримуємо потужний інструментарій для всебічного аналізу рельєфу місцевості (рис. 2.4). На основі представлених шарів відображається кольорова модель висот, де зелені ділянки відповідають нижчим висотам, тоді як червоні та помаранчеві області вказують на підвищення.

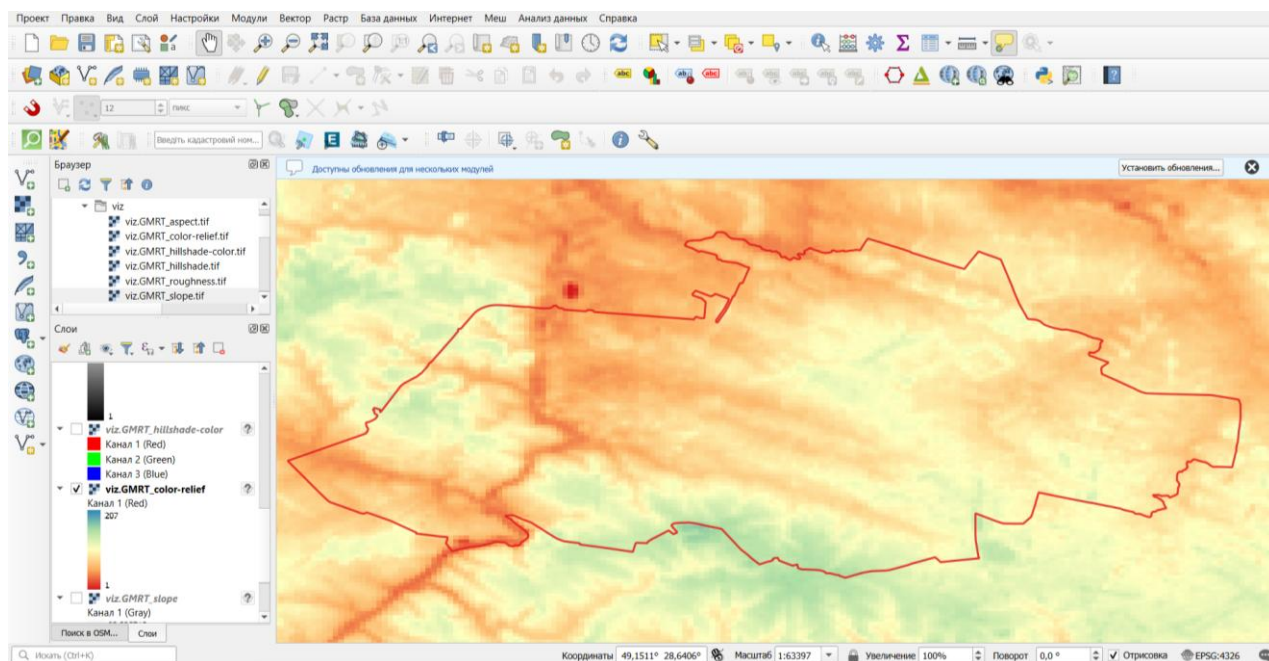


Рис. 2.4. Вікно програми QGIS із доданими до проєкту шарами
завантаженими з сервіса EarthExplorer

Наступною платформою є офіційний портал NASA – NASA Earthdata, який надає доступ до супутникових знімків, метеорологічних, кліматичних, океанографічних та інших геопросторових даних. Даний ресурс користується значним попитом в наукових дослідженнях, моніторингу довкілля тощо (рис. 2.5) [47].

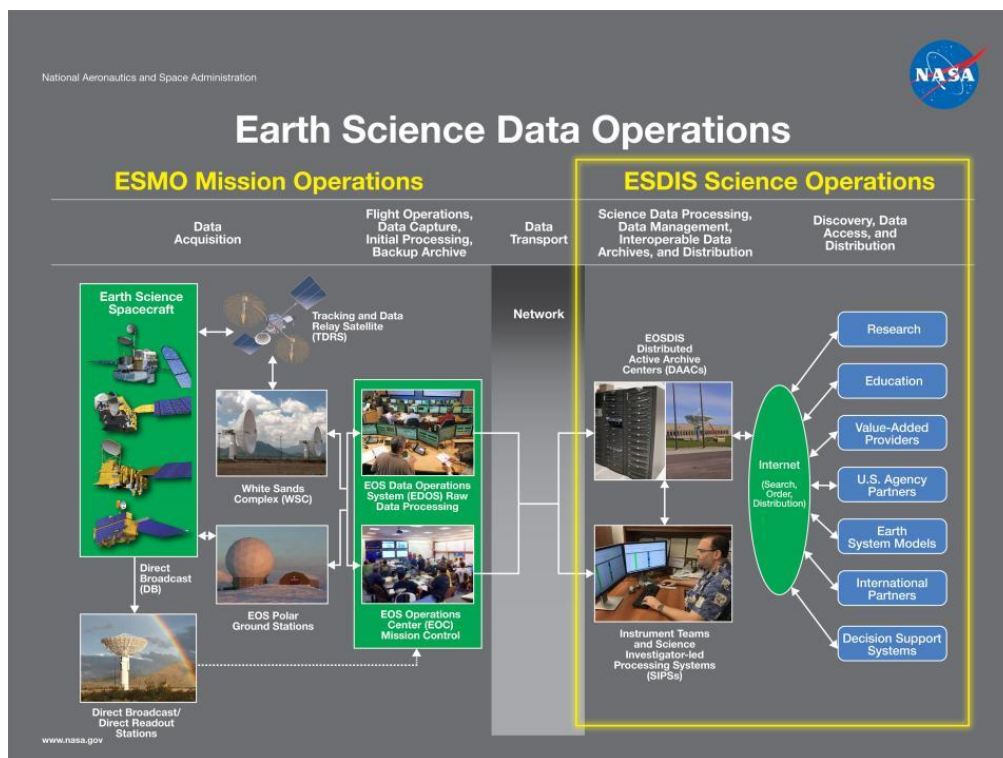


Рис. 2.5. Шляхи, якими дані, отримані супутниками NASA, збираються, обробляються та розповсюджуються [джерело: 48]

NASA Earthdata входить у систему Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS), яка забезпечує доступ до великого масиву супутникових даних, отриманих з місій NASA, NOAA, ESA та інших агентств.

OpenTopography – це зручна онлайн-платформа, що надає доступ до високоточних цифрових моделей рельєфу (ЦМР), даних LIDAR та інших топографічних даних. Це сучасна платформа, яка забезпечує доступ до топографічних даних, інструментів та ресурсів для покращення нашого розуміння поверхні Землі, рослинності та антропогенного середовища (рис. 2.6) [49].

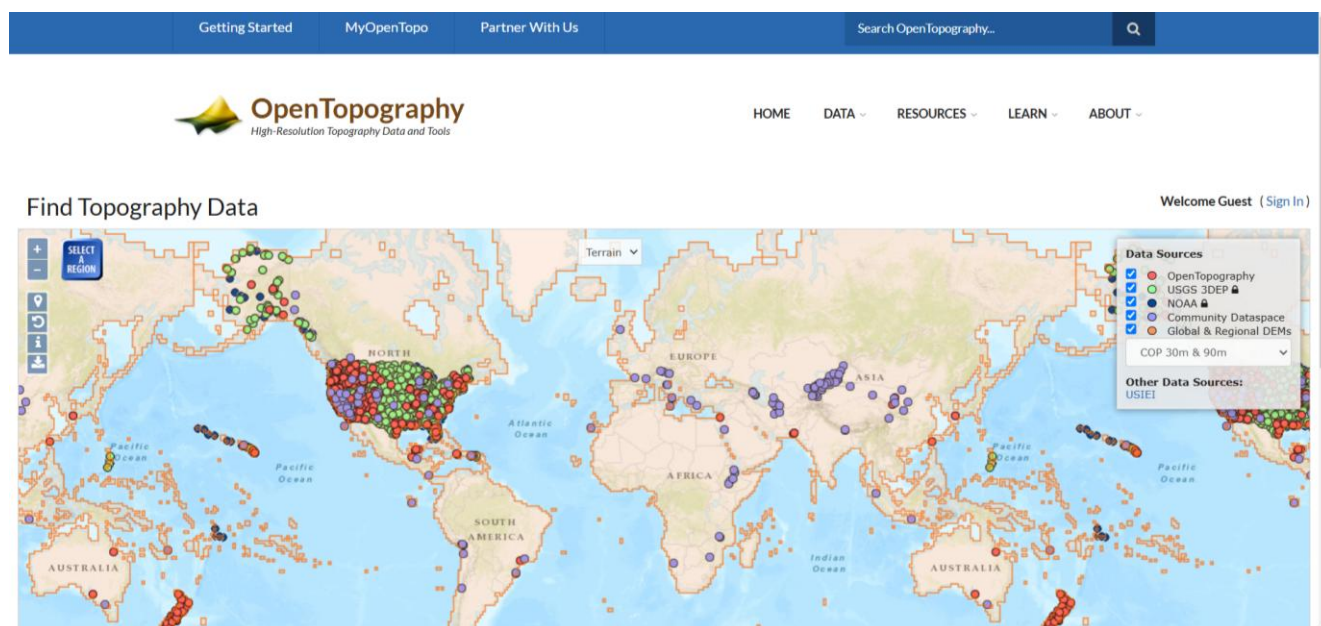


Рис. 2.6. Вікно онлайн-платформи OpenTopography [джерело: 49]

CGIAR-CSI SRTM є глобальною цифровою моделлю рельєфу (ЦМР), створена на основі даних Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), але з покращеною якістю (рис. 2.7). Головна відмінність даної моделі від стандартної SRTM – це корекція помилок, особливо в зонах, де початкові дані містили прогалини, тобто висотні дані були відсутні або некоректні (наприклад, у горах, де високі схили можуть створювати «тіні» для радара, що призводить до втрати частини інформації і пустелях, де в однорідних ландшафтах може бути низький контраст, що ускладнює точність вимірювання).

Тому, CGIAR-CSI розробила методику «void-filled SRTM», яка полягала у заповненні відсутніх висотних даних за допомогою використання таких методів, як:

- інтерполяція сусідніх значень (розрахунок висоти на основі сусідніх точок, застосовували метод bilinear interpolation – просте усереднення сусідні значень; spline interpolation – згладжування поверхні для більш природного рельєфу; kriging – статистичний метод для точнішого заповнення великих прогалин);
- поєднання з іншими ЦМР (наприклад, ASTER GDEM, GTOPO30) [50].

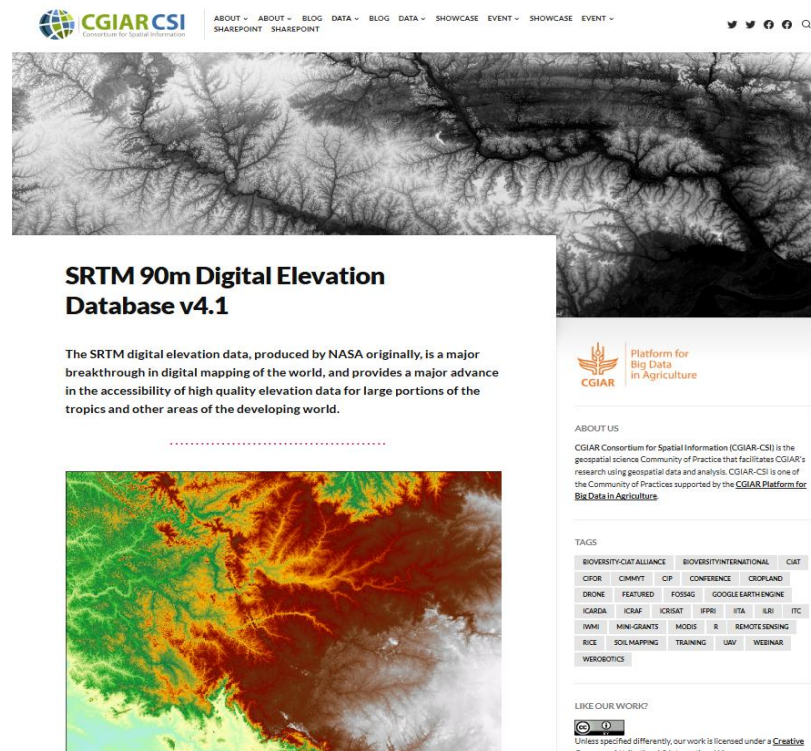


Рис. 2.7. Цифрова база даних висот SRTM [джерело: 50]

Сучасні супутники надають високоточні зображення земної поверхні. Супутники Landsat, Sentinel-2 та комерційні платформи, такі як WorldView або GeoEye, забезпечують зображення високої просторової роздільної здатності. Завдяки таким супутниковим даним можна виявити особливості рельєфу, які залишаються непоміченими під час традиційних наземних спостережень, особливо у важкодоступних районах.

Для перевірки точності та детального картографування невеликих ділянок на додаток до вищезазначених джерел можуть бути використані наземні геодезичні вимірювання, включаючи тахеометричну зйомку та GPS-вимірювання, які забезпечують найвищу точність визначення висот окремих точок місцевості.

Окремо варто згадати лідарне сканування, яке є одним з найбільш точних і детальних способів отримання інформації про рельєф земної поверхні. Технологія лідарного сканування (LIDAR – Light Detection and Ranging) базується на принципі використання лазерних імпульсів для вимірювання відстані до об'єктів на земній поверхні. Система працює шляхом випромінювання лазерних імпульсів з літака, дрона чи наземної платформи та фіксації часу, необхідного для відбиття цих імпульсів від поверхні землі та повернення до сенсора (рис. 2.8) [51].

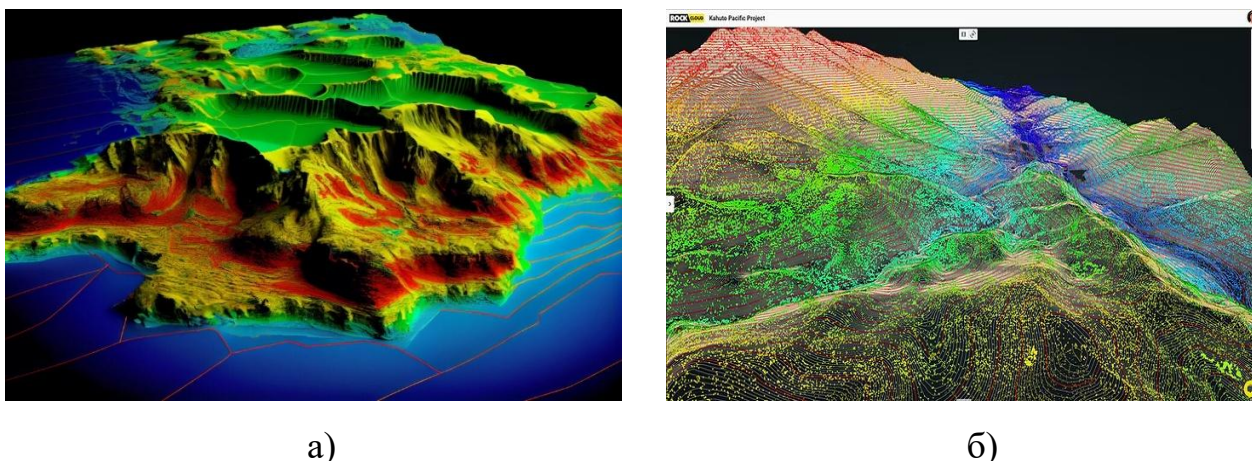


Рис. 2.8. а) зйомка місцевості за допомогою LIDAR, б) зйомка місцевості БПЛА, оснащеними LIDAR [джерело: 77, 78]

На відміну від традиційних методів ДЗЗ, лідар має унікальну здатність – «пробивати» рослинний покрив, що в свою чергу, дозволяє отримувати точні дані про рельєф навіть на заліснених територіях. Ця особливість має критичне значення при дослідженні земель з деревною рослинністю, полезахисними смугами або в межах агролісомеліоративних заходів [52]. Щодо точності лідарних даних при визначенні висот, то вона зазвичай становить від кількох сантиметрів до 15 - 20 см у вертикальному вимірі, що значно перевищує точність супутникових ЦМР, таких як SRTM або ASTER GDEM, які мають похибку в кілька метрів, а горизонтальна роздільна здатність лідарних даних може досягати 0,5 - 1 м, що забезпечує надзвичайно детальне відображення мікрорельєфу і дозволяє виявляти навіть незначні зміни крутизни схилів, дрібні форми рельєфу, такі як яри, промоїни, тераси та інші елементи мікрорельєфу, які можуть бути критичними при плануванні сільськогосподарської діяльності та протиерозійних заходів, що особливо важливим є для територій з складною геоморфологічною структурою, де навіть незначні зміни крутизни можуть суттєво вплинути на водний режим ґрунтів та ризик розвитку ерозійних процесів [53, 54].

Крім цього, особливу цінність лідарні дані представляють при моніторингу змін рельєфу з часом, регулярні лідарні зйомки дозволяють фіксувати динаміку ерозійних процесів та виявляти території з активним розвитком ярів та промоїн, а також оцінювати наскільки ефективним є здійснення протиерозійних заходів.

Але, незважаючи на значні переваги, використання цих даних супроводжується низкою певних обмежень: перше обмеження стосується вартості проведення лідарної зйомки, яка є дещо завищеною, особливо якщо це стосується великих територій; по-друге, для здійснення обробки та аналізу отриманих даних необхідно мати потужні комп'ютерні ресурси та спеціалізоване програмне забезпечення, а також кваліфікованих спеціалістів; по-третє, якість лідарних даних може знижуватись при несприятливих погодних умовах або над територіями з надзвичайно густою рослинністю. Проте, для подолання цих обмежень можливе комбіноване використання лідарних даних з іншими джерелами інформації, такими як супутникові дані або традиційні топографічні карти, наприклад, можна виконати лідарну зйомку на найбільш критичних ділянках сільськогосподарських земель, таких як схили з високим ризиком ерозій, в той час як для інших територій можуть використовуватися менш детальні, але більш доступні джерела даних [55].

Поєднання різних джерел даних дозволяє досягти оптимального співвідношення між точністю, актуальністю та вартістю отримання інформації про рельєф.

2.2. Використання сучасних технологій, алгоритм обробки та аналізу отриманих даних

Геоінформаційні системи (ГІС) відіграють важливу роль у сучасному аналізі просторових даних, картографуванні та управлінні територіями.

Для обробки та аналізу даних, отриманих із ЦМР, супутникових знімків та топографічних карт, використовуються ГІС-платформи, такі як ArcGIS або QGIS. Ці платформи дозволяють швидко обчислювати крутизну схилів, створювати картограми та проводити їх детальний аналіз.

ArcGIS є професійною та комерційною геоінформаційною системою, що пропонує широкий спектр інструментів для просторового аналізу, моделювання та створення карт [56]. Система має безліч вбудованих інструментів, зокрема для

аналізу рельєфу, таких як обчислення крутизни, експозиції, створення профілів місцевості та карт схилів, підтримує велику кількість форматів даних та забезпечує високу якість обробки, що дозволяє досягти точних результатів [57, 58].

Система пропонує розширені можливості для візуалізації результатів аналізу рельєфу, дозволяючи створювати високоякісні тематичні карти з використанням різноманітних методів класифікації даних та налаштування символіки. Особливу увагу слід приділити можливості тривимірної візуалізації в ArcScene та ArcGlobe, за допомогою яких можна створити реалістичну модель рельєфу [59].

ArcGIS також підтримує написання скриптів на мові Python, що розширює можливості автоматизації та дозволяє створювати власні інструменти для аналізу [60].

Результати обчислення ухилів можуть бути використані для різних завдань, таких як моделювання ерозії ґрунту, оцінка придатності земель для сільського господарства, планування будівництва тощо.

Однією з найпопулярніших геоінформаційних систем з відкритим кодом, що надає широкі можливості для аналізу рельєфу місцевості, є QGIS. Ця система поєднує функціональність професійного програмного забезпечення з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, що робить її ідеальним інструментом для геоморфологічних досліджень різного рівня складності [61].

Завдяки вбудованим алгоритмам у QGIS можна обчислювати ухили, експозицію схилів, різні види кривизни поверхні, відносні перевищення та інші параметри [62, 63].

Значною перевагою є інтеграція QGIS з іншими геоінформаційними системами, такими як SAGA GIS та GRASS GIS, що в свою чергу дозволяє використовувати додаткові алгоритми та методи аналізу рельєфу безпосередньо з інтерфейсу QGIS, внаслідок чого розширюються аналітичні можливості системи. Користувач може обирати найбільш відповідні інструменти для виконання конкретних завдань [64, 65].

Також існує можливість комбінувати результати аналізу рельєфу з іншими просторовими даними, до прикладу, це можуть бути геологічні карти, дані про

рослинний покрив, результати ДЗЗ та іншою просторовою інформацією, що значно розширює проведення комплексного аналізу території та дозволяє отримати більш повне уявлення про природні умови та процеси.

QGIS має широкі можливості для візуалізації результатів дослідження. Крім створення тематичних карт, включаючи карти ухилів, експозиції, кривизни поверхні та інших показників, користувач може налаштувати тривимірну візуалізацію рельєфу, що дозволяє краще зрозуміти просторову структуру досліджуваної місцевості [66, 67].

SAGA GIS спеціалізується на аналізі рельєфу та моделюванні природних процесів. Програма містить численні модулі для просторової статистики, геоморфологічного аналізу та гідрологічного моделювання [68]. Підтримує роботу з різними форматами цифрових моделей рельєфу (ЦМР), включаючи дані SRTM, ASTER GDEM та LIDAR та дозволяє виконувати попередню обробку даних, яка передбачає в собі фільтрацію та згладжування поверхні, заповнення відсутніх значень та видалення помилок, також не менш важливим етапом є перепроєкція даних та, за потреби, зміна їх роздільної здатності.

В рамках базового морфометричного аналізу SAGA GIS здатна розраховувати ухили та експозицію схилів, визначити кривизну поверхні, а також обчислювати відносні висоти та глибини. Крім того, програма пропонує інструменти і для складного геоморфометричного аналізу, до якого входить класифікація форм рельєфу, розрахунок різних топографічних індексів та аналіз розчленованості рельєфу [69].

Щодо практичного використання, варто зазначити, що SAGA GIS дозволяє проводити комплексний аналіз території, включаючи оцінку стабільності схилів, визначення потенційних зон затоплення та аналіз ерозійних процесів.

Однією з ключових переваг даної системи є її висока продуктивність при обробці великих наборів даних, а також можливість автоматизації процесів через створення скриптів, що значно прискорює виконання повторюваних операцій.

Проте, незважаючи на всі свої переваги, система має певні обмеження, наприклад, для того, щоб опанувати програму потрібен час, оскільки її інтерфейс

сильно відрізняється від звичного нам ArcGIS чи QGIS, до того ж можуть виникати труднощі при роботі з дуже великими наборами даних, і підтримка векторних даних дещо обмежена порівняно з растровими.

GRASS GIS є потужною ГІС з відкритим кодом, яка підтримує широкий спектр інструментів для обробки та аналізу геопросторових даних [70].

Для розрахунку крутизни схилів система використовує модуль `r.slope.aspect`, який дозволяє обчислювати не тільки крутизну схилів, але й їх експозицію, а також різні види кривизни поверхні [71].

Результати аналізу крутизни схилів у системі можуть бути візуалізовані різними способами. Програма пропонує широкий набір інструментів для створення тематичних карт, які можуть включати градієнтні заливки, ізолінії та тривимірні моделі. Можливість налаштування кольорової схеми та класифікації значень дозволяє створювати наочні та інформативні картографічні матеріали.

На основі отриманих даних про крутизну схилів можна провести класифікацію території за ступенем придатності для різних видів землекористування, оцінити ризики ерозії ґрунтів, планувати протиерозійні заходи і т.п. Результати таких дослідження відіграють важливу роль у сільському господарстві, допомагаючи планувати агротехнічні заходи та оцінювати придатність земель для вирощування різних сільськогосподарських культур.

Процес визначення крутизни схилів представляє собою комплексний багатоетапний процес, який починається з підготовки вихідних матеріалів.

Основою для аналізу слугує ЦМР, яка може бути отримана за допомогою різних відкритих джерел, наприклад, із даних NASA SRTN ASTER GDEM, USGS Earth Explorer тощо, або методів, включаючи ДЗЗ, лідарну зйомку або топографічне знімання. Після отримання ЦМР виконують її попередню обробку, до якої входить фільтрація шумів та виправлення можливих помилок вимірювання, приведення до єдиної системи координат, це виконується для того, щоб в подальшому отримані розрахунки були коректними.

Після отримання ЦМР та її попередньої обробки переходять до безпосереднього розрахунку крутизни схилів, використовуючи геоінформаційні

системи, такі як QGIS або ArcGIS, які, в свою чергу, за допомогою вбудованих інструментів аналізують зміну висоти між сусідніми пікселями.

Наступним етапом є класифікація отриманих даних для візуалізації та подальшого аналізу, яка включає розрахунок ухилів поверхні в градусах та їх розподіл за встановленими категоріями. Одночасно визначається експозиція схилів, їх довжина та форма. Статистичний аналіз дозволяє розрахувати площі земель за категоріями схилів, визначити середні показники крутизни та проаналізувати розподіл схилів за експозицією.

На основі отриманих даних створюються картограми або тривимірне представлення результатів, яке передбачає створення об'ємної моделі рельєфу з накладанням тематичних шарів та можливістю побудови профілів місцевості. Зазвичай, картограма крутизни схилів може бути розроблена на основі векторизації даних щодо рельєфу досліджуваної місцевості.

Завершальний етап присвячений контролю якості та документуванню результатів. Проводиться ретельна перевірка точності отриманих даних шляхом порівняння з наземними вимірюваннями, готується звіт, після чого розробляються детальні рекомендації щодо використання земель з урахуванням особливостей рельєфу території [63, 72].

2.3. Критерії оцінки та класифікація крутизни схилів на основі отриманих даних

Критерії оцінки та класифікація крутизни схилів на сільськогосподарських землях базується на комплексному аналізі рельєфу місцевості та його впливу на землекористування.

Особливу увагу при оцінці приділяють експозиції схилів, яка має значний вплив на режим зволоження та температурний режим ґрунту. Експозицією схилів визначає розташування схилів гірських хребтів, горбів і інших елементів рельєфу по відношенню до сторін світу або переважаючих вітрів [73]. Це означає, що

південні схили отримують найбільшу кількість сонячної радіації, швидше прогріваються навесні, мають довший вегетаційний період, проте схильні до пересихання ґрунту. На таких схилах швидше відбувається сніготанення, що збільшує ризик водної ерозії. Щодо північних схилів, то вони отримують менше сонячної радіації, характеризуються нижчими температурами, повільнішим сніготаненням, кращим зволоженням ґрунту, але у порівнянні з південними схилами мають коротший період вегетації. Східні схили є помірно освітленими, добре прогріваються вранці, мають сприятливий водний режим, а західні схили отримують більше тепла саме у другій половині дня та часто піддаються впливу західних вітрів, в результаті чого може відбуватися вітрова ерозія [74].

Не менш важливим критерієм оцінки є довжина схилу, яка може суттєво вплинути на інтенсивність ерозійних процесів. Якщо схил довгий, то на ньому повинні виконуватися додаткові протиерозійні заходи навіть при відносно невеликій крутизні [75].

Окрім довжини враховують і форму схилу – опукла, увігнута чи пряма, що в свою чергу впливає на характер та інтенсивність поверхневого стоку. Наприклад, якщо схил прямий, то на ньому відбувається рівномірний розподіл стоку по всій довжині, для опуклих схилів характерним є збільшення крутизни донизу, що призводить до прискорення водного потоку та посилення ерозії в нижній частині, а увігнуті схили характеризуються зменшенням крутизни донизу, через що відбувається відкладення змитого ґрунту в нижній частині схилі [5]. Складні схили поєднують різні форми і потребують комплексний підхід до протиерозійного захисту різних частин схилу.

При визначенні протиерозійних заходів необхідно враховувати взаємодію всіх трьох характеристик. Якщо ми маємо довгий опуклий схил південної експозиції, то він матиме максимальну ерозійну небезпеку та потребує найбільш інтенсивних заходів захисту, оскільки на такий схил припадає більше сонячного випромінювання, що призводить до швидшого висихання ґрунту та зменшення його стійкості до вітрової та водної ерозії, тоді як короткий увігнутий схил північної експозиції буде менш вразливим до ерозії та потребуватиме менш

інтенсивних заходів, бо на нього припадає менша кількість сонячної радіації, що спричиняю збереження вологи в ґрунті.

Щодо класифікації крутизни схилів, то найбільш поширеною є класифікація, яка передбачає поділ схилів за ступенем крутизни на кілька основних категорій, кожна з яких має свої особливості використання та обмеження (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Класифікація схилів за крутизною поверхні

Характер схилу	Крутизна, град
Дуже пологий	0 - 1°
Пологий	1 - 3°
Покатий	3 - 5°
Сильно покатий	5 - 10°
Крутий	10 - 20°
Дуже крутий	20 - 45°
Обривистий	> 45°

Для ефективного використання території залежно з урахуванням особливостей рельєфу землі поділяють на три еколого-технологічні групи (ЕТГ), які враховують особливий режим використання залежно від ухилу поверхні (табл. 2.2).

Таблиця 2.2.

Класифікація орних земель

Група земель	Крутизна схилів	Тип ґрунтів	Підгрупи	Рекомендоване використання	Забороони та особливості
I	до 3°	Повнопрофільні, слабоеродовані	I-а рівнинні (до 1°) I-б схилові (1-3°)	Вирощування всіх культур, у т.ч. просапних. Інтенсивні зерно-паропросапні сівозміни	Для 1-б обов'язковий обробіток і посів поперек схилу або контурно. Баланс гумусу, азоту, фосфору, калію – бездефіцитний
II	3 - 5°	Слабо- і середньозмиті	II-а без улоговин II-б з улоговинами	II-а: зерно-трав'яні сівозміни; II-б: трав'яно-зернові сівозміни або консервація	Заборонено чисті пари і просапні культури. Насичення сівозмін багаторічними травами до 50%

Продовження табл. 2.2.

III	понад 3 - 5°	Середньо- і сильнозмиті; грунти на елювії твердих та піщаних порід	-----	Виведення з обробітку. Залуження або заліснення	Виключаються зі складу орних земель
------------	-----------------	--------------------------------------------------------------------------------	-------	----------------------------------------------------------	-------------------------------------------

**Складено на основі [76]*

Орні землі розподіляють на три основні ЕТГ.

Перша ЕТГ об'єднує повнопрофільні і слабоеродовані ґрунти, розташовані на рівнинах і схилах до 3° характер рельєфу і якісний стан ґрунтового покриву яких дозволяє вирощувати всі культури, включаючи і просапні.

У межах першої ЕТГ виділяють дві технологічні групи:

I-а – рівнинні землі (схили до 1°), на яких не має обмежень у виборі напрямку механічного обробітку ґрунту і сівби;

I-б – схиліві землі (крутизна 1 -3°) і ділянки з ухілами до 1° в середній і нижній частині водозбору в Степовій і Лісостеповій зонах з великими водозбірними площами, на яких обов'язковий обробіток ґрунту і посів сільськогосподарських культур поперек схилів або контурно з допустимим ухилом до горизонталей місцевості.

У сівозмінах першої ЕТГ розміщують інтенсивні зерно-паро-просапні сівозміни з максимальним насиченням просапними культурами. Вирощування всіх культур доцільно здійснювати за інтенсивними ґрунтозахисними технологіями за умови бездефіцитного балансу гумусу, азоту, фосфору і калію в сівозмінах.

До **другої ЕТГ** відносяться землі розміщені на схилах 3 - 5° з слабо- і середньозмитими ґрунтами. На таких угіддях запроваджуються ґрунтозахисні зерно-трав'яні і трав'яно-зернові сівозміни, що мають високу ґрунтозахисну здатність. Розміщення парів і просапних культур на землях другої ЕТГ не допускається. Відтворення родючості ґрунтів досягається за рахунок насичення сівозмін багаторічними травами до 50%, запровадження протиерозійних технологій обробітку ґрунту.

Для диференціації щільності протиерозійних заходів, включаючи агротехнічні, корегування ґрунтозахисних сівозмін (за ступенем насичення багаторічними травами) землі другої ЕТГ поділяються на дві підгрупи:

П-а – землі з крутизною схилів 3 - 5° без чітко сформованих улоговин, використовуються під зерно-трав'яні сівозміни;

П-б – землі з крутизною схилів 3 - 5° пересічені улоговинами з середньо- і сильнозмитими ґрунтами, використовуються під трав'яно-зернові сівозміни або вилучаються з обробітку і зі складу орних земель під консервацію.

До земель *третьої ЕТГ* відносяться схили крутизною понад 3 - 5°, з середньо- та сильнозмитими ґрунтами, а також з середньозмитими ґрунтами на елювії твердих та піщаних порід. Їх виводять з обробітку і зі складу орних під залуження або заліснення.

Розподіл орних земель на еколого-технологічні групи проводиться на основі картографічних матеріалів, таких як плани землекористування з нанесеними горизонталями рельєфу, зазначеною крутизною схилів у градусах та межами ареалів агровиробничих груп ґрунтів [76].

На основі комплексної оцінки всіх критерії розробляються рекомендації щодо раціонального використання земель, включаючи вибір оптимальних сівозмін, систем обробітку ґрунту та необхідних меліоративних заходів. За допомогою такої класифікації відбувається оптимізація землекористування та забезпечення збереження родючості ґрунтів на схилових ділянках.

Дослідження крутизни є актуальним і необхідним, оскільки чим більша крутизна схилу, тим інтенсивніше відбувається змивання ґрунту під дією води та вітру. Це призводить до втрати родючого шару, погіршення якості ґрунтів та, як наслідок, зниження врожайності сільськогосподарських культур. Крім того, на крутих схилах ускладнюється механізований обробіток ґрунту, обмежується застосування систем зрошення та осушення, що в свою чергу призводить до підвищення собівартості сільськогосподарської продукції.

Висновки до розділу 2

1. Описано основні джерела даних, такі як цифрові моделі рельєфу, супутникові знімки, дані лідарного знімання тощо, що використовується для аналізу рельєфу.

2. Розглянуто сучасні технології, алгоритм та аналізу обробки просторових даних, які дозволяють визначити крутизну схилів.

3. Досліджено критерії оцінки та класифікацію крутизни схилів на основі отриманих результатів, що забезпечує можливість їх подальшого використання у сільськогосподарському плануванні та управлінні земельними ресурсами.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПІДХОДІВ АНАЛІЗУ КРУТИЗНИ СХИЛІВ НА ПРИКЛАДІ ВІННИЦЬКОЇ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

3.1. Характеристика обраної ділянки дослідження (географічне розташування, основні особливості)

Вінницька область розташована в лісостеповій зоні на південному заході України, охоплюючи територію Подільської та Придніпровської височин. Її протяжність становить 196 км із заходу на схід і 200 км із півночі на південь. На півночі область межує з Житомирською, на сході – з Київською, Черкаською та Кіровоградською областями, на півдні – з Одеською областю та Республікою Молдова, на заході – з Хмельницькою областю, на південному заході – з Чернівецькою областю.

Подільська та Придніпровська височини розділені долиною Південного Бугу, яка має хвилястий рельєф. Поєднання височин і низин створює різноманітний ландшафт та спричиняє відмінності у мікрокліматичних умовах (рис. 3.1).

Придніпровська височина виконує роль вододілу між притоками Дніпра та Південного Бугу. Її абсолютні висоти в межах області варіюються від 290 м (м. Хмільник) до 345 м (м. Козятин), а схили порізані річковими долинами, ярами та балками [79].

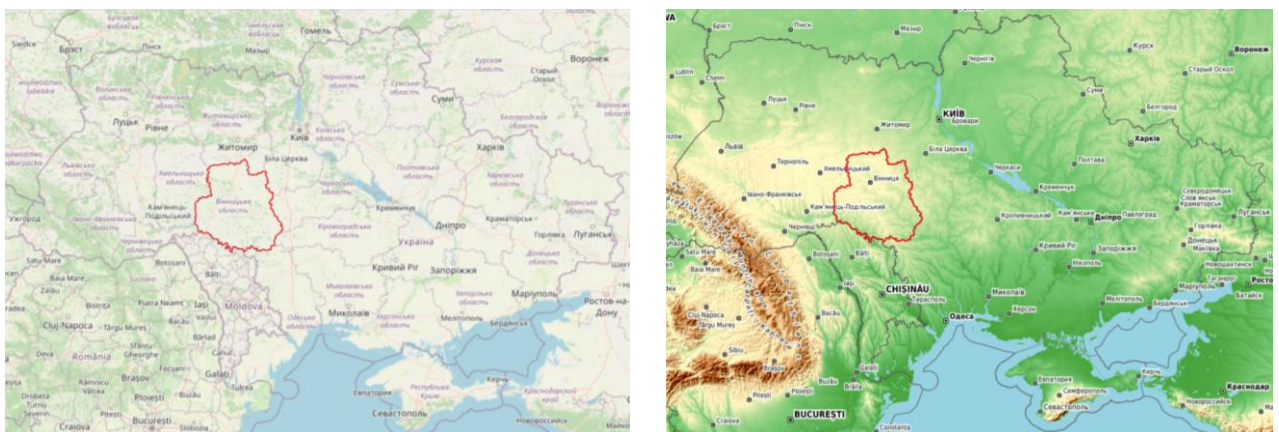


Рис. 3.1. Географічне розташування Вінницької області

Територія Вінницької області складає 2649,2 тис. га (4,4% від площі України). Більша частина території (76,03% від загальної площі) зайнята сільськогосподарськими землями (рис.3.2).

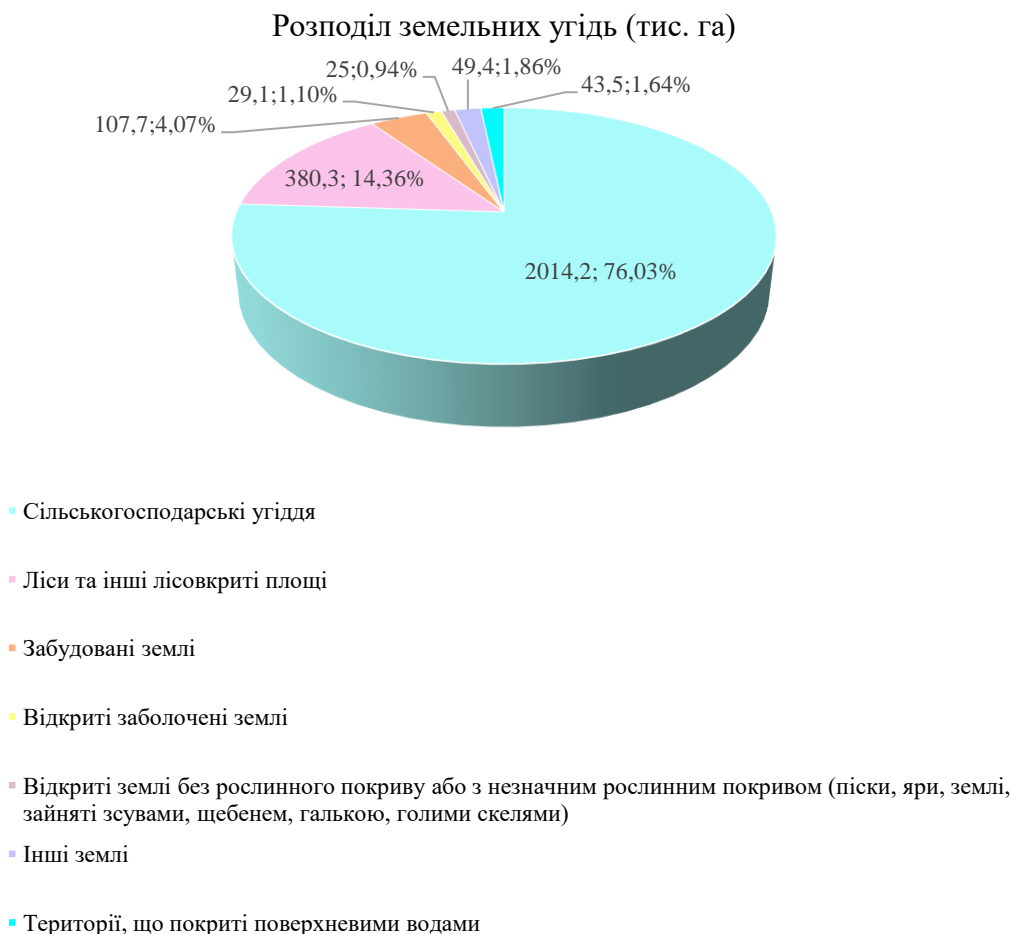


Рис. 3.2. Структура земельного фонду Вінницької області

[складено на основі джерела 79]

Приблизно 25% (672,8 тис. га) усіх сільськогосподарських угідь зазнають впливу водної ерозії, 7% (179,7 тис. га) потерпають від вітрової ерозії, кислих ґрунтів – 57% (1511,0 тис. га). Серед основних причин виникнення та розвитку ерозійних процесів є нерациональне землекористування, зокрема, цьому сприяють інтенсивне розорювання схилів (з ухилом понад 3°) із вирощуванням просапних культур, особливо цукрових буряків, відсутність комплексного підходу до проведення протиерозійних заходів і перенасичення просапними культурами структури посівних площ. Через таке використання земельних ресурсів відбувається втрата родючості ґрунтів, що в свою чергу впливає на зниження

врожайності сільськогосподарських угідь, погіршення якості продукції, економічні втрати аграрного сектору, ризики продовольчої безпеки.

Загалом у межах області потребують консервації 737,3 тис. га деградованих і малопродуктивних земель, що становить 27,8% від загальної площі території [79].

Територія Вінницької міської територіальної громади розташована у центральній частині Вінницької області.

Складається з громад: Вінницької, Вінницькохутірської, Великокрушлинецької, Гавришівської, Деснянської, Малокрушлинецької, Писарівської, Стадницької територіальних громад (рис. 3.3) [80].

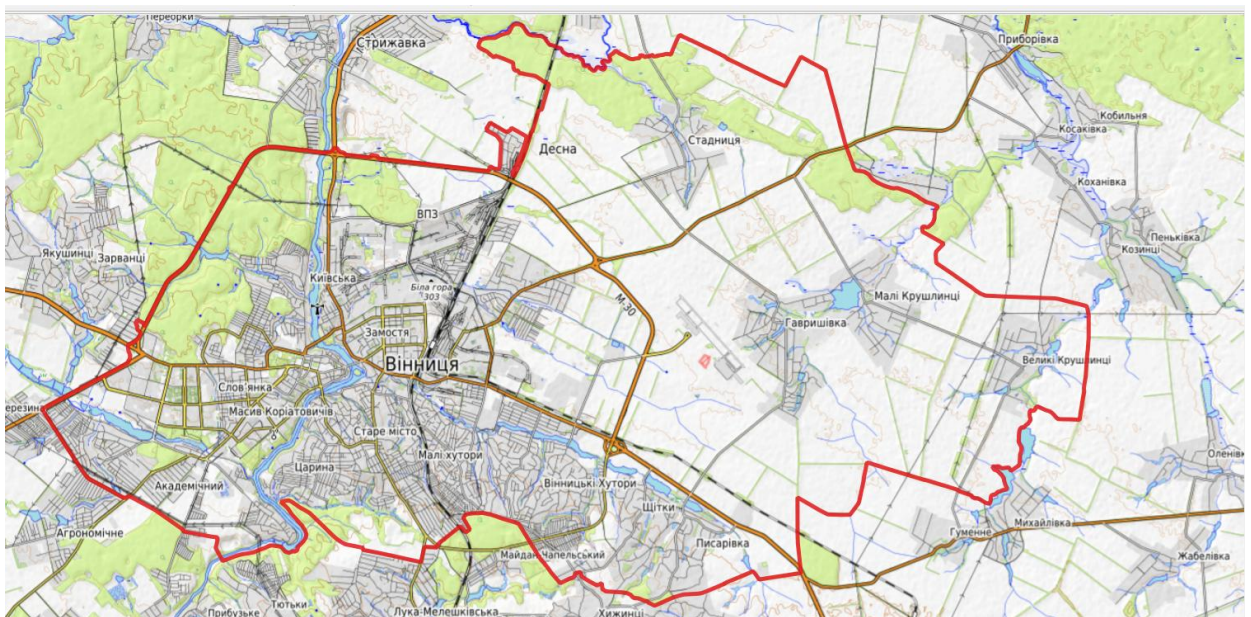


Рис. 3.3. Адміністративно-територіальні межі Вінницької міської територіальної громади

Площа Вінницької міської територіальної громади становить $\approx 25\,6344,4$ га. Загальна площа сформованих земельних ділянок на території громади складає 19 105,21 га (75%) та несформованих відповідно 6 528,23 га (25%).

Щоб отримати повне уявлення про земельні ресурси Вінницької міської територіальної громади важливо оцінити загальну структуру земельного фонду громади. На рис. 3.4 представлено категорії земель, які складають територію громади, демонструючи повну картину землекористування та розподілу земельних ресурсів.



Рис. 3.4. Структура категорій земель громади [складено на основі джерела 81]

На основі даних категорій земель громади можемо спостерігати, що більше 50% території займають землі сільськогосподарського призначення. Формування такої структури відбулося внаслідок об'єднання громад, що відкрило нові перспективи розвитку території. Зокрема, з'явилися додаткові можливості для створення та розширення фермерських і особистих селянських господарств, а також для створення підприємств з виробництва та переробки сільськогосподарської продукції.

Для ілюстрації просторового розподілу угідь на території дослідження у Додатку А подано тематичну схему розміщення сільськогосподарських земель у межах Вінницької міської територіальної громади. Ця схема відображає особливості структури землекористування, виділення ріллі, сіножатей, пасовищ, а також їхнє розташування відносно меж громади, водних об'єктів тощо.

Громада має 13 сільськогосподарських підприємств, 14 фермерських господарств, 9500 особистих селянських господарств [82].

Для кращого розуміння потенціалу сільськогосподарського землекористування Вінницької міської територіальної громади на рис. 3.5 представлено структуру земель сільськогосподарського призначення.

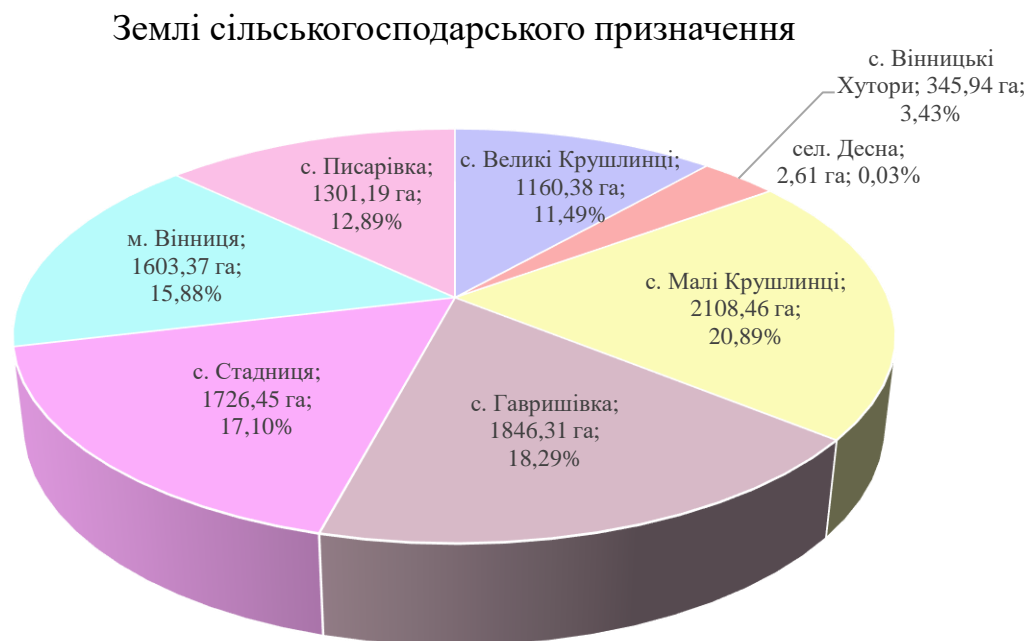


Рис. 3.5. Структура земель сільськогосподарського призначення

Вінницької міської територіальної громади [складено на основі джерела 81]

У ґрунтовому покриві досліджуваної території переважають ґрунти таких агропромислових груп, як 41д – чорноземи опідзолені і слабореградовані та темно-сірі сильнореградовані середньосуглинкові ґрунти та 53д – чорноземи типові малогумусні та чорноземи сильнореградовані середньосуглинкові (додаток Б). Ці групи займають відповідно 58,44% та 19,08% площі сільськогосподарських угідь громади.

Ґрунтовий покрив представлений в основному чорноземами різної ступені еродованості (додаток В), які мають високу родючість, проте схильні до деградаційних процесів під впливом антропогенної діяльності.

Важливим фактором, який впливає на сільськогосподарське використання території, є ерозійні процеси (додаток Г), які зумовлені як природними чинниками, так і нераціональним землекористуванням.

Рівень розораності сільськогосподарських земель громади становить 93,01%, а коефіцієнт ріллі до екологічно стійких сільськогосподарських угідь – 13,32, що свідчить про вкрай високий рівень антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив агроландшафту громади.

Загалом, землекористування на Вінниччині характеризується високим рівнем розораності схилів земель, розширенням посівних площ просапних культур, недостатньо обґрунтованою широкомасштабною меліорацією перезвожених, заболочених земель, нехтуванням науково-обґрунтованими ґрунтозахисними сівозмінами, впровадженням індустріальних технологій вирощування сільськогосподарських культур, що викликало відчутне зменшення площ, зайнятих природними рослинними угрупованнями (луками, лісами, болотами) при одночасному збільшенні питомої ваги освоєних сільськогосподарських угідь, насамперед ріллі [83].

3.2. Проведення аналізу крутизни схилів на прикладі Вінницької міської територіальної громади

Сільськогосподарські землі виявлялися шляхом аналізу наявних даних у Державному земельному кадастрі, станом на кінець 2021 року, а також досліджувались матеріали з доступних джерел, зокрема супутникові знімки.

Для геоінформаційного дослідження крутизни схилів масивів сільськогосподарських земель частини Вінницької міської територіальної громади було використано дані про контурні (висотні) ізолінії, надані Державним науково-виробничим підприємством «Картографія».

Спочатку, для виконання дослідження, у програмне забезпечення QGIS було завантажено файл формату .shp, який містив в собі горизонталі досліджуваної території (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Одержання горизонталей

На наступному кроці за допомогою інструменту «Перетворити геометрію» (обравши тип геометрії «Точки») було створено точковий шар з горизонталей, далі в атрибутивну таблицю точкового шару додано нові поля для координат (X, Y) і висот (Z). Значення координат було автоматично заповнено за допомогою функції калькулятора полів: $x(\$geometry)$ для X і $y(\$geometry)$ для Y, значення висот було перенесено за допомогою інструментів аналізу.

Для перетворення векторних ізоліній у растр застосовуємо інструмент GRASS v.to.rast. Важливо правильно налаштувати параметри роздільної здатності растру і вибрати відповідний атрибут для значень пікселів (рис. 3.7)

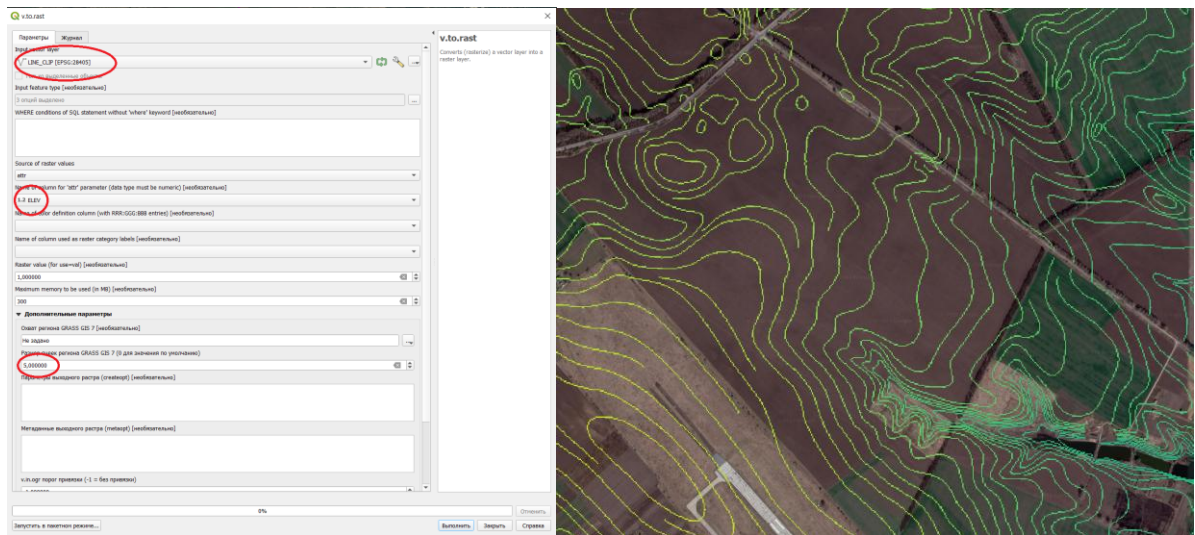


Рис. 3.7. Застосування функції GRASS v.to.rast для перетворення рельєфу в растр

Для того, щоб виконати генерацію ЦМР на основі растру ізоліній використовуємо інструмент GRASS r.surf.contour. Цей інструмент інтерполює висоти між ізолініями для створення суцільного рельєфу (рис. 3.8)

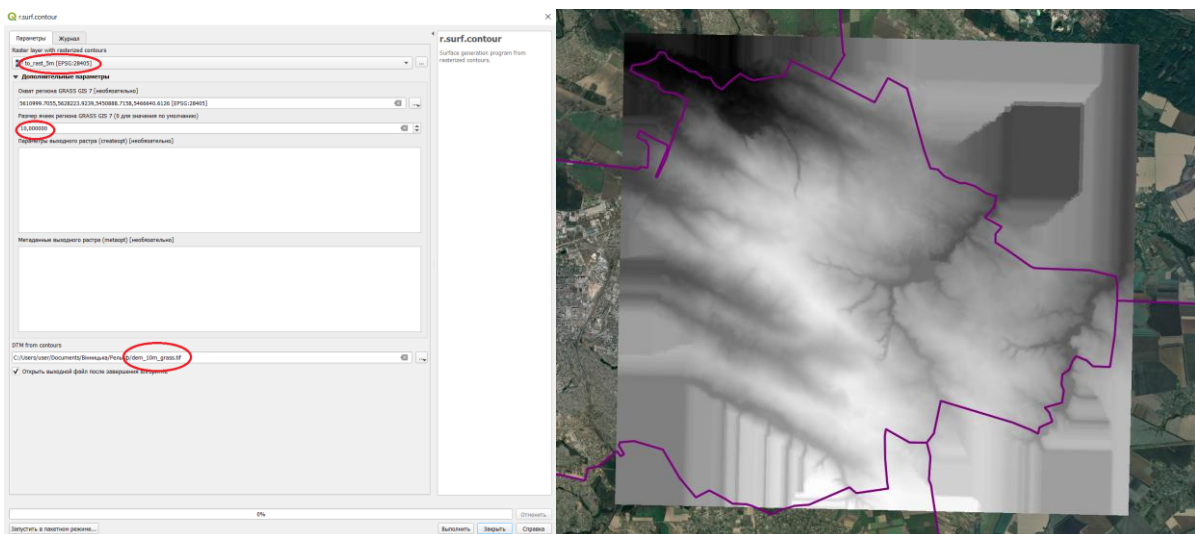
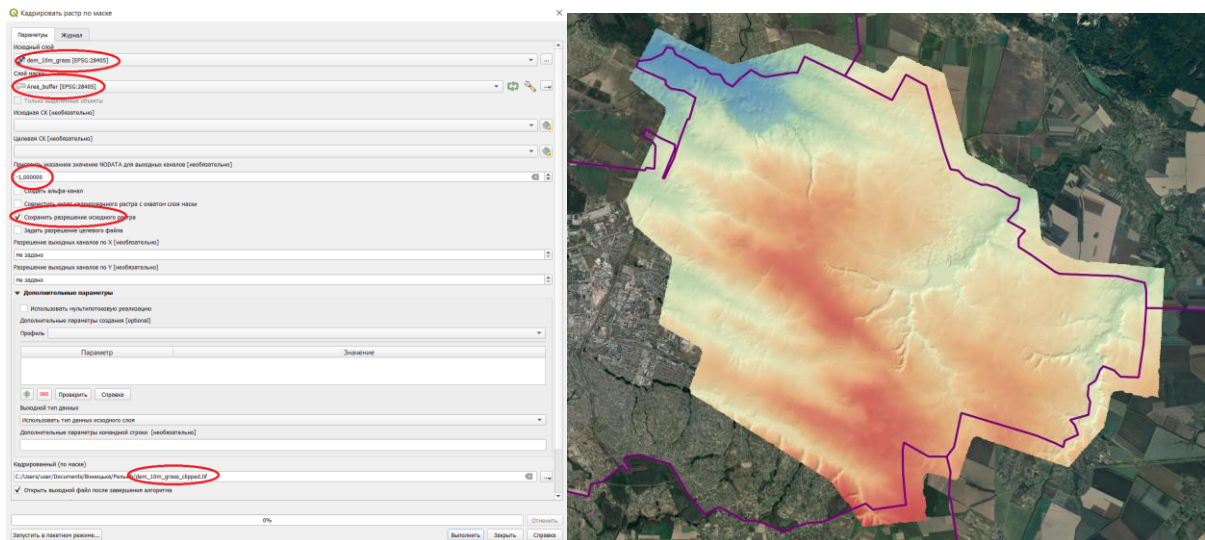


Рис. 3.8. Застосування функції GRASS r.surf.contour для створення ЦМР (Digital elevation model – DEM)

За допомогою функції «Extract raster by mask» (Витягти растр за маскою) виконуємо обрізання растру (рис. 3.9). Ця функція дозволяє залишити ту частину растру, яка відповідає межах необхідної нам території.



**Рис. 3.9. Кадровання растру ЦМР за маскою території
(extract raster by mask)**

Переходимо до наступного кроку – визначення експозиції схилів. Це параметр, що відображає напрямок нахилу поверхні, що є важливим для аналізу обсягів сонячної енергії, яка досягає поверхні. Для цього використовуємо інструмент «r.slope.aspect» (рис. 3.10).

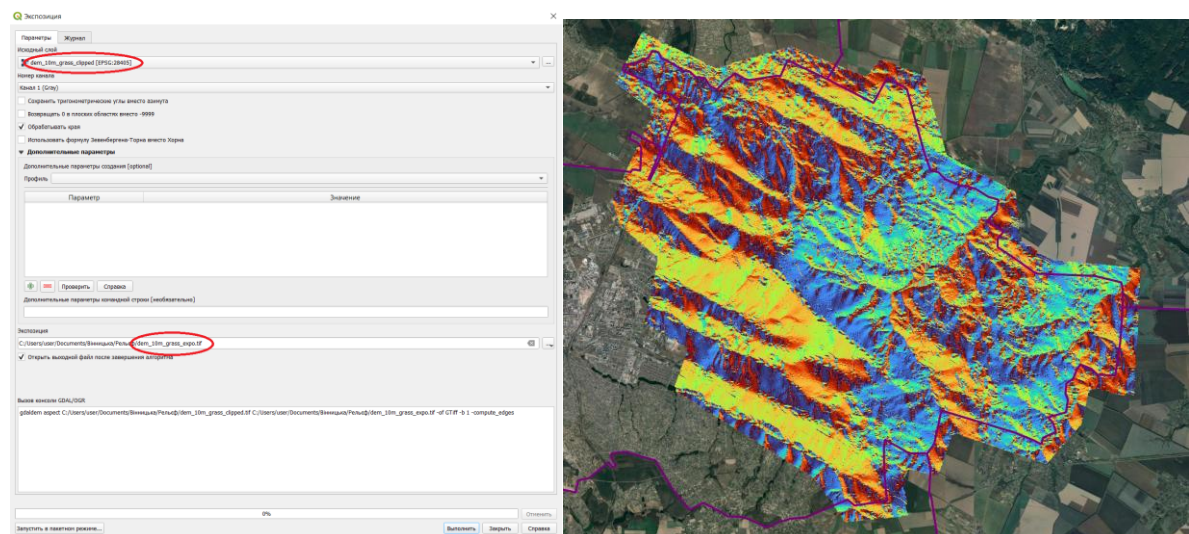


Рис. 3.10. Визначення експозиції схилів (aspect), що прямо впливає на обсяги сонячної енергії, яка потрапляє на сільськогосподарські культури

Далі визначаємо крутизну схилів – параметр, що характеризує ухил поверхні та впливає на придатність земель для вирощування різних сільськогосподарських культур (рис. 3.11).

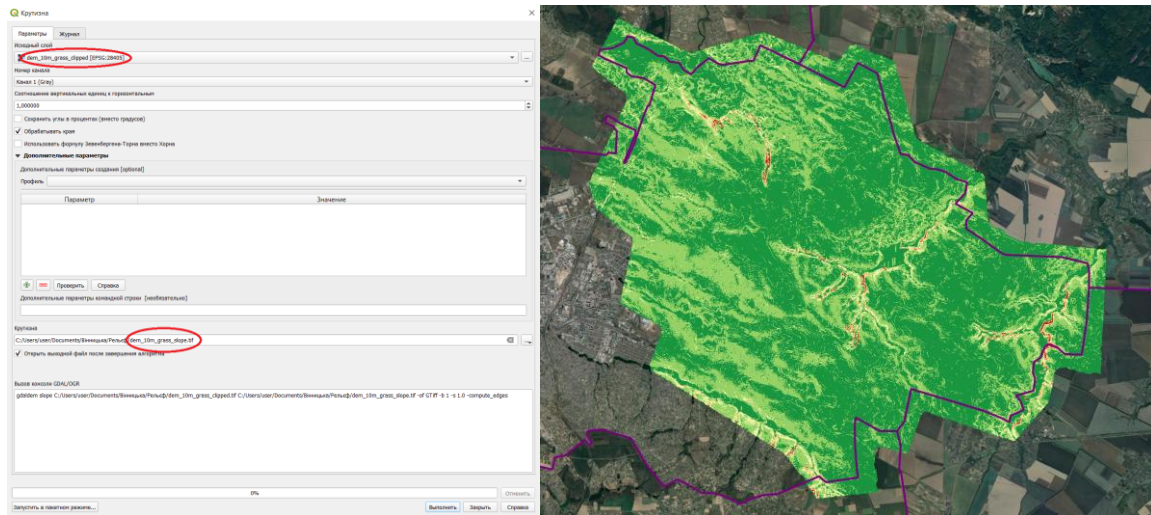


Рис. 3.11. Визначення крутизни схилів (slope), що зумовлює обмеження у використанні земель

Для оцифрування масивів сільськогосподарських земель переводимо масиви в систему координат УСК 2000.

У меню інструментів обираємо інструмент «SAGA Convert Lines to Polygons», яка дозволяє конвертувати лінії в полігони, забезпечуючи коректність геометрії.

Щоб виявити та виправити помилки в геометрії полігонів, необхідно скористатися інструментами «Check Validity» та «Fix Geometries» через панель інструментів геометрії (рис.3.12).

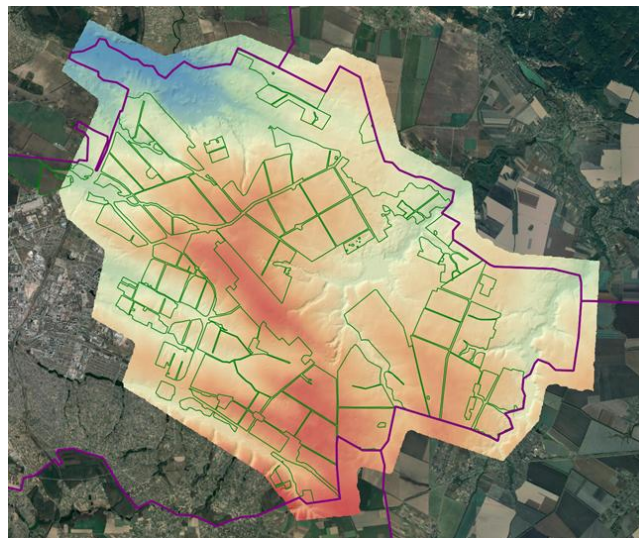


Рис. 3.12. Оцифрування масивів сільськогосподарських земель

створює таблицю, яка містить інформацію про площі різних категорій крутизни схилів (рис. 3.15).

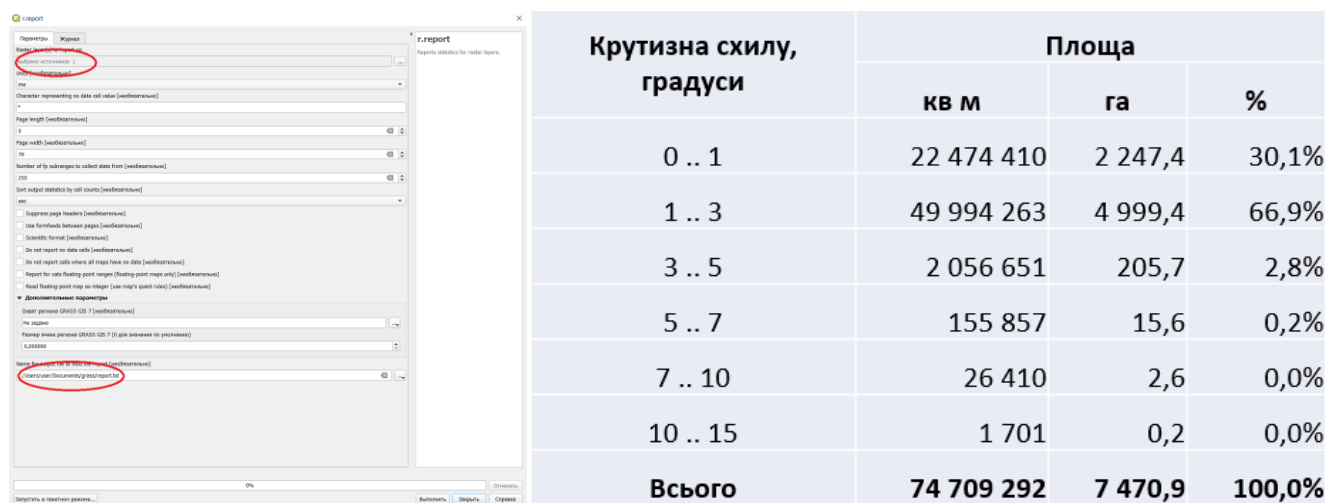


Рис. 3.15. Калькуляція звіту з крутизни схилів у масивах з функцією GRASS r.report

3.3. Аналіз отриманих результатів: визначення крутизни схилів та її вплив на можливість сільськогосподарського використання земель

За результатами співставлення картограми крутизни схилів та ідентифікованих орних земель було визначено крутизну схилів аграрних ландшафтів і на основі цих даних сформовано еколого-технологічні групи земель та виділено землі, розорані на схилах, крутизна яких не передбачає їх інтенсивного сільськогосподарського використання (Додаток Д).

Дослідження крутизни схилів, на яких розташовані орні землі показало, що 96,6% орних земель розташовані на схилах крутизною до 3° і відносяться до I еколого-технологічної групи (ЕТГ), орні землі, які розташовані на схилах крутизною від 3° до 5° складають 3,0% та належить до II ЕТГ, і відповідно лише 0,4% земель розташовані на схилах крутизною понад 5° та належать до III ЕТГ.

Ці землі розташовані переважно вздовж ярів у східній частині досліджуваної території навколо села Великі Крушлинці.

У підгрупі I-а першої ЕТГ, до якої входять орні землі, розташовані на схилах крутизною до 1°, через найнижчий рівень ерозійної небезпеки відсутні екологічні та технологічні обмеження. Дана група земель потребує лише полезахисної меліорації та захисту від дефляції. Загальна площа ріллі підгрупи Ia складає 2444,71 га.

У підгрупі I-б першої ЕТГ, до якої входять орні землі, розташовані на схилах крутизною 1-3°, тому у зв'язку з вищим рівнем ерозійної небезпеки, ніж у підгрупі Ia, встановлюються обмеження на напрям обробітку ґрунту та сівбу сільськогосподарських культур. Обробіток ґрунту та сівба повинні проводитися виключно поперек схилів. В цілому, на землях першої ЕТГ використовуються інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур для досягнення максимальної врожайності з мінімальними негативними наслідками для довкілля. Перевага надається диференційованій системі обробітку ґрунту та максимальному внесенню добрив для підвищення економічної ефективності.

У другій ЕТГ, до складу якої входять орні землі, розташовані на схилах 3-5°, із переважанням у ґрунтовому покриві слабо- та середньозмитих ґрунтів, через підвищений рівень ерозійної небезпеки встановлено екологічно-технологічні обмеження щодо розміщення чорного пару та рядкових культур. У цьому контексті, згідно з рекомендаціями науково-дослідних установ, на землях другої ЕТГ не допускається розміщення чорного пару, просапних культур (технічних, овочевих, баштанних, картоплі, кормових коренеплодів) та інших ерозійно нестійких культур.

На землях другої ЕТГ заплановано впровадження ґрунтозахисних сівозмін із включенням культур, що мають високу ґрунтозахисну здатність. Тут реалізуються принципи ґрунтозахисного землеробства із застосуванням природних методів відновлення ґрунту. Перевага надається бережливим ґрунтозахисним технологіям обробітку ґрунту, які доповнюються розпушуванням і мульчуванням рослинними залишками.

У зоні третьої ЕТГ, що включає орні землі, розташовані на схилах крутизною понад 5°, із переважанням середньозмитих ґрунтів у ґрунтовому покриві, через

високий рівень ерозійної небезпеки встановлено еколого-технологічні обмеження щодо їх використання в інтенсивному землеробстві.

Господарське використання земель третьої ЕТГ є екологічно небезпечним та економічно неефективним, тому ці землі виключаються з інтенсивного використання, підлягають консервації та в подальшому трансформуються у природні кормові угіддя або лісові насадження.

Висновки до розділу 3

1. У ході дослідження було охарактеризовано території Вінницької міської територіальної громади, проаналізовано особливості рельєфу та ґрунтового покриву, а також оцінено фактори, що впливають на використання земель.

2. Проведено експериментально-практичну розробку геоінформаційного дослідження крутизни схилів на частині території Вінницької міської територіальної громади.

3. Виконаний аналіз отриманих результатів дозволив виявити території з різним ступенем придатності для сільськогосподарського використання і запровадження протиерозійних заходів.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що крутизна схилів є одним із визначальних факторів, що впливають на якість сільськогосподарських земель, інтенсивність ерозійних процесів та вибір оптимальних агротехнічних заходів. Виявлено, що на схилах різної крутизни формуються специфічні умови для вирощування сільськогосподарських культур, зумовлені особливостями мікроклімату, розподілу вологи, інтенсивності інсоляції та характеру ґрунтового покриву.

2. Аналіз нормативно-правової бази показав необхідність системного підходу до регулювання використання земель з урахуванням їх рельєфних особливостей для забезпечення ефективного землекористування та охорони ґрунтів. Чинне законодавство створює базові передумови для раціонального використання земель, проте потребує подальшого вдосконалення в напрямку впровадження диференційованих підходів до землекористування залежно від геоморфологічних умов території.

3. ГІС-технології є надзвичайно ефективним інструментом для дослідження крутизни схилів, забезпечуючи високу точність результатів, оперативність отримання даних та можливість комплексного аналізу просторових даних у поєднанні з іншими характеристиками території. Доведено, що цифрові моделі рельєфу (ЦМР) та супутникові знімки є найбільш інформативними та доступними інструментами. Виявлено, що вибір оптимального джерела даних залежить від площі досліджуваної території, необхідної точності та доступних ресурсів для певної місцевості. Встановлено, що супутникові знімки високої роздільної здатності дозволяють отримати актуальну інформацію про рельєф місцевості, а використання лідарних даних забезпечує найвищу точність при визначенні крутизни схилів. Аерофотознімки та топографічні карти також можуть використовуватися як додаткові джерела даних, особливо для історичного аналізу змін рельєфу. Комплексне використання різних джерел даних дозволяє підвищити достовірність результатів та забезпечити всебічний аналіз крутизни схилів.

4. Встановлено, що ефективність аналізу крутизни схилів на сільськогосподарських землях значною мірою залежить від точності і детальності вихідних геопросторових даних, коректності та правильності налаштування параметрів обробки цифрових моделей рельєфу, що підтверджується. Експериментально-практичною реалізацією процесу визначення крутизни схилів на прикладі частини Вінницької міської об'єднаної територіальної громади. Отримані результати показали, що значна частина досліджуваної території характеризується різною крутизною схилів, що вимагає диференційованого підходу до їх використання, зокрема особливих заходів охорони від ерозії, а також ділянки, де необхідно обмежити інтенсивне сільськогосподарське використання через значну крутість схилів. Для таких земель може бути запропонований комплекс протиерозійних заходів, що включає контурно-меліоративну організацію території, застосування безполицевого обробітку ґрунту, впровадження ґрунтозахисних сівозмін та створення буферних зон.

5. Проведене дослідження має як теоретичне, так і практичне значення для вдосконалення системи управління земельними ресурсами, запобігання деградації ґрунтів та забезпечення сталого розвитку сільських територій в умовах сучасних екологічних та економічних викликів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Земельні ресурси та їх використання: навч. пос./ Третяк А.М., Третяк В.М., Прядка Т.М., Трофименко П.І., Трофименко Н.В. [за заг. ред. А.М. Третяка]. – Біла Церква: «ТОВ «Білоцерківдрук», 2022. 304 с.
2. Земельні ресурси. Практикум : навчальний посібник / Паньків З. П., Наконечний Ю. І. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. – 196 с.
3. Земельний кодекс України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення: 04.04.2025).
4. Служба новин. Структура земель України: с/г земля, державна, передана громадам. *Агрополіт* – *гаряча агрополітика*. URL: <https://agropolit.com/news/20700-struktura-zemel-ukrayini-s-g-zemlya-derjavna-peredana-gromadam> (дата звернення: 04.04.2025).
5. Довідник з військової топографії. *Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. URL <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/kafedry/kafedra-viiskovoi-pidhotovky/distant-content/Topografiya.pdf> (дата звернення: 04.04.2025).
6. Каблак Н.І., Калинич І.В., Ваш Я.І. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з основ геодезії, Ужгород.: УжНУ, 2019.
7. Науково-практичні рекомендації щодо проектування та впровадження адаптивної системи землеробства для сільськогосподарських підприємств і фермерських господарств лісостепової зони України / Коломієць Л.П., Шевченко І.П., Повидало В.М. та ін. – Київ, ННЦ «ІАЕ» 2024. – 40 с.
8. Методичні рекомендації до вивчення курсу "Топографія з основами картографії (картографічні методи в екології)" для студентів ОС Бакалавр спеціальності 101 «Екологія». Ладика М.М. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/ladyka_m.m._metod_rekomend_topografia_z_osn_kartogr_kartograf_metody_v_ekologii_1_0.pdf (дата звернення: 04.04.2025).

9. Ерозія ґрунтів: причини, види, наслідки, методи запобігання ерозії ґрунтів. *Agriculture Consulting Service*. URL: <https://farming.org.ua/Ерозія%20ґрунтів%20-%20Ерозія%20ґрунтів%20причини,%20види,%20наслідки,%20методи%20профілактики.html> (дата звернення: 04.04.2025).

10. "В Україні економіка превалює над екологією: до 70% земель – розорані й потребують відновлення", – Йосип Дорош. *Головна | Національна академія аграрних наук України*. URL: http://naas.gov.ua/news/?ELEMENT_ID=7434 (дата звернення: 04.04.2025).

11. Розорювання схилів України: як запобігти деградації ґрунтів. *Екодія*. URL: <https://ecoaction.org.ua/rozoriuvannia-skhyliv-ukrainy-zapobihty-dehradatsii-gruntiv.html> (дата звернення: 04.04.2025).

12. Землеустрій як передумова збалансованого розвитку територій: монографія / за ред. М.С. Богіри. Львів : ТОВ «Галицька видавнича спілка», 2021. 250 с.

13. Конституція України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр#Text> (дата звернення: 06.04.2025).

14. Земельний кодекс України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення: 06.04.2025).

15. Про охорону земель. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення: 06.04.2025).

16. Водний кодекс України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр#Text> (дата звернення: 06.05.2025).

17. Про землеустрій. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text> (дата звернення: 06.04.2025).

18. Про затвердження Порядку консервації земель. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/35-2022-п#Text> (дата звернення: 06.04.2025).

19. Цілі сталого розвитку. *UNDP*. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku> (дата звернення: 06.04.2025).
20. Цілі Сталого Розвитку: Україна. Завдання та індикатори. URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/ua/SDG-leaflet-ukr_F.pdf (дата звернення: 06.04.2025).
21. Ціль 15 - Захист екосистем суші - Індикатори цілей сталого розвитку. *Indicators For The Sustainable Development Goals*. URL: <https://sdg.ukrstat.gov.ua/uk/15/> (дата звернення: 06.04.2025).
22. Звіт щодо виконання цілі сталого розвитку 15 («Збереження екосистем суші») в Україні. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/07/15_ukraine_ukr.pdf (дата звернення: 06.04.2025).
23. Сергєєва К. ГІС-Технології в Сільському Господарстві та Їх Використання. *EOS Data Analytics*. URL: <https://eos.com/uk/blog/his-tekhnohii-v-silskomu-hospodarstvi/> (дата звернення: 06.04.2025).
24. Геоінформаційна система для сільського господарства. *MagneticOne Municipal Technologies*. URL: <https://magneticonemt.com/geoinformatsijna-systema-dlya-silskogo-gospodarstva/> (дата звернення: 06.04.2025).
25. Puno, G., Marin, R., Puno, R., & Toledo-Bruno, A. (2021). Geographic information system and process-based modeling of soil erosion and sediment yield in agricultural watershed. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 7, 1-14. <https://doi.org/10.22034/GJESM.2021.01.01> (date of access: 08.04.2025).
26. Агро ІТ Абетка: Г– Геоінформаційна система (ГІС) – Біржа сільгосптехніки Traktorist.ua. *Traktorist.ua*. URL: <https://traktorist.ua/articles/agro-it-abetka-g-geoinformaciyna-sistema-gis> (дата звернення: 07.04.2025).
27. Sofia, Giulia & Calligaro, Simone & Prosdocimi, Massimo & Preti, Federico & Dalla Fontana, Giancarlo. (2015). Vineyards in Terraced Landscapes: New Opportunities from Lidar Data. *Land Degradation & Development*. URL: https://www.researchgate.net/publication/264162191_Vineyards_in_Terraced_Landscapes_New_Opportunities_from_Lidar_Data (date of access: 08.04.2025).

28. Anton Pijl, Lara E.H. Reuter, Edoardo Quarella, Teun A. Vogel, Paolo Tarolli. GIS-based soil erosion modelling under various steep-slope vineyard practices, *CATENA*, Volume 193, 2020, ISSN 0341-8162, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104604>.

29. DipWSET L. G. Terracing vineyards: benefits and challenges. *Amble Wine*. URL: <https://amblewine.com/blogs/wine-guides/terracing-vineyards-benefits-and-challenges#:~:text=Advantages%20of%20terracing%20in%20vineyards&text=Steep%20slopes%20are%20prone%20to,Retains%20water%20and%20nutrients>. (date of access: 08.04.2025).

29. Revised Universal Soil Loss Equation | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Home / Food and Agriculture Organization of the United Nations*. URL: <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1236444/> (date of access: 08.04.2025).

30. Soil Loss Estimation by Water Erosion in Agricultural Areas Introducing Artificial Intelligence Geospatial Layers into the RUSLE Model. *MDPI*. URL: <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/2/174> (date of access: 08.04.2025).

31. RUSLE soil erosion model structure. *European Environment Agency*. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/rusle-soil-erosion-model-structure/rusle-soil-erosion-model-structure> (date of access: 08.04.2025).

32. Про рельеф. *50 North / GIS blog from Ukraine*. URL: <https://www.50northspatial.org.ua/ua/terrain/> (дата звернення: 08.04.2025).

33. Al-Ismaili, Abdulrahim. (2021). GIS and remote sensing techniques in Controlled Environment Agriculture: A review. *Journal of Agricultural and Marine Sciences [JAMS]*. DOI: [10.53541/jams.vol26iss2pp10-23](https://doi.org/10.53541/jams.vol26iss2pp10-23). URL: https://www.researchgate.net/publication/354727611_GIS_and_remote_sensing_techniques_in_Controlled_Environment_Agriculture_A_review (date of access: 08.04.2025).

34. Jungmin Cho, Jongseok Lee, Byoungkil Lee. Application of UAV Photogrammetry to Slope-Displacement Measurement. *KSCE Journal of Civil Engineering*. Volume 26, Issue 4, 2022, Pages 1904-1913. ISSN 1226-7988. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s12205-021-1374-1>.

URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226798824042338>) (date of access: 08.04.2025).

35. Elhadary, A., Rabah, M., Ghanim, E., Mohie, R., & Taha, A. (2022). The influence of flight height and overlap on UAV imagery over featureless surfaces and constructing formulas predicting the geometrical accuracy. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 11(1), 210–223. <https://doi.org/10.1080/20909977.2022.2057148>

36. Pix4D vs Agisoft: Photogrammetry Software Comparison | Anvil Labs. *Engineering & Construction Inspections | Drone-Based 3D Solutions for Smarter Workflows - Anvil Labs*. URL: <https://anvil.so/post/pix4d-vs-agisoft-photogrammetry-software-comparison> (date of access: 08.04.2025).

37. Professional photogrammetry and drone mapping software. *Pix4D*. URL: <https://www.pix4d.com/> (date of access: 08.04.2025).

38. Вимірювання поля за допомогою БПЛА. *MagneticOne Municipal Technologies*. URL: <https://magneticonemt.com/obmir-polia-za-dopomohoy-drona/> (дата звернення: 08.04.2025).

39. Land Use Capability. *Home » Our Environment*. URL: https://ourenvironment.scinfo.org.nz/maps-and-tools/app/Land%20Capability/lri_luc_main (date of access: 08.04.2025).

40. Chen, Li & Mao, Yiying & Ruotong, Zhao. (2022). GIS application in environmental monitoring and risk assessment. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICGMRS55602.2022.9849269>. URL: https://www.researchgate.net/publication/362938135_GIS_application_in_environmental_monitoring_and_risk_assessment (date of access: 08.04.2025).

41. L. F. Bilous, P. Shyshchenco, V. Samoilenko, O. Havrylenko. Spatial morphometric analysis of digital elevation model in landscape research. *EAGE. GEOINFORMATICS* 2020. URL: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2020/05/18380.pdf> (date of access: 08.04.2025).

42. О. С. Гончаренко. Топографія з основами геодезії: Навчально-методичний посібник до виконання практичних робіт. 2021.

URL: <https://drive.google.com/file/d/1K1375O4hQgRYNo58r0Vvti-TsEWIFixV/view> (дата звернення: 08.04.2025).

43. Цифрові моделі рельєфу. URL: <https://tvis.com.ua/ua/products/cifrovye-modeli-relefa/#:~:text=%D0%A6%D0%9C%D0%9C%20%D1%94%20%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D1%96%20%D0%BF%D1%80%D0%BE,%D1%96%20%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%B7%D0%B9%D0%BE%D0%BC%D0%BA%D0%B8> (дата звернення: 08.04.2025).

44. SRTM | NASA Earthdata. NASA Earthdata. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/srtm> (date of access: 10.04.2025).

45. Who We Are. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/about/about-us/who-we-are> (date of access: 10.04.2025).

46. EarthExplorer. EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (date of access: 10.04.2025).

47. Your Gateway to NASA ^[1]_[SEP]Earth Observation Data | NASA Earthdata. NASA Earthdata. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/> (date of access: 10.04.2025).

48. NASA's ESMO Project Plays a Large Role in Aqua's Two Decades in Orbit | NASA Earthdata. NASA Earthdata. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/news/feature-articles/nasas-esmo-project-plays-large-role-aquas-two-decades-orbit> (date of access: 10.04.2025).

49. OpenTopography. Home / OpenTopography. URL: <https://opentopography.org/> (date of access: 10.04.2025).

50. SRTM 90m Digital Elevation Database v4.1. *CGIAR-CSI*. URL: <https://csidotinfo.wordpress.com/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1/> (date of access: 10.04.2025).

51. What is lidar?. *NOAA's National Ocean Service*. URL: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html> (date of access: 10.05.2025).

52. The Basics of LiDAR - Light Detection and Ranging - Remote Sensing | NSF NEON | Open Data to Understand our Ecosystems. *Home | NSF NEON | Open Data to Understand our Ecosystems*. URL: <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/lidar-basics> (date of access: 10.04.2025).

53. A Complete Guide to LiDAR: Light Detection and Ranging - GIS Geography. *GIS Geography*. URL: <https://gisgeography.com/lidar-light-detection-and-ranging/> (date of access: 10.04.2025).

54. Accuracy and Limitations of LiDAR data. URL: <https://www.eqc.govt.nz/assets/Canterbury-earthquake-page-documents/ILV/Appendix-G.pdf> (date of access: 10.04.2025).

55. Tan R. LiDAR Scanning vs. Traditional Surveying: A Comprehensive Comparison. *Aonic Blog | Latest updates on Drone Technology, Application, Case Study & News*. URL: <https://blog.aonic.com/blogs-application/lidar-scanning-vs-traditional-surveying-a-comprehensive-comparison> (date of access: 10.04.2025).

56. ArcGIS | Geospatial Platform - GIS Software for Business & Government. *GIS Software for Mapping and Spatial Analytics | Esri*. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/geospatial-platform/overview> (date of access: 11.04.2025).

57. Introduction to ArcGIS | ArcGIS Architecture Center. *ArcGIS Architecture Center | ArcGIS Architecture Center*. URL: <https://architecture.arcgis.com/en/overview/introduction-to-arcgis/introduction.html> (date of access: 11.04.2025).

58. Terrain Analysis in ArcGIS Pro - National Tribal Geographic Information Support Center Knowledge Base. *National Tribal Geographic Information Support Center Knowledge Base*. URL: <https://support.tribalgis.com/article/51-terrain-analysis-in-arcgis-pro> (date of access: 11.04.2025).

59. Working with ArcGlobe and ArcScene–ArcMap | Documentation.
URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/get-started/introduction/choosing-the-3d-display-environment.htm> (date of access: 11.04.2025).

60. Writing Python scripts–ArcMap | Documentation.
URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/analyze/executing-tools/writing-python-scripts.htm> (date of access: 11.04.2025).

61. Rosas-Chavoya, Marcela & Gallardo-Salazar, José & López Serrano, Pablito & Alcantara Concepcion, Pedro Camilo & León-Miranda, Ana. (2021). QGIS a constatly growing free and open-source geospatial software contributing to scientific development.
URL: https://www.researchgate.net/publication/356947194_QGIS_a_constatly_growin_g_free_and_open-source_geospatial_software_contributing_to_scientific_development (date of access: 11.04.2025).

62. Застосування ГІС у природоохоронній справі на прикладі відкритої програми QGIS [Текст] : навч. посіб. / О. Часковський, Ю. Андрейчук, Т.Ямелинець. — Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, Вид-во Простір-М, 2021. — 228 с. — ISBN 978-617-7746-79-8.

63. 7.3. Lesson: Terrain Analysis – QGIS Documentation documentation. *QGIS resources* . *QGIS* *Web* *Site*.
URL: https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/training_manual/rasters/terrain_analysis.html (date of access: 11.04.2025).

64. 22. GRASS GIS Integration – QGIS Documentation documentation. *QGIS resources* . *QGIS* *Web* *Site*.
URL: https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/user_manual/grass_integration/grass_integratio_n.html (date of access: 11.04.2025).

65. Configuring external applications.
URL: https://ubuntu.qgis.org/qgisdata/QGIS-Documentation-2.14/live/html/zh_TW/docs/user_manual/processing/3rdParty.html#grass (date of access: 11.04.2025).

66. Dmytro Liashenko. SRTM для тривимірного моделювання рельєфу у QGIS, 2025. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Bp4JNwJ2G4I> (дата звернення: 11.04.2025).

67. 7.2. 3D Map View – QGIS Documentation documentation. *QGIS resources · QGIS Web Site*. URL: https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/user_manual/map_views/3d_map_view.html (date of access: 11.04.2025).

68. Conrad, Olaf & Bechtel, Benjamin & Dietrich, Helge & Fischer, Elke & Gerlitz, Lars & Wehberg, Jan & Wichmann, Volker & Böhner, Jürgen. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geoscientific Model Development.

URL: https://www.researchgate.net/publication/280154803_System_for_Automated_Geoscientific_Analyses_SAGA_v_214 (date of access: 11.04.2025).

69. SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.3.0). *SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses*. URL: https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/2.3.0/index.html (date of access: 11.04.2025).

70. GRASS - Bringing advanced geospatial technologies to the world. *GRASS - Bringing advanced geospatial technologies to the world*. URL: <https://grass.osgeo.org/learn/overview/> (date of access: 11.04.2025).

71. r.slope.aspect – GRASS GIS manual. *GRASS - Bringing advanced geospatial technologies to the world*. URL: <https://grass.osgeo.org/grass-stable/manuals/r.slope.aspect.html> (date of access: 11.04.2025).

72. Mora E. M. Understanding Earth's Inclines: Slope Analysis with QGIS for Informed Environmental Decision-Making. *Medium*. URL: https://medium.com/@Eric_Morales/understanding-earths-inclines-slope-analysis-with-qgis-for-informed-environmental-decision-making-e6697759102d (date of access: 11.04.2025).

73. ЕКСПОЗИЦІЯ СХИЛЮ | Geo-Hub. *Geo-Hub: науково-освітній веб-портал / Geo-Hub науково-освітній веб-портал*. URL: <https://geohub.org.ua/node/1149#:~:text=Пошук->

[,ЕКСПОЗИЦІЯ%20СХИЛІУ,сторін%20світу%20або%20переважаючих%20вітрів.](#) (дата звернення: 11.04.2025).

74. Експозиція схилів. URL: <https://yak.koshachek.com/articles/ekspozicija-shiliv.html> (дата звернення: 11.04.2025).

75. 5.3.3 Slope Length and Steepness Factor. *EARTH - Environmental Sciences and Risk Analyses Tools / PNNL*. URL: https://mepas.pnnl.gov/mepas/formulations/source_term/5_0/5_33/5_33.html (date of access: 11.04.2025).

76. Охорона ґрунтів: навч. посібник / Дегтярьов В.В., Крохін С.В., Дегтярьов Ю.В., Гавва Д.В., Чекар О.Ю. / за ред. д-ра с.-г. н, проф. В. В. Дегтярьова. – Харків: 2020 – 337 с.

77. Che cos'è LiDAR e come si usa nella stampa 3D? – 3Dnatives. *3Dnatives*. URL: <https://www.3dnatives.com/it/che-cosa-e-lidar-e-come-si-usa-nella-stampa-3d/> (date of access: 11.04.2025).

78. Aurand V. Surveying Tricky Terrain? Drone LiDAR for the Win!. *ROCK Robotic*. URL: <https://www.rockrobotic.com/post/surveying-tricky-terrain-drone-lidar-for-the-win> (date of access: 11.04.2025).

79. Екологічний паспорт Вінницької області. 2024. *Офіційний вебсайт – Вінницька обласна військова адміністрація*. URL: https://vin.gov.ua/images/UPRTER/2024/ogoloshennya/Ekologic_hnuu%20pasport%202024_%20.pdf (дата звернення: 11.04.2025).

80. Вінницька область - Склад громади. *Децентралізація в Україні*. URL: <https://decentralization.ua/gromada/263/composition> (дата звернення: 11.05.2025).

81. Програма Комплексного відновлення території Вінницької міської територіальної громади на 2024-2027 роки. URL: <https://new.vmr.gov.ua/media/2023/%D0%93%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B4%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%20%D1%81%D0%BB%D1%83%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F/2024/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BC%20%D0%BA%D0%BE%D0%B>

C%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%94%D0%BA%D1%82%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B8%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf (дата звернення: 11.04.2025).

82. Вінницька міська територіальна громада. *ReBuild Ukraine* / 13-14 листопада 2025. URL: <https://rebuildukraine.in.ua/vinnytska-hromada-1.0> (дата звернення: 11.04.2025).

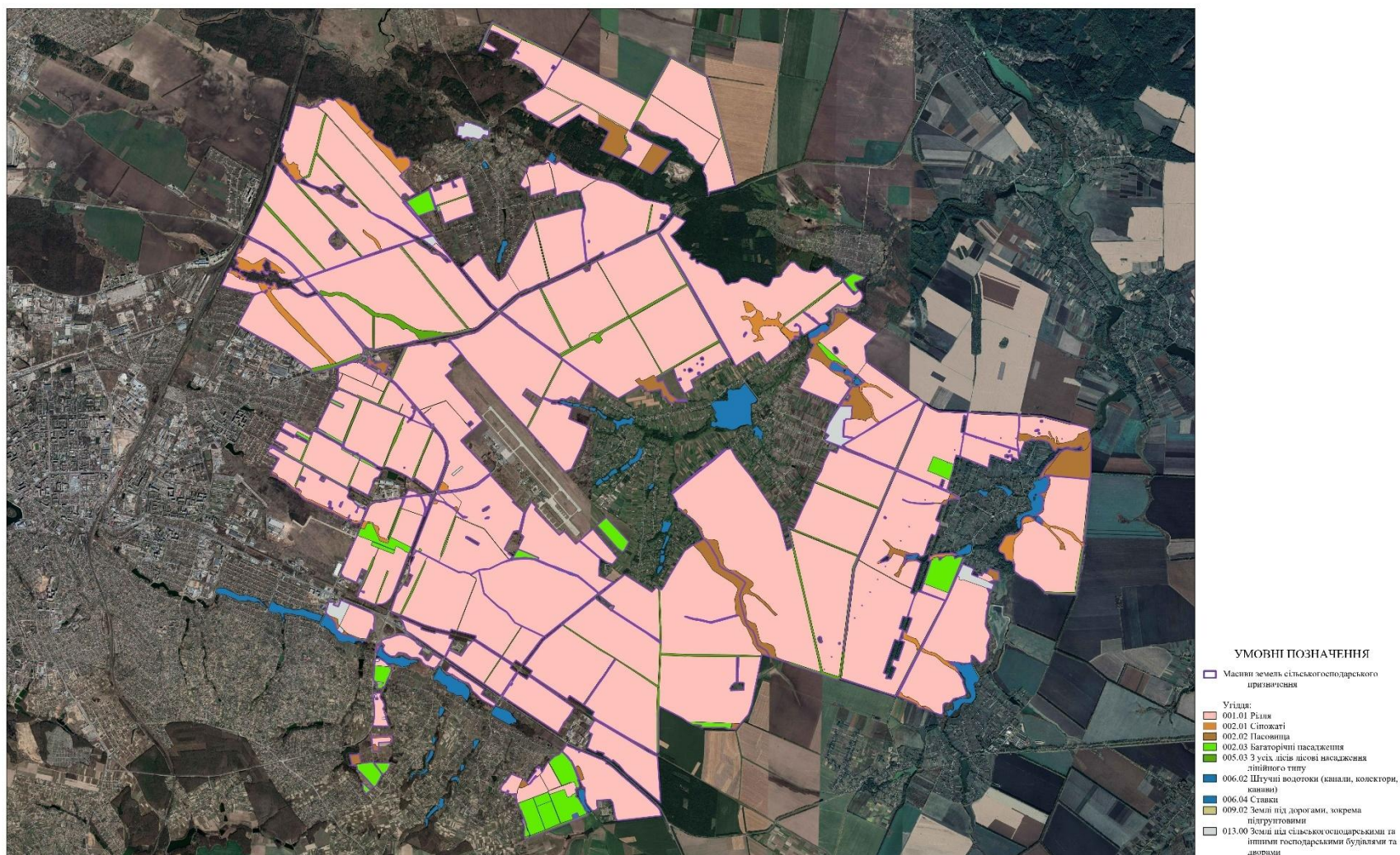
83. Звіт про Стратегічну екологічну оцінку документу державного планування «Програма економічного і соціального розвитку Вінницької міської територіальної громади на 2022 рік».

84. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення: 27.03.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

ТЕМАТИЧНА СХЕМА
розміщення сільськогосподарських земель в межах території
Вінницької міської територіальної громади



Додаток Б

Карта ґрунтів Вінницької області

**Болотні ґрунти, торфовища**

Лучно-болотні ґрунти на делювіальних та алювіальних відкладах

Лучно-болотні ґрунти

Болотні та торфувато-болотні ґрунти на різних породах

Болотні та торфувато-болотні ґрунти

Торфовища

Торфовища низинні та торфово-болотні ґрунти

Дернові ґрунти

Дернові карбонатні ґрунти переважно на елювії щільних карбонатних порід

Дерново-підзолисті ґрунти

Дерново-підзолисті ґрунти на давньоалювіальних та воднольодовикових відкладах, морені та лесовидних породах

Дерново-прихованопідзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти (борові піски)

Дерново-слабо-і середньопідзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти

Дерново-середньо-і слабопідзолисті супіщані і суглинкові ґрунти

Дерново-підзолисті оглеєні ґрунти на давньоалювіальних та воднольодовикових відкладах, морені та лесовидних породах

Дерново-слабопідзолисті глейові піщані та глинисто-піщані ґрунти

Опідзолені ґрунти

Опідзолені ґрунти переважно на лесових породах

Ясно-сірі опідзолені ґрунти

Сірі опідзолені ґрунти

Темно-сірі опідзолені ґрунти

Чорноземи опідзолені

Опідзолені оглеєні ґрунти переважно на лесових породах

Ясно-сірі і сірі опідзолені оглеєні ґрунти

Темно-сірі опідзолені оглеєні ґрунти

Чорноземи опідзолені оглеєні

Реградовані ґрунти

Темно-сірі та сірі реградовані ґрунти

Чорноземи реградовані

Чорноземи

Чорноземи неглибокі лісостепові на лесових породах

Чорноземи неглибокі слабогумусовані та малогумусні

Чорноземи глибокі на лесових породах

Чорноземи глибокі слабогумусовані

Чорноземи глибокі малогумусні

Чорноземи глибокі малогумусні карбонатні

Чорноземи глибокі малогумусні вилуговані

Чорноземи на щільних глинах

Чорноземи солонцюваті на щільних глинах

Чорноземні глинисто-піщані та супіщані ґрунти

Чорноземні глинисто-піщані та супіщані ґрунти

Лучно-чорноземні ґрунти

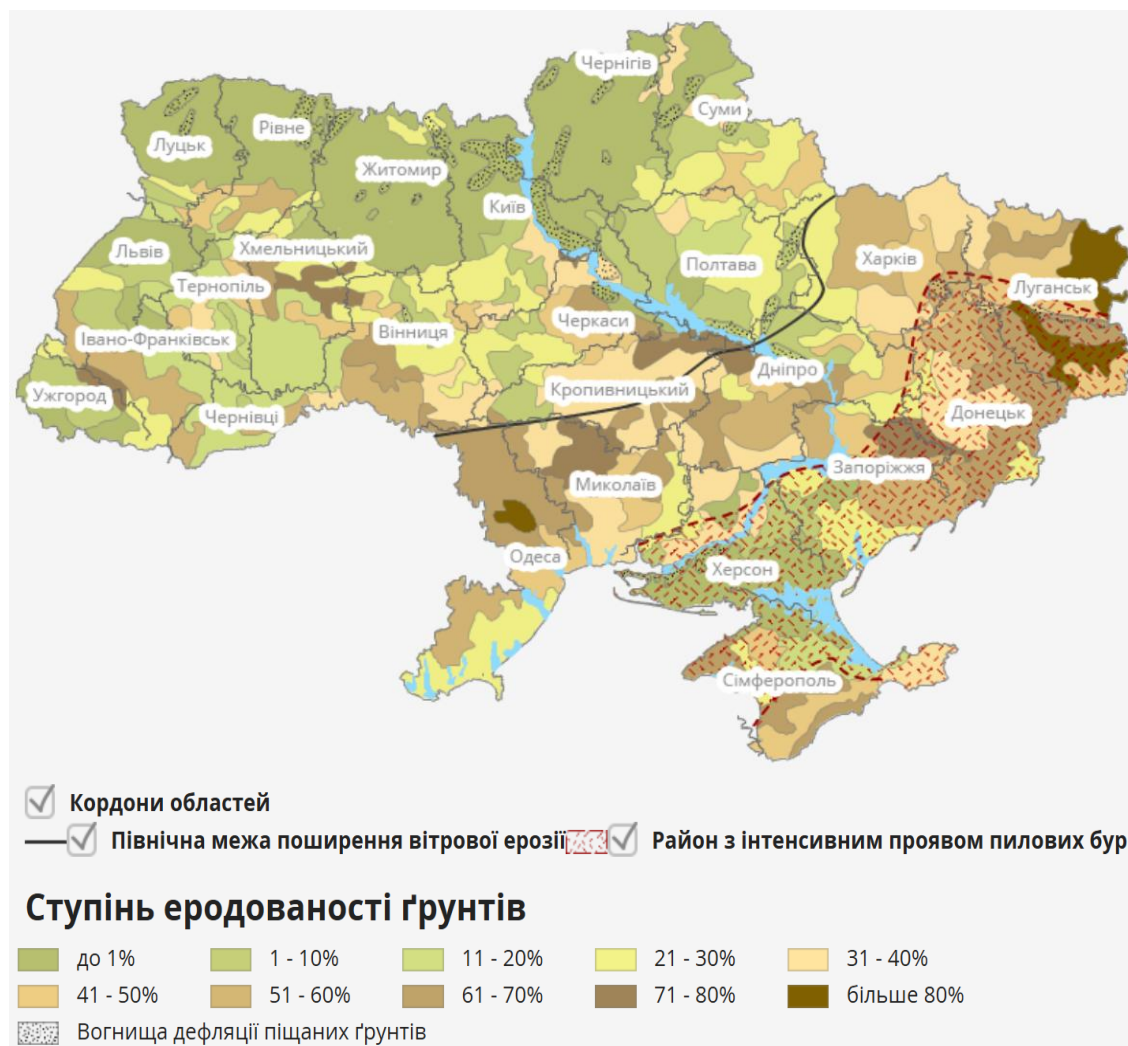
Лучно-чорноземні ґрунти

Лучні ґрунти

Лучні та чорноземно-лучні ґрунти

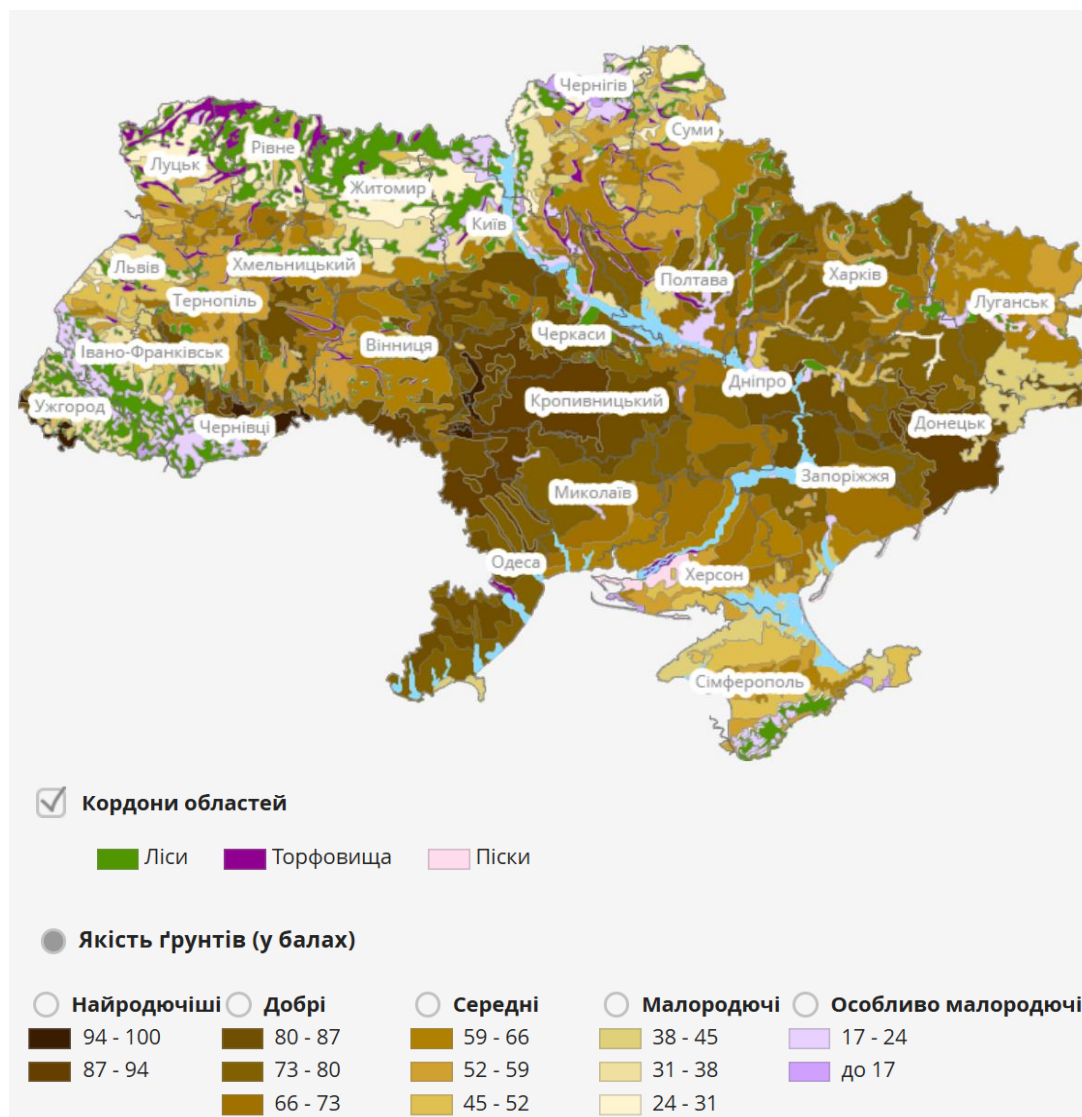
Додаток В

Карта еродованості ґрунтів України

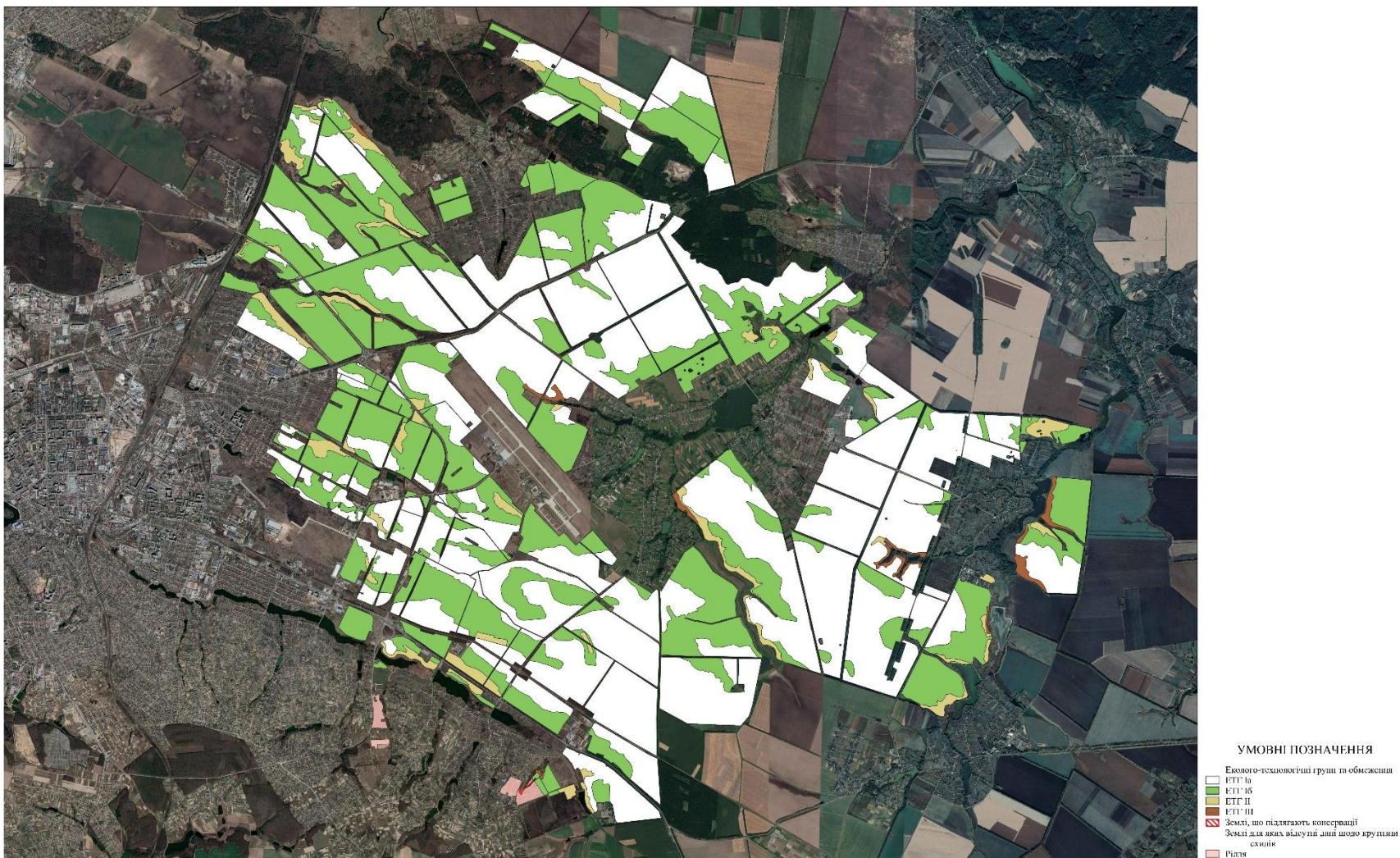


Додаток Г

Карта родючості ґрунтів України



ЗАГАЛЬНА СХЕМА
рекомендацій щодо формування еколого-технологічних обмежень в межах території
Вінницької міської територіальної громади



1:25 000