

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

Географічний факультет
Кафедра геоморфології і палеогеографії

Допущено до захисту
Завідувачка кафедри

проф. Лідія Дубіс
«11» червня 2025 р.

Денисюк Артем Валерійович
ЕРОЗІЙНІ ПРОЦЕСИ У МЕЖАХ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ВОЛИНСЬКОЇ
ВИСОЧИНИ

Бакалаврська робота
Спеціальність – 106 «Географія»
ОПП «Географія»

Науковий керівник, доц. Г.Р. Байрак

(підпис бакалавра)

(підпис)

Львів 2025

З М І С Т

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ.....	6
1.1. Види водних ерозійних процесів.....	7
1.2. Механізм та закономірності процесів тимчасового стоку.....	8
1.3. Чинники проявів водної ерозії ґрунтів.....	13
РОЗДІЛ 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЯВІВ ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У СХІДНІЙ ЧАСТИНІ ВОЛИНСЬКОЇ ВИСОЧИНИ.....	15
2.1. Геологічна основа.....	15
2.2. Рельєф як важливий чинник розвитку процесів.....	17
2.3. Ґрунти регіону.....	18
2.4. Характеристика клімату.....	20
2.5. Ландшафтна структура.....	21
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ.....	23
3.1. Лабораторний аналіз ґрунтів.....	23
3.2. Методи дистанційного зондування Землі.....	29
3.3. ГІС-аналіз і гідрологічне моделювання.....	30
РОЗДІЛ 4. ПОШИРЕННЯ ТА РОЗВИТОК ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕРИТОРІЇ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ВОЛИНСЬКОЇ ВИСОЧИНИ...	32
4.1. Мікроуловинна мережа.....	32

4.2. Форми прояву ерозійних процесів на досліджуваній території.....	34
4.2.1. Прояви лінійної ерозії.....	34
4.2.2. Форми прояву площинної ерозії.....	39
4.3. Дослідження деградації ґрунтів у зв'язку із розвитком ерозії.....	42
4.4. Аналіз розвитку і ретардації площинних змивів на основі різночасових супутникових даних.....	46
РОЗДІЛ 5. ШЛЯХИ МІНІМІЗАЦІЇ ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ.....	52
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56

ВСТУП

Східна частина Волинської височини активно використовується в сільськогосподарському підприємстві. Однак головною проблемою цих земель є поширення площинної та лінійної ерозії на схилах навіть невеликої крутості. Основними чинниками розвитку ерозії є безперервне використання ґрунтів без належного відновлення їхньої родючості; оранка вздовж схилу; переосушення земель у морозні безсніжні періоди та спекотні літа; зливові дощі та інші несприятливі природні та антропогенні фактори. Актуальність написання бакалаврської роботи зумовлена необхідністю наукового обґрунтування шляхів мінімізації ерозійних процесів у межах інтенсивно освоєних сільськогосподарських територій східної частини Волинської височини.

Для дослідження обрано територію в межах східної частини Волинської височини, де водно-ерозійні процеси набули значного поширення.

Мета роботи: дослідити види, поширення, і розвиток сучасних ерозійних процесів у межах східної частини Волинської височини протягом ХХІ ст.

Завдання:

- розкрити теоретичні основи розвитку ерозійних процесів;
- описати фізико-географічні особливості східної частини Волинської височини;
- виділити види водно-ерозійних процесів;
- з'ясувати динаміку площинних змивів за 2002, 2014 і 2018 роки з використанням різночасових супутникових даних;
- обґрунтувати заходи та шляхи мінімізації ерозійних процесів.

Об'єкт дослідження: прояви лінійної та площинної ерозії на Волинській височині.

Предмет дослідження: просторове поширення, типи та особливості розвитку сучасних ерозійних процесів на території східної частини Волинської височини.

Методи дослідження: ДЗЗ (дистанційне зондування Землі), ГІС-аналіз, моделювання, польові та лабораторно-аналітичні дослідження.

Наукова новизна досліджень. У роботі застосовано комплекс методів для вивчення поширення форм площинної та лінійної ерозії для лесової височини. Особливо це стосується вивчення площинних змивів, де було застосовано методи ДЗЗ, ГІС і гідрологічне моделювання в QGIS, польові та лабораторно-аналітичні роботи. Виконано типізацію форм прояву ерозії.

Апробація результатів досліджень. За результатами досліджень опубліковано тези та зроблено виступи на конференціях:

Денисюк А. Ураженість ерозійними процесами східної частини Рівненського плато // Матеріали XXV Всеукраїнської студентсько-аспірантської наукової конференції “Реалії, проблеми та перспективи розвитку географії, географічної освіти, екології, туризму та сфери гостинності в Україні” (м. Львів, 9–10 травня 2024 р.). С. 113–116.

Bayrak G., Denysiuk A. GIS and remote sensing methods in the investigation of modern soil erosion processes on the Rivne plateau. GeoTerrace-2024-036 // International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2024” (7-9 October 2024, Lviv, Ukraine). <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2024/gis-and-remote-sensing-methods-investigation-modern-soil-erosion-processes-0> (Scopus)

Структура роботи. Бакалаврська робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків і списку використаних джерел (16 позицій). Вона викладена на 57 сторінках тексту. У роботі міститься 4 таблиць, 17 рисунків.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ

Ерозійні процеси в цілому – це руйнування поверхні порід чи ґрунту водою (водна ерозія), вітром (дефляція), льодом (екзарація) і морем (абразія). Водна ерозія виникає за наявності поверхневого водного стоку. Власне вона є найпоширенішим і найнебезпечнішим деградаційним процесом на території України, що має катастрофічні екологічні та господарські наслідки. За оцінками, близько третини сільськогосподарських угідь, а саме 13,4 млн га, зазнали впливу ерозії, з них 10,6 млн га — це орні землі [5].

Щороку з сільськогосподарських угідь змивається до 500 млн т родючого ґрунту, що містить значні кількості гумусу, азоту, фосфору і калію. Ці втрати дорівнюють 320–330 млн т органічних добрив і завдають збитків понад 9 млрд грн. Найбільш руйнівним є змивання гумусного горизонту. Окрім дегуміфікації, ерозія спричиняє вторинну карбонатизацію — збільшення вмісту CaCO_3 у верхніх шарах ґрунтів, що знижує їхню родючість. Також спостерігається деградація біоти: чисельність дощових черв'яків у сильнозмитих ґрунтах знижується в 2,5 рази, аналогічно скорочується біологічна активність ґрунту. Просторовий розвиток ерозії призводить до фрагментації ґрунтового покриву, підвищення мозаїчності та ускладнення сільськогосподарського використання. Різко зменшується площа однорідних ґрунтових ареалів: на змитих землях вона у 4–7 разів менша, ніж на повнопрофільних [5].

Таким чином, ерозійні процеси не лише погіршують агровиробничі властивості ґрунтів, але й викликають глибокі зміни в екосистемах, порушують природні ландшафти та знижують екологічну стійкість територій.

1.1. Види водних ерозійних процесів

Ерозійно-аккумулятивні процеси відіграють важливу роль у формуванні рельєфу земної поверхні. Їх виникнення зумовлене впливом поверхневих водних потоків, які поділяються на постійні (річкові) та тимчасові. Тимчасові потоки, у свою чергу, бувають русловими (яри, балки) та нерусловими (схиліві стоки). У результаті водної ерозії відбувається одночасне руйнування поверхні в одних зонах і накопичення осадового матеріалу в інших, що спричиняє формування як ерозійних, так і аккумулятивних форм рельєфу.

Водна ерозія ґрунтів є основною причиною деградації сучасних агроландшафтів і завдає значної екологічної та економічної шкоди в багатьох країнах, включаючи Україну.

Залежно від походження водних потоків, які викликають ерозійні процеси, виділяють ерозію, спричинену талими водами, зливову та іригаційну. У деяких класифікаціях також окремо розглядається ерозія, пов'язана з виходом підземних вод на поверхню, а також ерозія, що виникає внаслідок скидання стічних вод.

За впливу води на ґрунтовий покрив, ерозійні процеси можуть проявлятися як поверхнево-схилова або ярочно-руслова ерозія. Згідно з гідролого-морфологічною класифікацією водної ерозії, запропонованою Г.І. Швобсом (1974, 1981), до поверхнево-схилувих форм належать три основні типи: ерозія розбризкування, поверхнева (площинна) ерозія та струминна ерозія [12].

Ерозія розбризкування реалізується в тому випадку, коли дощові краплі бризками переміщують вниз по схилу ґрунт, який відокремлюється при їх ударі об зволожену поверхню.

Площинна ерозія спричиняє змив і розмивання ґрунту як у тимчасовій струмковій мережі, так і на ділянках між струмками. Вона поділяється на два типи: поверхнево-дрібноструминний та зливовий змиви. Дрібноструминний

змив відбувається в мікрострумках, глибина яких приблизно відповідає розміру переміщуваних частинок. Ці потоки нерідко мають напрям, що не збігається з лінією максимального ухилу. Зливовий змив виникає за аналогічних умов, але з додатковим впливом енергії дощових крапель.

Струминна ерозія включає два типи — струминний та зливовий-струминний розмиви, які формуються в результаті руху струмків поверхневого стоку. Їхня головна відмінність полягає в тому, що під час зливого розмиву до загальної енергії потоку додається енергія ударів дощових крапель.

З часом глибокі лінійні розмиви трансформуються в яри — рельєфні форми, що мають каньйоноподібну або У-подібну конфігурацію. Відповідно до класифікації Г.І. Швєбса (1981), яружна ерозія поділяється на три типи: лінійний, одноступінчастий та багатоступінчастий розмиви [12].

Водна ерозія має шкідливий вплив на ґрунтовий покрив, оскільки змивання верхнього родючого шару, а також втрата гумусу й поживних елементів, спричиняють зменшення родючості ґрунтів.

1.2. Механізм та закономірності процесів тимчасового стоку

Водна ерозія ґрунтів є складним природним процесом, що включає руйнування ґрунту, його транспортування та відкладення ґрунтових частинок і агрегатів. Цей процес ініціюється як природними (дощ, танення снігу), так і штучними (штучний дощ) опадами. На початкових стадіях випадання дощу, ще до формування на поверхні ґрунту суцільної плівки води, краплі спричиняють опливання ґрунтових грудок та ущільнення верхнього шару ґрунту. Це, у свою чергу, істотно зменшує водопоглинання ґрунту та сприяє швидшому формуванню поверхневого стоку. Важливою ознакою початкової стадії ерозії сухого ґрунту є вибухоподібне вилучення повітря з ґрунту під час

його зволоження, що чинить значний дезінтегруючий вплив на ґрунтові агрегати. Це явище є одним з головних чинників ерозії на сухих ґрунтах [8].

Після появи на поверхні ґрунту водної плівки, краплі дощу, вдаряючись об поверхню, розбризкуються, захоплюючи частинки ґрунту. При цьому приблизно дві третини енергії краплі витрачається на утворення ударного кратера та ущільнення верхнього шару ґрунту (до 2-3 см), а одна третина – на розбризкування. Максимальна диспергація ґрунтових частинок спостерігається, коли товщина водної плівки дорівнює діаметру краплі. Захист ґрунту від безпосередньої руйнівної дії крапель забезпечується шаром води товщиною понад 5-6 діаметрів крапель. Однак, навіть за наявності такого шару, краплі можуть збільшувати турбулентність потоків, інтенсифікуючи ерозійний процес, особливо за невеликої глибини потоків. Окрім руйнівної дії, великі краплі також ущільнюють поверхневий шар ґрунту та спричиняють його кольматацію продуктами руйнування ґрунтових агрегатів. Це призводить до утворення ґрунтової кірки зі значно зменшеною водопоглинаючою здатністю, що посилює поверхневий стік і змив ґрунту.

На горизонтальних поверхнях розбризкування ґрунту відбувається рівномірно у всіх напрямках, тому латерального переміщення ґрунту не відбувається. На схилових поверхнях, через різну довжину траєкторій розбризкуваних частинок, спостерігається поступове переміщення ґрунту вниз по схилу. Крім того, розбризкані частинки ґрунту переносяться водними потоками, в які вони потрапляють з міжструмкових ділянок. Проте, кількість ґрунту, переміщеного розбризкуванням, становить невелику частку від загальних втрат ґрунту. Основна частка загальних втрат припадає на еродуючу дію самих водних потоків [8].

Наступна стадія ерозійного процесу характеризується підвищенням інтенсивності дощу та накопиченням води, що призводить до формування поверхневого стоку. Стік виникає, коли обсяг опадів перевищує кількість води, необхідну для змочування рослинності та ґрунту. Спочатку

поверхневий стік проявляється у вигляді мікрострумків. З посиленням дощу мікрострумки концентруються, перетворюючись на струмки, які, як правило, відповідають напрямку максимального ухилу схилу. Ці струмки приєднуються до вищих по схилу потоків. У струмках, на відміну від мікрострумків, переважно спостерігається турбулентний режим руху потоку. Подальше збільшення опадів посилює концентрацію струмків, що збільшує їхню розмиваючу здатність. Схилі потоки, як правило, нерівномірні за глибиною та мають складний повздовжній профіль з численними уступами та швидкотоками, що також підсилює їхню еродуючу здатність. Це зумовлено локальним збільшенням швидкостей та більш концентрованою дією водних струменів на ґрунт. Регресивне переміщення уступів відіграє значну роль в ерозійному процесі, особливо під час весняного сніготанення та поливів по борознах.

Процес ерозії на схилі умовно поділяють на міжструмкову та струмкову ерозію. Цей поділ базується на диференціації ділянок схилу на зони з домінуючим площинним мілким потоком (прямий вплив дощових крапель) та зони з малими каналами (струмками), де концентруються потоки. Струмки є основними елементами транспортування седиментів вздовж схилу. Глибина потоку в струмках значно більша (порядку сантиметрів) порівняно з глибиною широких площинних потоків (порядку міліметрів). Руйнування ґрунту в струмках відбувається головним чином за рахунок розмиву, тоді як основний механізм руйнування в міжструмковій області обумовлений енергією крапель дощу. Міжструмкові області є постачальниками седиментів для струмкових областей [8].

Змив і розмив ґрунту водними потоками можна умовно поділити на чотири періоди:

1. Початковий період: характеризується появою перших видимих ознак відриву ґрунтових частинок та агрегатів. Відбувається відрив неміцно зв'язаних частинок.

2. Інкубаційний період: після змиву верхнього розпушеного шару, виступи ґрунтової поверхні накопичують деформації та пошкодження від дії стоку. Відбувається послаблення зв'язків між ґрунтовими агрегатами та частинками.
3. Період масового відриву: "втомлені" виступи, агрегати та окремі частинки починають масово відриватися та виноситися потоком. Поверхня стає хвилястою, ямчасто-бугристою.
4. Період стабілізації: інтенсивність ерозії різко знижується. Це пояснюється зниженням швидкості течії схилового потоку внаслідок збільшення шорсткості ґрунтової поверхні, а також селективним залишенням на поверхні найбільш міцно зв'язаних частинок та агрегатів.

Відокремлені від основної маси ґрунту частинки та агрегати переміщуються шляхом ковзання, перекочування, сальтації (стрибкоподібно) або в суспензійному (завислому) стані. Їхній рух триває до зупинки біля перешкод або до ділянки, де завантаженість потоку перевищує його транспортуючу здатність. Великі струмки здатні транспортувати грудки діаметром до 10-15 см, які набувають колоподібної форми. Транспортуюча здатність струмків поділяється на два типи: струмки першого типу транспортують наноси, що надходять зі стоку пластових потоків та відірваний краплями матеріал, причому інтенсивний відрив частинок відбувається на обмілілих ділянках, що призводить до регресивного переміщення уступів. Струмки другого типу здатні до самостійного розмиву русла та транспортують наноси різних розмірів – від глинистих частинок до великих грудок. Тут відрив частинок відбувається завдяки енергії самого потоку та гідромоніторного ефекту струменів, що падають з мікроуступів. Також значна кількість ґрунту потрапляє в струмки в результаті обвалення берегів та підмитих уступів [8].

Здатність водних потоків відривати та транспортувати ґрунтові частинки визначається їхньою швидкістю, глибиною та турбулентністю. Відрив частинок від основної маси ґрунту відбувається під дією сукупності сил, включаючи лобовий тиск потоку, підйомну силу та тангенціальну складову сили тяжіння. Лобова сила пропорційна квадрату донної швидкості та площі перетину частинки. Підйомна сила виникає внаслідок розходження швидкостей обтікання нижньої та верхньої граней нерухомої частинки і пропорційна квадрату придонної швидкості потоку. Перешкоджають відриву частинок перпендикулярна поверхні схилу складова сили тяжіння, сили механічного утримання частинок коренями рослин та сила зчеплення частинки з масивом ґрунту.

За умови рівноваги всіх діючих сил переміщення частинок не відбувається, а потік характеризується нерозмиваючою швидкістю. Це найбільша швидкість потоку, за якої не відбувається переміщення частинок. При перевищенні швидкістю поверхневого стікання певного критичного значення досягається розмиваюча швидкість – найменша швидкість, за якої настає безперервний відрив ґрунтових частинок. Перевищення розмиваючої швидкості спричиняє руйнування ґрунту та переміщення продуктів руйнування вниз по схилу.

Внаслідок нерівності ґрунтової поверхні, схилове стікання відбувається у вигляді струмочків різного розміру, в які концентруються схилові потоки. Зі збільшенням величини схилового стоку площа покриття поверхні схилів стікаючими потоками збільшується, але повне затоплення поверхні, як правило, не відбувається. Концентрація схилових потоків у струмки має вирішальне значення в процесі змиву ґрунту, оскільки при гіпотетичному рівномірному розподілі стікаючої води по всій ширині схилу глибина була б надто малою, і швидкість стікання не перевищувала б розмиваючу швидкість. Завдяки поперечній концентрації схилового стікання, глибина потоків у струмках може досягати кількох десятків сантиметрів. Зокрема, під час

інтенсивних злив у середній та нижній частинах схилів формуються струминні розмиви або водомії з глибинами до 0,3-0,5 м. На привододільних частинах схилів, а також на міжструмкових просторах, де має місце так зване пластове (фактично дрібнострумкове) стікання, глибина схилових потоків вимірюється міліметрами [8].

1.3. Чинники проявів водної ерозії ґрунтів

Ерозія становить складову денудаційного процесу, який охоплює руйнування ґрунтів і гірських порід під дією дощових крапель, поверхневого стоку, а також переміщення й відкладання продуктів цього руйнування. На перебіг цього багатofакторного процесу впливає низка чинників.

А. Бертран і Г. Конке (1962) визначили ряд факторів, які сприяють відокремленню ґрунтових частинок від основної маси ґрунту:

- енергія дощових крапель;
- енергія поверхневого стоку води разом із переносом об'єктів (лід, каміння, пісок тощо);
- природні процеси, які впливають на фізичний стан ґрунту та його водопроникність (зволоження, висихання, замерзання, танення);
- антропогенні впливи, зокрема витогування тваринами та обробіток ґрунту, які спричиняють руйнування його структури та втрату гумусу — основної речовини, що виконує цементуючу функцію

У сучасних дослідженнях більш поширеним є покомпонентний підхід до класифікації груп чинників ерозії, який включає: кліматичні фактори (зливи, танення снігу, добові коливання температури), рельєфні (ухил, довжина й форма схилів у поздовжньому та поперечному напрямках, експозиція), а також властивості ґрунтів і гірських порід, наявність рослинного покриву. Ці природні чинники створюють сприятливі умови для розвитку ерозії, однак самотійно не виступають її безпосередніми причинами [12].

Рельєф є одним із ключових чинників, що впливають на розвиток водної ерозії. Перепади висот сприяють як змиванню, так і розмиванню ґрунтового покриву. Інтенсивність ерозійних процесів зростає зі збільшенням крутизни та довжини схилів: чим крутіший і довший схил, тим швидший потік води й потужніша його руйнівна дія. У нижній частині довгих схилів спостерігається накопичення води, що додатково посилює ерозію. Важливу роль відіграє й експозиція: схили північного, північно-східного, північно-західного та східного напрямків, завдяки меншій інсоляції, зазвичай менш уразливі до ерозії, тоді як південні, південно-східні, південно-західні та західні схили — через активніше прогрівання — зазнають сильнішого впливу. Також ерозійні процеси значно активізуються на опуклих формах схилів. Водночас основним чинником, що спричиняє інтенсивну ерозію, залишається антропогенний тиск, зокрема господарська діяльність людини [12].

РОЗДІЛ 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЯВІВ ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У СХІДНІЙ ЧАСТИНІ ВОЛИНСЬКОЇ ВИСОЧИНИ

2.1. Геологічна основа

У геоструктурному відношенні Волинська височина є частиною Східноєвропейської платформи, ускладненої Львівським палеозойським прогином. Докембрійський кристалічний фундамент упущений тут на глибину 5-7 км і перекривається складнобудованою товщею рифейських, кембрійських, ордовицьких, силурійських, девонських, кам'яновугільних, юрських і верхньокрейдових відкладів. Рельєф ложа антропогенових порід складений переважно верхньокрейдовими породами, представленими сірими, світло-сірими і білими мергелями, глинистою крейдою, писальною крейдою та крейдоподібними вапняками [4].

Східна частина Волинської височини, що охоплює території південного сходу Рівненської області, характеризується складною геологічною будовою, яка значною мірою зумовлює прояви ерозійних процесів. Геологічна основа цієї місцевості складається з декількох структурних поверхів, що формувалися впродовж тривалого геологічного часу й включають осадові, магматичні та метаморфічні породи різного віку.

У геологічній будові території беруть участь докембрійські, палеозойські, мезозойські та кайнозойські утворення. Найдавніші з них — кристалічні породи Українського щита, які виходять на денну поверхню або залягають неглибоко. Ці архейсько-протерозойські породи представлені головним чином гнейсами, гранітами, мігматитами, які є відносно стійкими до руйнування, однак відіграють важливу роль як фундамент для пізніших осадових відкладів.

На цій кристалічній основі залягають осадові товщі фанерозойського віку. Палеозойські відклади, переважно девонського та кам'яновугільного

періодів, представлені пісковиками, алевролітами, аргілітами, вапняками. На східному краї Волинської височини ці породи часто підстиляють більш молоді мезозойські та кайнозойські утворення. Мезозой представлений юрськими та крейдовими відкладами, серед яких переважають мергелі, глини, вапняки.

Особливу роль у формуванні сучасного рельєфу та розвитку ерозійних процесів відіграють кайнозойські породи, зокрема неогенові й четвертинні. Саме вони часто виступають безпосереднім субстратом для ґрунтоутворних процесів і є найбільш уразливими до ерозії. Неогенові утворення представлені пісками, піщаними глинами, мергелями, що мають слабку зв'язаність і легко розмиваються водними потоками. Четвертинні відклади поширені повсюдно і представлені лесовидними суглинками, супісками, делювіальними та алювіальними відкладами [6].

Значна потужність лесовидних суглинків, які характеризуються високою пилуватістю та слабкою структурою, створює передумови для формування глибоких ярів і балок у разі нераціонального землекористування. Найбільш ерозійно небезпечними є площі, складені лесовидними суглинками, що утворюють потужні товщі четвертинного покриву. У результаті антропогенного впливу (розорювання, вирубка лісів) ерозійна сітка в таких районах інтенсивно розвивається, особливо на схилах з ухилами понад 3–5°.

Важливою особливістю геологічної будови східної частини Волинської височини є тектонічна активність у геологічному минулому. Наявність тектонічних розломів, зон ослаблення, вплинула на морфологію поверхні, сприяла формуванню вододілів і глибоких долин, що, у свою чергу, активізує поверхневий стік. Саме такі ділянки часто стають осередками струмкової ерозії, особливо у поєднанні з пухкими породами [4].

Таким чином, геологічна структура східної частини Волинської височини створює сприятливі передумови для проявів ерозійних процесів. Поєднання лесовидних суглинків, слабозв'язаних неогенових і четвертинних порід,

тектонічної розчленованості та антропогенного навантаження формує комплекс природних чинників, що зумовлюють активний розвиток водної ерозії на цій території.

2.2. Рельєф як важливий чинник розвитку процесів

Рельєф є одним із провідних природних чинників, що визначає характер, інтенсивність та напрямок розвитку ерозійних процесів. У межах східної частини Волинської височини рельєф характеризується значною різноманітністю форм, що зумовлено як геологічною будовою, так і тектонічними рухами та денудаційними процесами.

Волинська височина представлена хвилястою, місцями горбистою рівниною, розчленованою долинами річок, ярами і балками. Абсолютні висоти поверхні коливаються від 200 до 300 м, окремі підвищення досягають 340–360 м. Ці умови сприяють формуванню значного перепаду висот, який у поєднанні з потужними четвертинними відкладами створює сприятливі умови для розвитку водної ерозії.

Характерною рисою східної частини височини є наявність численних ерозійних форм — ярів, балок, глибоких долин. Розчленованість рельєфу має яскраво виражений ерозійний характер, особливо в районах з лесовим покривом. Це пояснюється тим, що лесовидні суглинки мають низьку стійкість до розмивання, особливо на крутих схилах. В умовах відкритих схилів, де порушено природне рослинне покриття, процеси лінійної ерозії активізуються, утворюючи глибокі яри [2].

За генезисом рельєф території є денудаційно-аккумулятивним. Це означає, що поверхня формувалася як унаслідок руйнування (денудації), так і відкладання (аккумуляції) порід. В умовах порівняно значного ухилу поверхні (5–7°) і наявності потужних пухких відкладів, зокрема лесовидних суглинків, ерозійні процеси активно розвиваються на багатьох схилах. Такі схили особливо вразливі у періоди інтенсивних атмосферних опадів.

Суттєвий вплив на активізацію ерозії має мікрорельєф: наявність стародавніх долин, вододілів, залишкових горбів і пасм також створює сприятливі умови для розвитку ерозійних форм. Наприклад, пасма і горби, витягнуті з північного заходу на південний схід, сприяють спрямуванню поверхневого стоку й концентрації води у зниженнях. Це, в свою чергу, підсилює механічне руйнування ґрунтів, особливо в місцях, де ґрунт не закріплений рослинністю.

Окрему увагу слід звернути на ерозійне розчленування території. Воно досягає глибини 50–70 м, а щільність ерозійної сітки подекуди перевищує 2 км/км². Це свідчить про високу динамічність рельєфу та інтенсивне поверхневе змивання, що є типовим для східної частини височини [6].

Важливим є і вплив антропогенної діяльності, яка посилює дію природних чинників. У місцях розорювання схилів або вирубки лісів прискорюється розвиток ярів, особливо активні ерозійні процеси спостерігаються в районах, де рельєф поєднується з недотриманням протиерозійних заходів.

Рельєф східної частини Волинської височини виступає одним із головних чинників, що визначає інтенсивність розвитку ерозійних процесів. Його морфометричні характеристики, геоморфологічна структура та сучасне використання території формують природне середовище, у якому ерозія має сприятливі умови для поширення.

2.3. Ґрунти регіону

Ґрунтовий покрив східної частини Волинської височини має складну й мозаїчну будову, що сформувалася під впливом різноманітних природно-географічних чинників. Основу ґрунотворного процесу тут становлять лесовидні суглинки, алювіальні та делювіальні відклади, які значною мірою зумовлюють типи ґрунтів та їх стійкість до ерозійних процесів. У межах східної частини височини переважають

дерново-підзолисті, сірі та темно-сірі опідзоленими ґрунти. Їх поширення тісно пов'язане з типом материнських порід та рослинності, що історично панувала в регіоні — переважно широколистяні та мішані ліси [6].

Дерново-підзолисті ґрунти, які сформувалися на пісках і супіщаних породах, є менш родючими. Вони мають низький вміст гумусу (0,5–1,5%), кислу реакцію середовища, слабку структурність. Їхня водопроникність добра, але внаслідок цього вони також є більш схильними до площинного змиву в умовах рясних опадів. Особливо це характерно для ділянок з розораною поверхнею та відкритими схилами.

Сірі та темно-сірі опідзолені ґрунти мають вищу родючість, формуються на лесовидних суглинках, мають грубозернисту структуру, гумусовий горизонт досягає 20–30 см. Темно-сірі опідзолені ґрунти вважаються найпродуктивнішими у зоні широколистяних лісів. Проте навіть ці ґрунти піддаються ерозійному руйнуванню при неправильному землекористуванні — особливо на схилах з ухилами понад 3–5° [6].

Важливу частину ґрунтового покриву становлять також змиті та слабозмиті ґрунти, що виникли внаслідок тривалих ерозійних процесів. В умовах активного сільськогосподарського освоєння, значні площі займають еродовані варіанти ґрунтів, у яких частково або повністю втрачено гумусовий горизонт. Це спричиняє різке зниження їх продуктивності та підвищує ризики подальшої деградації.

У заплавах річок і на перезволожених ділянках сформувалися дерново-глейові, лучні та торфово-болотні ґрунти. Їхня роль у ерозійних процесах є меншою, однак вони мають велике значення у водно-регуляторній функції ландшафтів. При осушенні або надмірному навантаженні вони деградують, утворюючи просадки, втрату вбирної здатності, що також опосередковано сприяє порушенню рівноваги ландшафту [6].

Отже, ґрунти східної частини Волинської височини, попри природну родючість, є вразливими до водної ерозії. Особливої уваги потребують сірі

лісові та опідзолені ґрунти, які за умов правильного землекористування можуть залишатися стабільними, але за інтенсивного обробітку — швидко деградують.

2.4. Характеристика клімату

Клімат східної частини Волинської височини є помірно континентальний з м'якою зимою, теплим літом і достатнім зволоженням протягом року. Визначається впливом повітряних мас переважно атлантичного походження.

Середньорічна температура повітря в регіоні становить $+7,0...+7,5$ °С. Найхолоднішим місяцем є січень, середня температура якого коливається від $-4,0$ до $-5,5$ °С, а найтеплішим — липень ($+18,5...+19,5$ °С). Такі коливання температур є характерними для територій з континентальним кліматом, і вони впливають на розвиток процесів вивітрювання, промерзання ґрунтів і, відповідно, ерозійних явищ [6].

Опади в регіоні випадають рівномірно протягом року, однак переважна їх кількість припадає на теплу пору року. Річна кількість опадів становить 600–700 мм, із них до 70 % припадає на теплий період (квітень–жовтень). Особливо небезпечними для ерозійних процесів є сильні зливи. У літній період часто спостерігаються зливові опади, які можуть перевищувати 30–50 мм за кілька годин. За таких умов на відкритих схилах, де відсутній дерновий покрив, формується інтенсивний поверхневий змив, що спричиняє утворення борозен і мікроярів.

Важливе значення має також сніговий покрив і характер зими. Висота снігового покриву у середньому становить 15–25 см, а тривалість залягання — 60–80 днів. Однак сніг не завжди є рівномірним: його переміщення вітром, особливо на відкритих ділянках, призводить до утворення снігових наносів і оголених місць. Під час весняного танення це спричиняє нерівномірне зволоження ґрунту і утворення тимчасових потоків, які активізують ерозію.

Вітровий режим також має значення для кліматичної характеристики. Переважають західні та північно-західні вітри, середньорічна швидкість — 3–5 м/с. У поєднанні з відкритим рельєфом це може посилювати як зимове знесення снігу, так і підсушування верхнього шару ґрунту влітку.

Кількість днів з активною температурою вище +10 °С складає 140–160 на рік, що визначає тривалість вегетаційного періоду. Цей період є критичним у контексті ерозійної небезпеки, адже збігається з періодами найбільшої інтенсивності обробітку землі й випадіння зливових опадів [6].

Кліматичні умови східної частини Волинської височини формують передумови для розвитку як площинної, так і лінійної водної ерозії. Значна кількість опадів у теплу пору року, часті зливи, промерзання ґрунту взимку, а також танення снігу навесні — усе це спричиняє активізацію ерозійних процесів на розораних і відкритих схилах. Тому клімат є одним із ключових чинників, який необхідно враховувати при оцінці ерозійної небезпеки регіону.

2.5. Ландшафтна структура

Ландшафтна структура східної частини Волинської височини є складною й формувалася під впливом поєднання геологічної будови, кліматичних умов, рельєфу, гідромережі та ґрунтового покриву. Східна частина височини входить у межі Малолісся та Лісостепу. Ці регіони характеризуються поєднанням хвилястих вододільних плато, ерозійно-денудаційних схилів та річкових долин, що обумовлює високу мікрорельєфну диференціацію.

В ландшафтній структурі переважають сухі та вологі лісостепові агроландшафти на лесовидних суглинках. Найбільш поширені ландшафти — дерново-середньогумусні, слабо- та середньоєродовані, розорані, з фрагментами широколистяних лісів. Таке поєднання природного й антропогенного ландшафту створює передумови для розвитку лінійної ерозії, особливо на межах між полями, лісовими смугами та балками.

У межах Волинської височини трапляються горбисто-рівнинні ландшафти з мозаїчним чергуванням сільськогосподарських угідь і лісових масивів. Такі ландшафти зазнали істотної трансформації внаслідок господарської діяльності — зменшення лісистості, розорювання схилів, осушення боліт. Це підвищує чутливість території до гідрометеорологічних коливань і спричиняє деградацію схилів під дією зливових опадів.

У зниженнях рельєфу сформувалися лучно-болотні ландшафти, які виконують важливу буферну функцію — затримують поверхневий стік, знижують ерозійну енергію потоків. Однак їх осушення й господарське використання знижує цю здатність. Осушені ділянки втрачають природну регулюючу роль, а на їх місці сформувалися нестійкі агроландшафти з підвищеною ерозійною небезпекою [6].

Ще однією характерною ознакою є значна ерозійна розчленованість ландшафтів. На східних схилах Волинської височини яружно-балкові системи стали основними елементами морфології. Таким чином у межах ландшафтної структури території виникають ерозійні процеси, які розвиваються з різною інтенсивністю залежно від типу ландшафту, його використання та стійкості до зовнішнього впливу.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

3.1. Лабораторний аналіз ґрунтів

Мікрогорбкуваті поверхні поміж ерозійними улоговинами зазнають активної площинної ерозії. Для підтвердження її проявів нами були проведені польові і лабораторні дослідження ґрунтів. Під час польових досліджень відібрано чотири зразки ґрунту (рис. 1), де перший зразок був взятий з вершини мікровододілу, другий – з привододільної, третій – придолинної частин схилу, які мають різні ступені змитості ґрунтів, а четвертий – з днища мікроулоговини, де відбувається акумуляція матеріалу.



Рис. 1. Досліджувана ділянка біля с. Могіляни, де були взяті зразки ґрунту

У лабораторії зразки ґрунтів довели до повітряносухого стану, бо під впливом мікробіологічних процесів у вологих зразках змінюються їхні властивості. Для просушування зразки розсипали тонким шаром на великому листі щільного паперу. Пінцетом відділили новоутворення і включення (ортштейни, журавчики, каміння, коріння та ін. рослинні рештки), прикривши зверху листом паперу, залишили на 3 доби. Після висушування зразки ґрунтів з етикеткою перенесли у картонні коробки. На поверхні коробки вказали місце взяття зразка, номер розрізу, глибину і дату відбору зразка та лабораторний номер, який фіксується у книзі реєстрації ґрунтових зразків. Зразки ґрунтів розмістили на полицях у керносковищі. Аналіз проводили з

повітряно-сухими зразками, розтертими та просіяними через сито, діаметр отворів якого – 1 мм [11].

Першочерговим було з'ясування вмісту гумусу, який є одним із показників еродованості ґрунтів, методом Тюріна в модифікації Нікітіна. Метод полягає в окисненні органічної речовини ґрунту хромовою сумішшю в сильноокислому середовищі під час нагрівання у термостаті за температури 150°C. Вміст Карбону визначали за оптичною щільністю, виміряною на спектрофотометрі при довжині хвилі 590 нм та порівнюючи з калібрувальним графіком, який будують за стандартним розчином глюкози або сахарози [11].

Хід виконання роботи: на аналітичній або торзійній вазі зважили 0,1–0,5 г, залежно від передбачуваного вмісту гумусу, ґрунту, помістити його в колбу об'ємом 100 мл. З бюретки додали 20 мл 0,4 н хромовоокислої розчину, колбу закрили лійкою, обережно перемішали. Поставили на 20 хв. у термостат, попередньо нагрітий до температури 150°C (час нагрівання відлічується з моменту досягання температури 150°C). Колби ставили на віддалі від стінок термостата на 3–4 см для забезпечення рівномірного нагрівання. Через 20 хвилин вийняли колби й охолодили. Розчин довели дистильованою водою до об'єму 50 мл, перемішали скляною паличкою і залишили на дві доби, після чого колориметрували при довжині хвилі 590 нм. Для порівняння як оптичний нуль використовують розчин холостої проби, для чого у термостат одночасно з дослідними колбами ставили 1–2 колби з хромово-кислою сумішшю (без ґрунту). Вміст гумусу обчислили за формулою: $X = \frac{A * 1,724 * 100}{c} * K$, де

- А – вміст Карбону, знайдений за калібрувальним графіком, мг;
- 1,724 – коефіцієнт перерахунку вмісту Карбону на вміст гумусу;
- с – наважка ґрунту;
- К – коефіцієнт гігроскопічності [11].

Вміст загального Карбону знаходили за калібрувальним графіком. Побудова калібрувального графіка: на аналітичній вазі зважили 2,5022 г глюкози або 2,3771 г сахарози та розчинили, в 1 л дистильованої води, використавши мірну колбу. В 1 мл такого розчину міститься 1 мг Карбону. У п'ять мірних колб додали послідовно 2,5; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 мл розчину глюкози чи сахарози. Випарили розчин на водяній бані, додали 20 мл хромової суміші. Одночасно приготували холосту пробу. Всі колби на 20 хвилин помістили у термостат, нагрітий до температури 150°C. Охолодили, довести до 50 мл дистильованою водою. Через добу-дві – колориметрували. За знайденими величинами оптичних щільностей і відомим вмістом Карбону побудували калібрувальний графік. По осі абсцис відклали вміст Карбону (мг), ординат – оптичну щільність розчинів (показ колориметра чи спектрофотометра).

Наступним кроком було визначення вмісту вуглекислого газу ґрунтових карбонатів. Вичислення вуглекислоти ґрунтових карбонатів дає змогу встановити ступінь карбонатності ґрунтів і обчислити вміст у ґрунті кальцій карбонату. Виконуючи масові аналізи визначення CO₂ карбонатів, користуються приладом – кальциметром (рис. 2) [11].

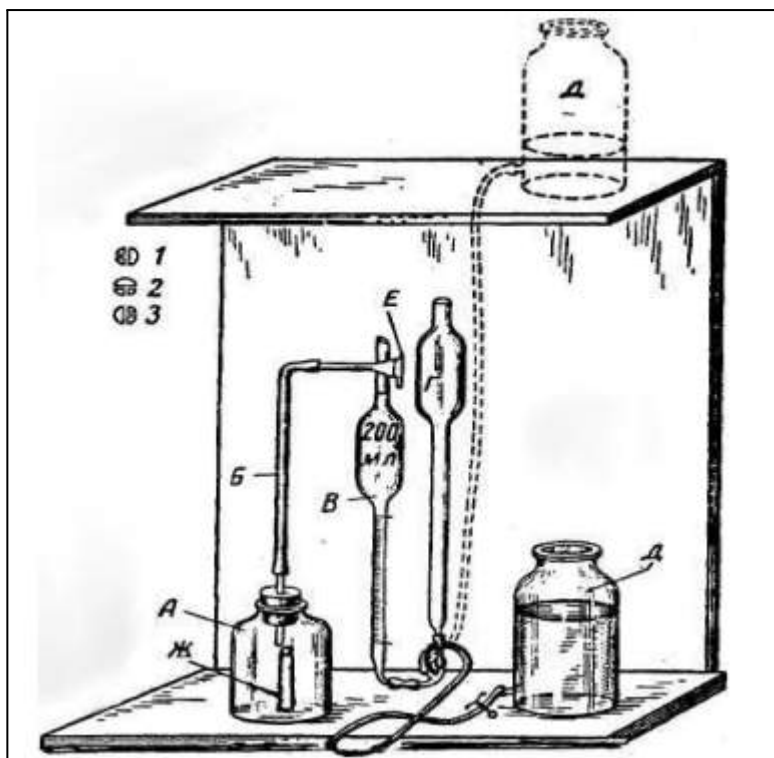


Рис. 2. Кальциметр

Хід виконання роботи: на вазі ВЛТК-500 зважили 1 г повітряно-сухого ґрунту, просіяного через сито, діаметр отворів якого – 1 мм. Наважку ґрунту обережно перенесли на дно бутля *А* так, щоб ґрунт не потрапив у скляну трубку, припаяну до дна бутля. Для цього найліпше зважити ґрунт у пробірці, з якої потім перенести всю наважку в бутель. У скляну трубку, що розміщена на дні бутля, обережно з бюретки або піпеткою, налили 10 мл 10% розчину НСІ. Після цього бутель закрили корком. Рівень води в трубках *Г* і *В* необхідно встановити на однаковій висоті (на нуль). Триходовий кран повернули до положення *1*, бутель *Д* з водою підняли на верхню полицку і відкрили затискач. Як тільки рівень води в трубі *В* досягнув нульової поділки, затискач закрили, а триходовий кран перевели у положення *2*. Бутель *А* перевертають так, щоб уся кислота, що знаходиться у скляній трубці *Ж*, опинилась на дні бутля і змочила ґрунт. Соляна кислота енергійно реагує з карбонатами ґрунту і вуглекислий газ, який виділяється, збирається у верхній частині трубки *В*. Вода в ній опускається і переходить у трубку *Г*. Тоді зняли

бутель *D* з верхньої полицки та поставили його на нижню, послабили затискач, доки вода в трубках *B* і *Г* знову опиниться на одному рівні. В результаті цього знову виникає однаковий атмосферний тиск над рідиною в обох трубках. Затискач закрили. Вміст бутля *A* струсили. Нова порція CO₂, що виділиться, опустить рівень води в трубці *B*. Послаблюючи затискач вдруге, чекають доти, доки тиск в обох трубках вирівняється, закривають затискач. Такі дії повторюють, поки рівень води в трубці *B* залишиться незмінним. Об'єм CO₂ буде становити кількість мілілітрів над водою у трубці *B*. Триходовий кран повернули у положення 3. Зафіксували температуру і тиск.

Вміст вуглекислого газу у ґрунті визначають за формулою: $CO_2 = \frac{a * 100 * K}{c}$,

де

- CO₂ – вміст вуглекислого газу ґрунтових карбонатів, %;
- *a* – вага визначеного об'єму CO₂, г;
- *c* – наважка повітряно-сухого ґрунту, г;
- *K* – коефіцієнт гігроскопічності ґрунту;
- 100 – множник перерахунку у відсотки [11].

Останнім кроком було визначення гранулометричного складу ґрунту методом піпетки. В основі цього методу лежить закон падіння твердих частинок у воді і зводиться він до відстоювання твердих частинок у стоячій воді протягом визначеного часу.

Хід виконання роботи: у фарфорову чашку (діаметром 10–12 см) насипали 10 г ґрунту (просіяного через сито, діаметр отворів якого – 1 мм), додають 10 мл 4% розчину натрій пірофосфату (Na₄P₂O₇). Суміш відстоюється 5-10 хв, після чого її розтерли гумовим товкмачиком до стану однорідної маси. За допомогою промивалки змили з товкмачика та стінок фарфорової чашки частинки, що прилипли, і довели суміш до однорідного стану. Суспензію через лійку з ситом (діаметр отворів 0,25 мм) перенесли у

циліндр об'ємом 500 або 1000 см³. Встановили необхідний об'єм рідини в циліндрі і визначили вміст гранулометричних фракцій методом піпетки. Частинки, розміри яких більші 0,25 мм, що залишилися на ситі, збирають у просушений при температурі 105°C алюмінієвий бюкс. Воду випаровують, а фракції висушують у сушильній шафі протягом 3-х годин при температурі 105°C і зважують. Знаючи початкову масу проби (10 г) і масу фракції більше 0,25 мм, визначили відсотковий вміст останніх. Далі визначили вміст частинок розмірами менше 0,05 мм. Для цього суспензію у циліндрі збовтували протягом хвилини мішалкою. Циліндр залишили у стані спокою приблизно на хвилину, залежно від температури суспензії. В окремий циліндр з водою ставлять термометр і вимірюють температуру суспензії. Після цього спеціальну піпетку занурюють на потрібну глибину і відбирають пробу, для чого піпетку опускають у суспензію на 5–10 секунд до моменту відбору проби. Пробу переносять у раніше висушений та зважений бюкс. Піпетку після відбору промивають дистильованою водою. Воду із бюкса випаровують, а його вміст висушують протягом трьох годин при температурі 105°C та зважують. Різниця між вагою бюкса з пробкою і вагою самого бюкса дає вагу проби у відібраному об'ємі суспензії. Аналогічно відбирають проби дрібнішого розміру. Відсоткове значення виділених фракцій визначили за

формулою: $X_{\%} = \frac{m_{\%} * V_1 * 100}{V_2 * c} * K$, де

- $m_{\%}$ – маса фракції, г;
- V_1 – об'єм циліндра;
- 100 – коефіцієнт перерахунку на 100 г ґрунту;
- V_2 – об'єм піпетки;
- c – наважка ґрунту, яка взята для аналізу, г;
- K – коефіцієнт гігроскопічності [11].

Разом з тим масу фракції потрібного розміру знайшли, віднімаючи від маси фракції більшого діаметра масу фракції меншого діаметра. Наприклад, щоб знайти масу фракції 0,05–0,01 мм, потрібно від маси фракції менше 0,05 мм (перший відбір) відняти масу фракцій менше 0,01 мм (другий відбір). Відбір фракцій 0,25–0,05 мм знайшли за різницею між 100% та сумою відсоткового вмісту всіх інших фракцій [11].

3.2. Методи дистанційного зондування Землі

Одним із засобів ведення моніторингу еродованості ґрунтового покриву є супутникові дані. Вони дають можливість оперативного та точного моніторингу й оцінки площинних змивів на великих територіях, що є важливим для виявлення та запобігання деградації земель [3].

Для виявлення сучасних проявів площинної ерозії на території східної частини Волинської височини були використані супутникові знімки з просторовим розрізненням 1 м/пікс, отримані з ресурсу Google Earth Pro. Ознаки ерозії ідентифікувалися на зображеннях високої роздільної здатності у вигляді білуватих, аморфних плям на поверхні полів. Характерною особливістю є поступове збільшення світлоти плям від країв до центру. Візуально ці утворення легше розпізнати на зораних ділянках, особливо в ранньовесняний або пізньоосінній періоди, коли рослинність відсутня або ослаблена. Застосування такого методу дає змогу оперативно локалізувати ділянки з високим ризиком деградації ґрунтів [14].

Для порівняння з актуальним станом місцевості станом на 2025 рік було використано супутникові знімки з платформи EO Browser, які мають просторове розрізнення 10 м/пікс. Незважаючи на те, що прояви ерозійних процесів на таких зображеннях відображаються менш чітко, вони надають цінну інформацію щодо змін у природокористуванні, структури землекористування та меж полів.

3.3. ГІС-аналіз і гідрологічне моделювання

У ході дослідження проявів ерозійних процесів на східній частині Волинської височини було застосовано ГІС-технології та проведено гідрологічне моделювання. Це дозволило просторово оцінити ерозійну активність і виявити найбільш уразливі до водної ерозії ділянки.

Застосування методів геоінформаційних систем (ГІС) дає змогу створювати високоточні цифрові моделі рельєфу (ЦМР), що дозволяє простежити просторову приуроченість змивів до конкретних елементів рельєфу. Деталізовані ЦМР забезпечують можливість визначення густоти та просторового розташування мікроулоговин, які виступають основними шляхами стоку води під час інтенсивних дощів. Використання багатоспектральних супутникових знімків сприяє оцінці стану рослинного покриву: на еродованих ділянках спостерігається зниження щільності або повна відсутність вегетації. Аналіз спектральних характеристик ґрунтів із космічних зображень щодо вмісту органічної речовини дає змогу виявити потенційно ерозійно небезпечні зони з низьким вмістом гумусу. Такий підхід є ефективним інструментом для моніторингу стану земель і прийняття обґрунтованих рішень щодо їх захисту. Він також дає змогу вчасно реагувати на динаміку ерозійних змін та планувати заходи зі стабілізації схилів [14].

Було обрано кілька ключових ділянок із різними формами прояву ерозійних процесів. Для деталізації просторового поширення цих процесів у межах елементів рельєфу були використані цифрові моделі рельєфу. У програмному середовищі QGIS було встановлено модуль Open Topography DEM Downloader, за допомогою якого завантажено ЦМР Copernicus Global DSM з розрізненням 30 м. Надалі застосовувався програмний продукт SAGA, інструменти якого через інтерфейс QGIS дозволили провести гідрологічне моделювання. Суть моделювання полягає в тому, що умовні потоки води

переміщуються з пікселів з більшою висотою в напрямку до сусідніх із меншою висотою. Послідовність таких пікселів формує дренажні мережі (drainage networks), які відображають напрямки руху поверхневого стоку схилами [14]. Саме дрібні, густо розгалужені потоки є основними чинниками розвитку площинної ерозії. Для точнішого аналізу морфогенезу та інтерпретації проявів ерозії були інтегровані цифрові моделі рельєфу, супутникові знімки та векторні шари напрямку потоку (flow direction) у єдине аналітичне середовище.

РОЗДІЛ 4. ПОШИРЕННЯ ТА РОЗВИТОК ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕРИТОРІЇ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ВОЛИНСЬКОЇ ВИСОЧИНИ

4.1. Мікроуловинна мережа

Вся прильодовикова зона Східноєвропейської рівнини характеризується поширенням мікроулоговинної мережі, що сформувалася внаслідок впливу холодних субарктичних умов плейстоцену.

Східна частина Волинської височини переважно вкрита товщею четвертинних відкладів, де домінують леси, утворюючи майже суцільний покрив загальною потужністю до 25 м і більше. Лесовий покрив є одним із визначальних чинників формування сучасного мікрорельєфу території. Лесово-грунтова товща Волинської височини утворилася в результаті чергування теплих і холодних періодів плейстоцену. Дослідники виділяють кілька палеокріогенних етапів, які зафіксовані у лесово-грунтовій товщі височини. Крайнім з них був красилівський палеокріогенний етап, з яким пов'язують походження полігонального мікрорельєфу Волинської височини [9]. Цей мікрорельєф суттєво впливає на локальне поширення водних ерозійних процесів, створюючи умови для формування як площинної, так і лінійної ерозії.

У другій половині ХХ століття було встановлено, що практично на всіх основних геоморфологічних рівнях спостерігається залишково-мерзлотний мікрорельєф, який отримав назву реліктової кріогенної морфоскульптури або кріогенного мікрорельєфу. Спочатку виникнення таких структур пояснювали прямим кліматичним впливом льодовикових покривів. Території, які зазнавали дії холодного клімату, але залишалися поза межами зледеніння, стали відомі як перигляціальні області. Згодом було з'ясовано, що просторовий зв'язок між зонами зледеніння та перигляціалу не завжди є безпосереднім. Палеокріогенні структури мають широке географічне поширення, що свідчить про їх формування не лише під прямим впливом льодовиків, а й у результаті дії загального кліматичного охолодження [16].

Вивчення цих структур дозволяє краще зрозуміти давні кліматичні умови та їхній вплив на сучасний рельєф території.

Ще на початку 60-х років було виявлено, що ознаки давніх перигляціальних процесів виразно проявляються у сучасних ландшафтах середньої та південної частин Східноєвропейської рівнини. Наприклад, на свіжо зораному полі в північно-західній частині України помітна нерівномірність кольору гумусового горизонту: на загальному темному фоні проглядаються світліші плями. Їхнє виникнення пов'язують із площинним змивом гумусу з підвищених ділянок, де ґрунт менше захищений від дії води. Ці світлі зони часто повторюють форму стародавніх морозобійних полігонів, що утворилися внаслідок палеокріогенних процесів. Розміри сучасних структур добре узгоджуються з формами давніх полігональних тріщин, що свідчить про спадковість рельєфу. Такий мікрорельєф має значний вплив на розвиток ерозійних процесів і просторову неоднорідність ґрунтового покриву [2].

Завдяки великомасштабним космічним дослідженням вдалося виявити широке поширення полігонального мікрорельєфу в межах усієї позальодовикової зони, зокрема в східній частині Волинської височини. Основою формування характерної ерозійної сітки слугує реліктовий кріогенний генезис. У період плейстоценових зледенінь сформувалися морозні клини, які були заповнені осадовим матеріалом, відмінним за своїми властивостями від навколишніх порід. У сучасну геологічну епоху ці структури стали орієнтирами для розвитку ерозійної мережі. На супутникових знімках рельєф проявляється як система темних вузьких смуг (пониження, лощини) та світлих плям (мікропідвищення), де найактивніше проявляються площинні змиви. Це поєднання рельєфу та ґрунтово-рослинного покриву зумовлює специфічну просторову структуру ерозійних процесів. Таким чином, сучасна дренажна система значною мірою

наслідуює палеокріогенні форми, що підсилює селективність змивів на ділянках із різною мікроморфологією [1, 13, 15].

4.2. Форми прояву ерозійних процесів на досліджуваній території

4.2.1. Прояви лінійної ерозії

Завдяки використанню багатозонального знімання у межах східної частини Волинської височини біля с. Бабин вдалося здійснити класифікацію природокористування території. Використовуючи встановлений плагін dzetsaka в QGIS, був зроблений автоматичний розподіл досліджуваної території (рис. 3). Класифікація дозволила виділити і спостерігати певне поширення мікроулоговинної мережі та горбкуватих поверхонь зі змивами.



Рис. 3. Класифікація досліджуваної території за допомогою плагіну dzetsaka в QGIS

Окремо на цій же ділянці проведено векторизація улоговин для виокремлення форм лінійної ерозії в межах двох поширених морфологічних типів мережі: горбисто-западинної та деревовидної (рис. 4).

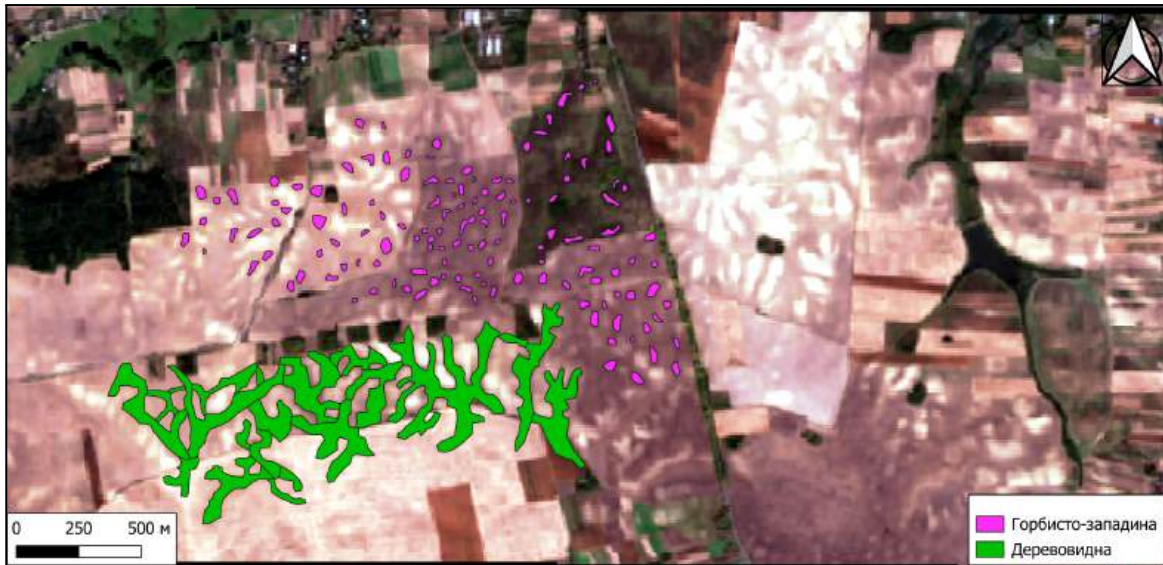


Рис. 4. Векторизація окремих форм мікроулоговинної мережі

Додатково було виконано ряд морфометричних карт. Середні абсолютні висоти становлять 190–210 м, максимальні сягають 244 м (рис. 5). Перевищення висот становить 64 м. Було виділено 2 морфологічних типи мікроулоговинної мережі на досліджуваній території – деревовидна або дендритова і западинна. Дендритова мережа приурочена до невисоких схилових поверхонь в межах 180–200 м. Западинна мережа займає найвищі висоти території, зокрема, 240–245 м.

Дендритова мережа включає короткі (70-90 м довжини) і довгі (до 500 м) улоговинні форми, які з'єднані між собою під гострими кутами. Дві малі форми поступово переходять в одну більшу, яка, в свою чергу, зливається з сусідніми більшими формами, утворюючи дендритову систему. Початкові ланки цієї мережі в основному звивисті, тоді як великі форми – майже прямолінійні. Ця мережа узгоджена із ухилом поверхні і представляє собою стік струменевих потоків. Вона приурочена здебільшого до придoliniх схилів межиріч із ухилами у 2-3°. Для кожної конкретної мікроулоговини характерне збільшення розмірів (глибини, ширини форми) вниз по схилу. У цьому ж напрямку зростає і вираженість форми в рельєфі. Часто вниз по схилу улоговини плавно переходять в малі долини рік.

Западинна мережа має вигляд невеликих розширень і звужень по довжині основної форми. Розширення – це западини, в яких збирається стік з довколишніх схилів, звуження – канали між ними. Ця мережа не є протяжною – лощини мають довжину 100-250 м. Зустрічаються як вузькі – 8-10 м, так і широкі форми – до 35 м. Мережа має звивисту форму. Іноді утворює кільцеподібну систему, коли короткі лощини описують ніби кільце навколо мікропідвищення. Приурочена здебільшого до привершинних частин схилів межиріч.

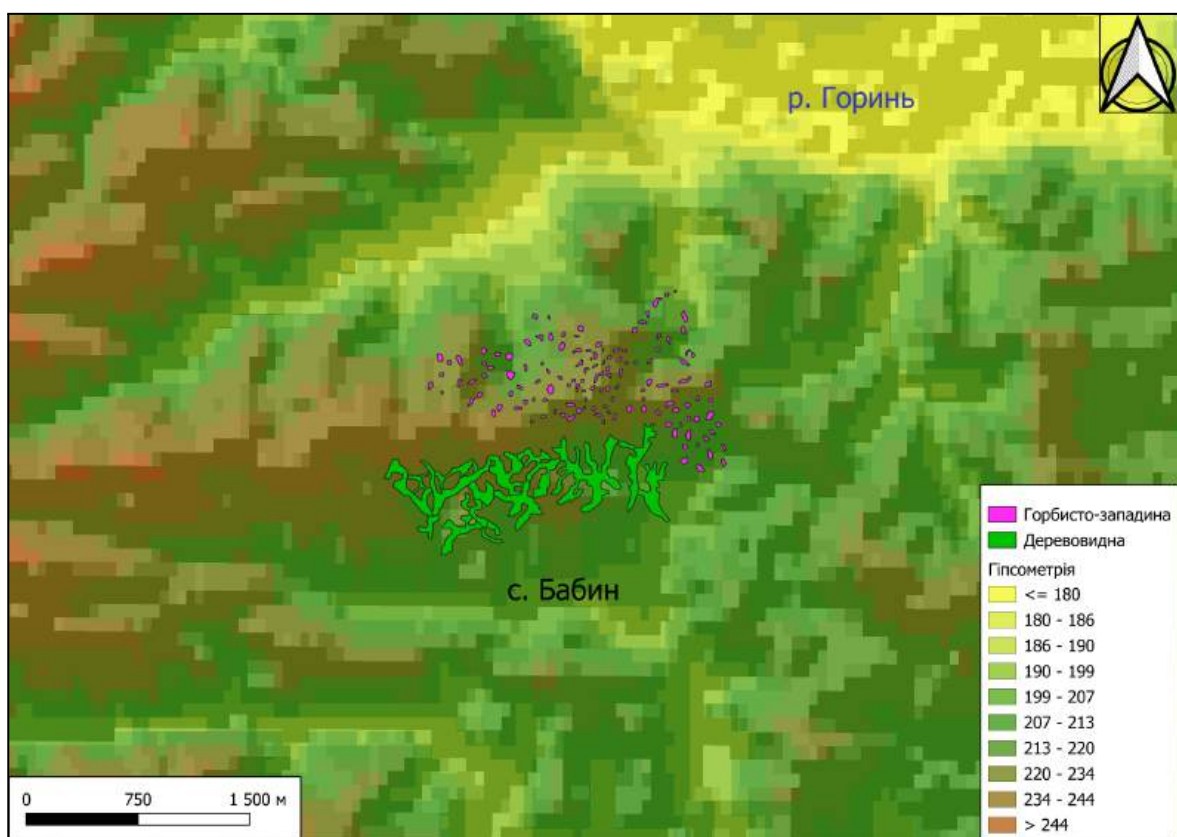


Рис. 5. Гісометрична схема досліджуваної ділянки, виконана в QGIS

Досліджуючи приуроченість мікроулоговиної мережі до експозиції схилів, констатуємо, що чіткої залежності в цілому на території не виявляється. Проте на нашій невеликій ділянці можна бачити, що деревовидна мережа улоговин розвивається на схилах південної експозиції, а западинна мережа більше поширена на схилах північної експозиції (рис. 6).

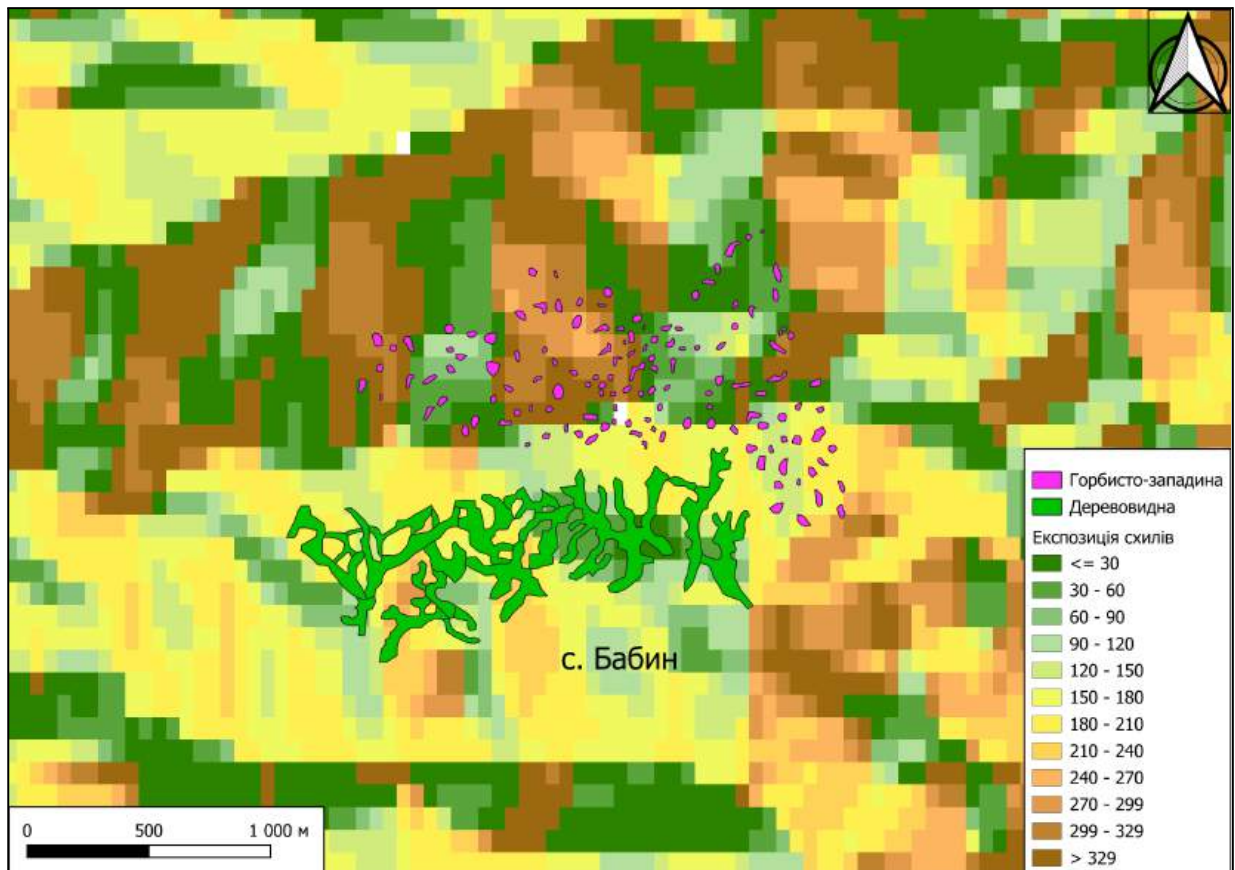


Рис. 6. Картосхема експозиції схилів, виконана в QGIS

Побудована ще одна карта, яка виражає розчленованість рельєфу, зокрема вертикальні перевищення. Для досліджуваної ділянки характерні незначні вертикальні перевищення. Мікроулоговинна мережа приурочена до привершинних ділянок, які мають перевищення до 10 м (рис. 7).

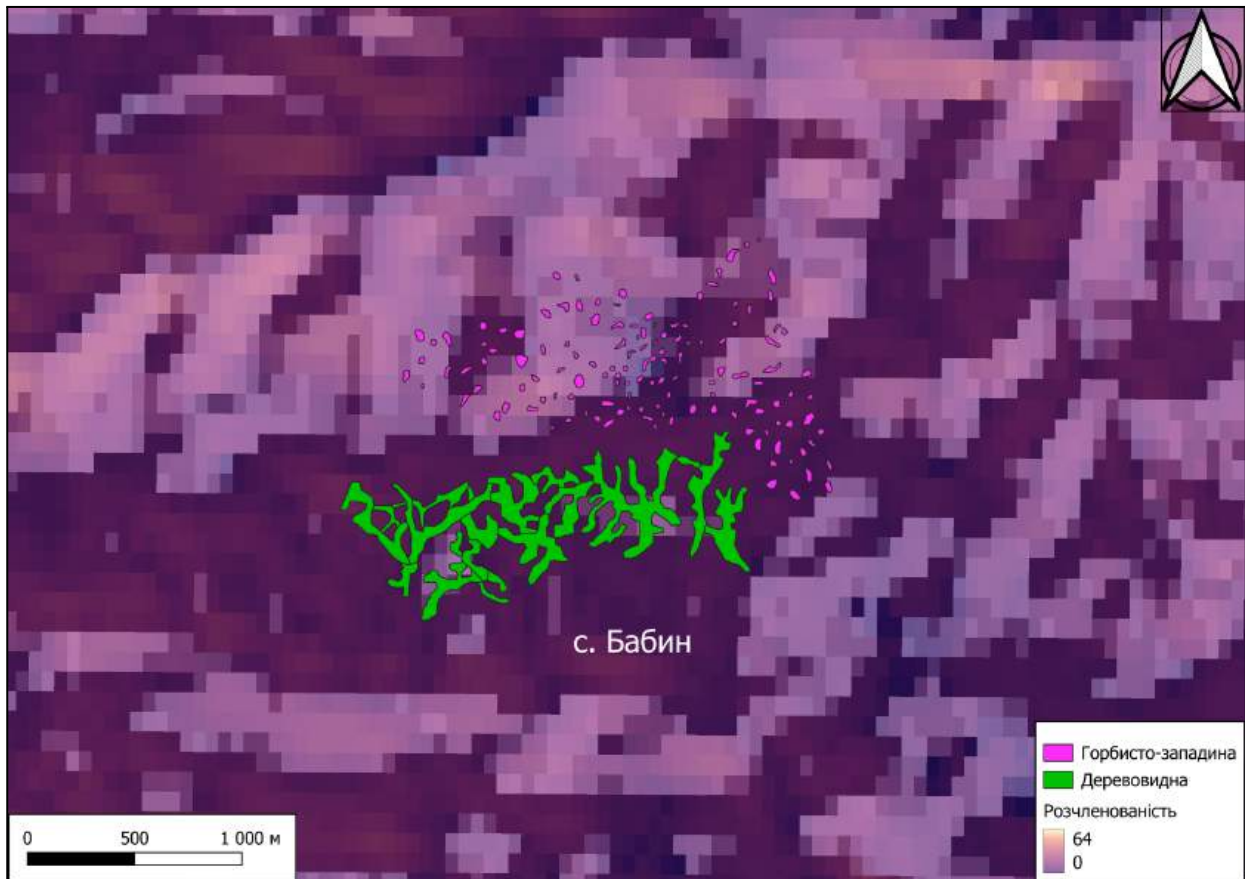


Рис. 7. Картохема розчленованості рельєфу, виконана в QGIS (в м)

4.2.2. Форми прояву площинної ерозії

На основі аналізу даних дистанційного зондування Землі ми ідентифікували різноманітні форми прояву площинної ерозії в межах східної частини Волинської височини. Їх виникнення пов'язане зі специфікою формування мікроулоговинної ерозійної сітки в лесовому покриві, на мікрковододільних ділянках якої інтенсивно розвиваються змиви, а також із локальними денудаційними поверхнями. Ерозійна сітка виступає зоною акумуляції матеріалу, винесеного з навколишніх ділянок. На міжерозійних підвищеннях, що мають характерні морфологічні риси, активно діє площинна

ерозія. Аналіз просторового розподілу цих форм підтверджує залежність сучасних ерозійних процесів від особливостей мікрорельєфу та генетичної будови лесової товщі.

У результаті досліджень виділяємо такі планові форми площинної ерозії: 1) округло плямисту, розвинену на привододільних поверхнях; 2) розгалужену, поширену на придолинних поверхнях (sheet erosion); 3) масивну, поширену на місцевостях, де близько до поверхні підходять корінні неогенові породи [14].

Перший тип площинної ерозії формується на округлих мікропідвищеннях, навколо яких прокладаються короткі мікроулоговини, що створюють кільцеподібну конфігурацію (рис. 8 а). Глибина таких лоцин сягає до 1 метра, а їх довжина — 30–40 метрів до моменту злиття з іншими ерозійними формами. Ці мікроформування є малопомітними під час польових досліджень, проте добре візуалізуються на великомасштабних супутникових знімках. Привододільні поверхні мають незначний нахил, через що струмені дощових вод радіально спрямовуються в улоговини. Завдяки підвищеній зволоженості та вмісту гумусу ґрунти у лощинах виглядають на знімках темнішими, тоді як на підвищеннях, де гумусу менше, відображення світліше. Площа самих мікропідвищень становить близько 0,2–0,3 га, а зона активного змиву, розташована у верхній частині підвищення, охоплює 0,05–0,15 га.





б

Рис. 8. а – округлоплямисті форми змивів; б – розгалужені форми змивів у межах дендритової мережі

Другий тип форм площинної ерозії спостерігається в районах поширення дендритової ерозійної мережі (рис. 8 б). На мікрододільних ділянках між улоговинами змиви мають витягнуту форму. Така мережа складається з коротких (70–90 м) та довгих (до 500 м) улоговин, які з'єднуються між собою під гострими кутами. Її формування найхарактерніше для схилів у придолинних зонах з нахилом 2–3°, де рельєф більш виразний. Тут спостерігається посилена концентрація та прискорення струменевих потоків, що зумовлює інтенсивніше винесення пухкого ґрунтового матеріалу. Як наслідок, ступінь еродованості та площа уражених ґрунтів значно більші, ніж у попередньому типі. Зокрема, розміри еродованих ділянок у межах одного мікрододілу дендритової мережі варіюють від 0,3 до 1,1 га.

Однією з ключових діагностичних ознак еродованих ґрунтів є концентрація гумусу в орному горизонті, що проявляється через інтенсивність темного забарвлення ґрунтової поверхні. Ступінь еродованості можна визначити за кольором ріллі, не вкритої рослинністю. Цей показник особливо добре фіксується на супутникових знімках, де за варіаціями кольору вдається простежити й окреслити ділянки з різним рівнем змиву гумусового шару.

З урахуванням усіх проведених лабораторних досліджень, зокрема визначення вмісту гумусу, вуглекислого газу, гранулометричного складу, а також на основі аналізу супутникового знімка досліджуваної території у східній частині Волинської височини, де було здійснено відбір зразків, встановлено активний прояв площинної ерозії. У межах цієї ділянки виокремлено чотири зони еродованості ґрунтів: сильно еродовані, середньо еродовані, слабо еродовані та зони акумуляції.

Для денудаційних поверхонь характерне значне поширення еродованих ґрунтів, однак у межах цих площ можна чітко виділити ділянки зі слабким, середнім та сильним ступенем змитості (рис. 9). Такі поверхні локалізовано спостерігаються в межах східної частини Волинської височини. Їм притаманна незначна потужність лесового покриву, а на вершинах вододілів часто виходять на денну поверхню неогенові вапняки, що супроводжується розвитком малопотужних ґрунтів.



Рис. 9. Площинна ерозія на міжuloговинних поверхнях горбисто-западинного типу, на яких проводилися польові дослідження (околиці с. Моголяни Рівненського р-ну, ресурс Google Earth)

У програмному середовищі QGIS було проведено гідрологічне моделювання, за результатами якого побудовано струменеву мережу на міжвододільних поверхнях ключової ділянки (рис. 10). Виявлено щільне, майже паралельне простягання струменевих потоків уздовж схилів саме в місцях з найбільш вираженими проявами змивів. Натомість на інших ділянках простежується хаотичний, безстічний характер мікроулоговинної сітки. З цієї ключової ділянки були відібрані зразки ґрунту, проведено лабораторні аналізи на вміст гумусу, вуглекислого газу та визначено гранулометричний склад.

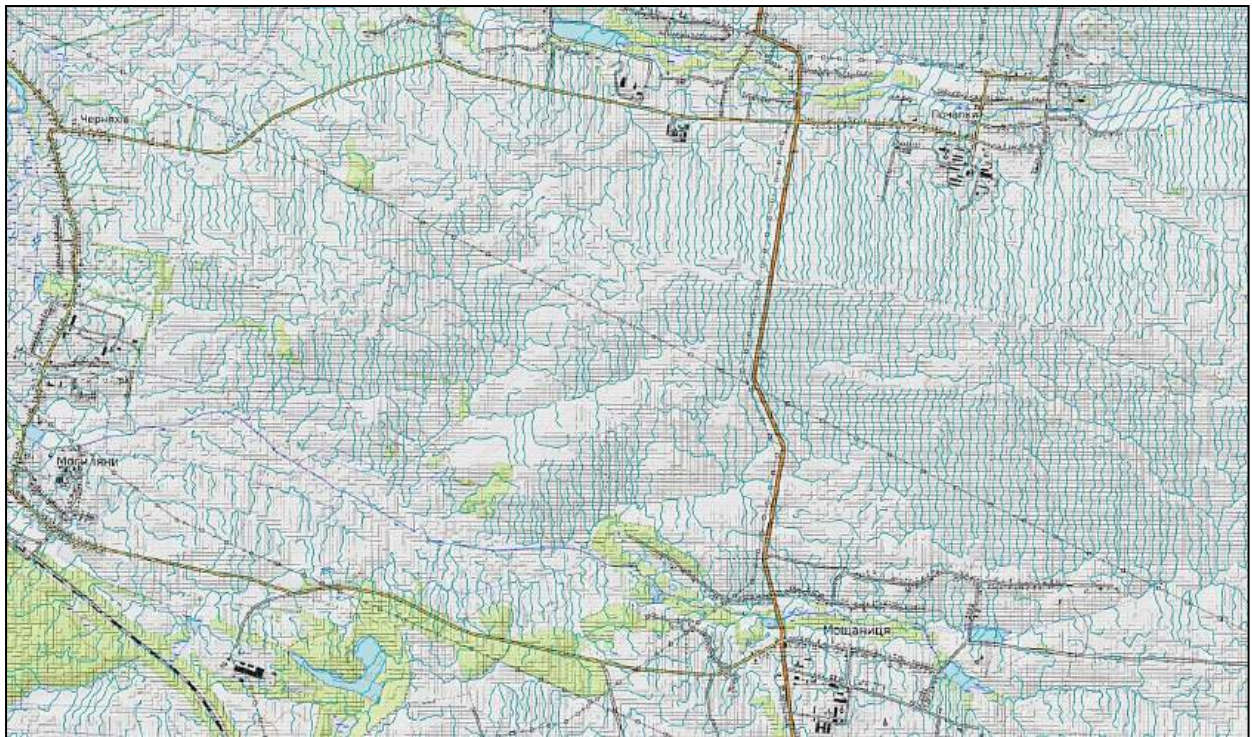


Рис. 10. Карта гідрологічного моделювання у QGIS із відображенням струменевих потоків на ділянці денудаційних поверхонь

4.3. Дослідження деградації ґрунтів у зв'язку із розвитком ерозії

Лабораторними методами визначено вміст гумусу та вуглекислого газу, а також гранулометричний склад зібраних зразків ґрунту для підтвердження деградації ґрунтів внаслідок ерозійних процесів. Низький вміст гумусу і незначна кількість CO₂, який виділяється ґрунтом внаслідок мікробіологічних

процесів, свідчить про те, що ґрунт піддався значній ерозії. Також зміна гранулометричного складу ґрунту є важливим індикатором ерозії, оскільки еродовані ґрунти мають меншу кількість дрібних частинок і вищий вміст піску.

Слабкоеродовані ґрунти внаслідок змивання втрачають якусь частину гумусового горизонту. У сильноеродованих ґрунтів гумусна частина змивається більшою мірою і на поверхні оголюються малородючі горизонти. Вміст гумусу в першому зразку, який взятий з найвищої точки, становить 0,74% і за класифікацією відноситься до сильного ступеню змитості, другий зразок, який був нижче по схилу, має 1,53% і відповідно це середній ступінь змитості, третій зразок – 1,95%, що вказує на слабкий ступінь змитості, а останній, взятий в улоговині, має вміст гумусу 2,21% (табл. 1). Отож спостерігаємо закономірність змитості ґрунтів у просторовому плані [7].

Таблиця 1

Вміст гумусу в зібраних зразках ґрунту

№ зразків	Вміст Карбону, мг	Вміст гумусу, %	Градація
1	0,035	0,74	Безгумусний
2	0,074	1,53	Мізерно незначний
3	0,095	1,95	Мізерно незначний
4	0,107	2,21	Низькогумусний

Певна закономірність простежується після визначення вмісту вуглекислого газу в зібраних зразках ґрунту (табл. 2). У першому зразку вміст CO₂ становить 9,36%, за класифікацією відповідає сильному ступеню змитості, у другому – 6,66% і відповідно має середній ступінь, третьому – 6,12% і це слабкий ступінь змитості, і в останньому показник – 4,14% в зоні акумуляції [7].

Вміст вуглекислого газу в зібраних зразках ґрунту

№ зразків	Вага об'єму (CO ₂), г	Вміст (CO ₂), %	Вміст (CaCO ₃), %
1	52	9,36	21,25
2	37	6,66	15,12
3	34	6,12	13,89
4	23	4,14	9,40

Визначення гранулометричного складу зібраних зразків ґрунту дало підстави теж бачити закономірність вимивання частинок розміром менших 0,01 мм від вершини схилу до підніжжя через зливові опади або сніготанення. Біля вершини ґрунт супіщаний із сумою частинок менших 0,01 мм 14%, в середній частині схилу – піщано–легкосуглинковий із 20,4% частинок менше 0,01 мм, внизу схилу – піщанисто-суглинковий із 27,7–29,5% цих частинок (табл. 3). Це вказує на активне вимивання пилу та мулу із складу ґрунту коли діють процеси ерозії. Добові коливання температур сильно впливають на непокриту снігом поверхню ґрунту. Він подрібнюється, утворюється багато пилюватих часток. Значно осушують відкритий ґрунт також сильнопдіючі вітри. Пилюваті частинки швидше виносяться згодом дощовими і талими водами з опуклих привершинних поверхонь і крутіших схилів [7].

Гранулометричний склад зібраних зразків ґрунту

№ зразків	Розмір частинок в мм, кількість у %						Сума частинок менша 0,01 мм, %	Назва ґрунту за гран. складом
	Фізичний пісок			Фізична глина				
	Пісок		Пил			Мул		
	1 - 0,25	0,25 - 0,05	0,05 - 0,01	0,01 - 0,005	0,005 - 0,001	0,001		
1	10,5	65,6	9,8	2,2	4,7	7,2	14,1	Супіщаний
2	7,8	36,9	34,9	5	7,1	8,3	20,4	Піщано - легкосуглинковий
3	5,9	22,7	43,7	7,2	11,8	8,7	27,7	Піщанисто-легко суглинковий
4	5,2	18,1	47,2	8,1	12,5	8,9	29,5	Піщанисто-легко суглинковий

Добова зміна температури в період весняного сніготанення має найістотніший вплив на інтенсивність площинної ерозії. При теплій весні і рівномірному сніготаненні змивання ґрунту незначне, тому що велика частина води поглинається. При частих нічних заморозках у період сніготанення змивання ґрунту може відбуватися більш інтенсивно. Відтятий у полуденний час шар ґрунту змивається водними потоками і несеться вниз по схилу. Увечері, коли ґрунт замерзає, змив припиняється, а наступного дня він повторюється. Особливо великої шкоди нічні заморозки заподіюють нижнім частинам крутих схилів. Після холодної ночі до полудня земля тут прогрівається і відтає на глибину до 10 см. Під дією потоків води, що надходять з верхньої частини схилу, і мають підвищені швидкості, а отже, і велику руйнівну силу, такий ґрунт переміщається разом з потоком. На схилах північної експозиції процес змиву ґрунту менш інтенсивний, тому що при більш повільному прогріванні сніг тоне рівномірно і стримує потоки води [12].

4.4. Аналіз розвитку і ретардації площинних змивів на основі різночасових супутникових даних

За допомогою різночасових супутникових даних була проаналізована динаміка проявів процесів площинної ерозії. На одній із ключових територій дослідження у межах трьох ділянок були обчислені площі еродованості станом на 2002, 2014 і 2018 роки (рис. 11–13, табл. 4). Важливо було аналізувати космознімки одного сезону – ранньої весни, коли немає культурної рослинності на полях і видно границі змивів.



Рис. 11. Просторове поширення площинної ерозії станом на 2002 рік (околиці с. Могиляни, ресурс Google Earth Pro)

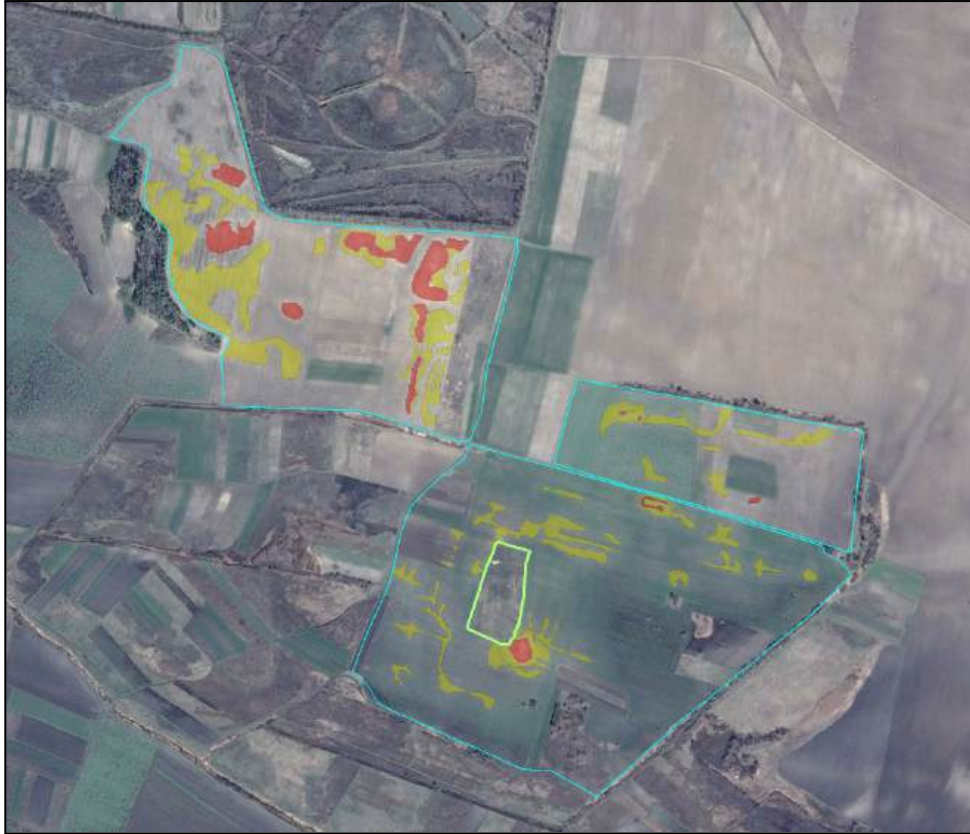


Рис. 12. Просторове поширення площинної ерозії станом на 2014 рік (околиці с. Могиляни, ресурс Google Earth Pro)

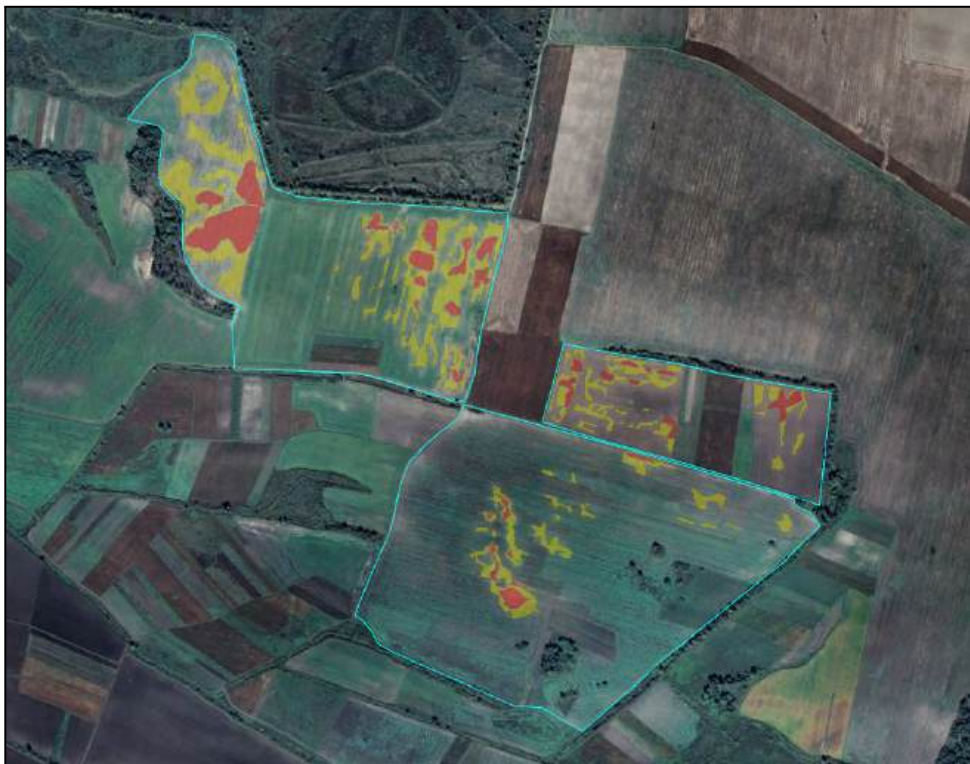


Рис. 13. Просторове поширення площинної ерозії станом на 2018 рік (околиці с. Могиляни, ресурс Google Earth Pro)

Обчислення площ досліджуваних ділянок

Ділянка	2002		2014		2018	
	слабка	сильна	слабка	сильна	слабка	сильна
№ 1	2,39 га	0,24 га	4,44 га	1,76 га	5,22 га	2,02 га
№ 2	0,83 га	0,03 га	0,99 га	0,04 га	1,45 га	0,43 га
№ 3	0,96 га	0,09 га	2,70 га	0,18 га	1,62 га	0,30 га

На графіку (рис. 14) спостерігаємо поступове зростання площинної ерозії впродовж 2002–2018 років. Площа слабкої ерозії стабільно збільшувалася: з приблизно 2,4 га у 2002 році до майже 5,2 га у 2018 році. Водночас суттєво зросла площа сильної ерозії — від незначної у 2002 році до понад 2 га у 2018 році. Особливо різкий стрибок сильної ерозії зафіксовано між 2002 та 2014 роками.

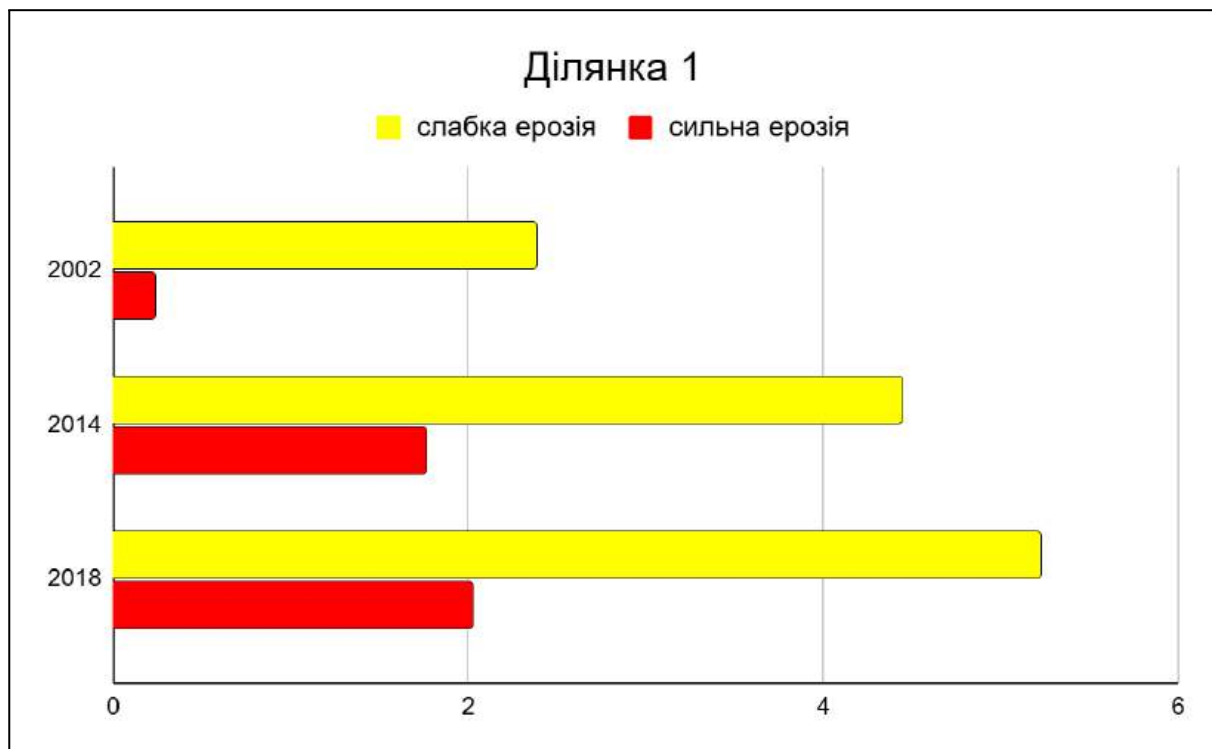


Рис. 14. Зростання ступеня площинної ерозії на денудаційній поверхні ділянки 1 в околицях с. Могіляни

На наступному графіку (рис. 15) площа слабкої ерозії зростає з приблизно 0,8 га до 1,5 га, що свідчить про поступове зростання інтенсивності площинних ерозійних процесів. Сильна ерозія у 2002 та 2014 роках займала незначну площу, але у 2018 році її площа різко збільшилася до близько 0,4 га. Така динаміка вказує на прискорення деградації ґрунтового покриву.

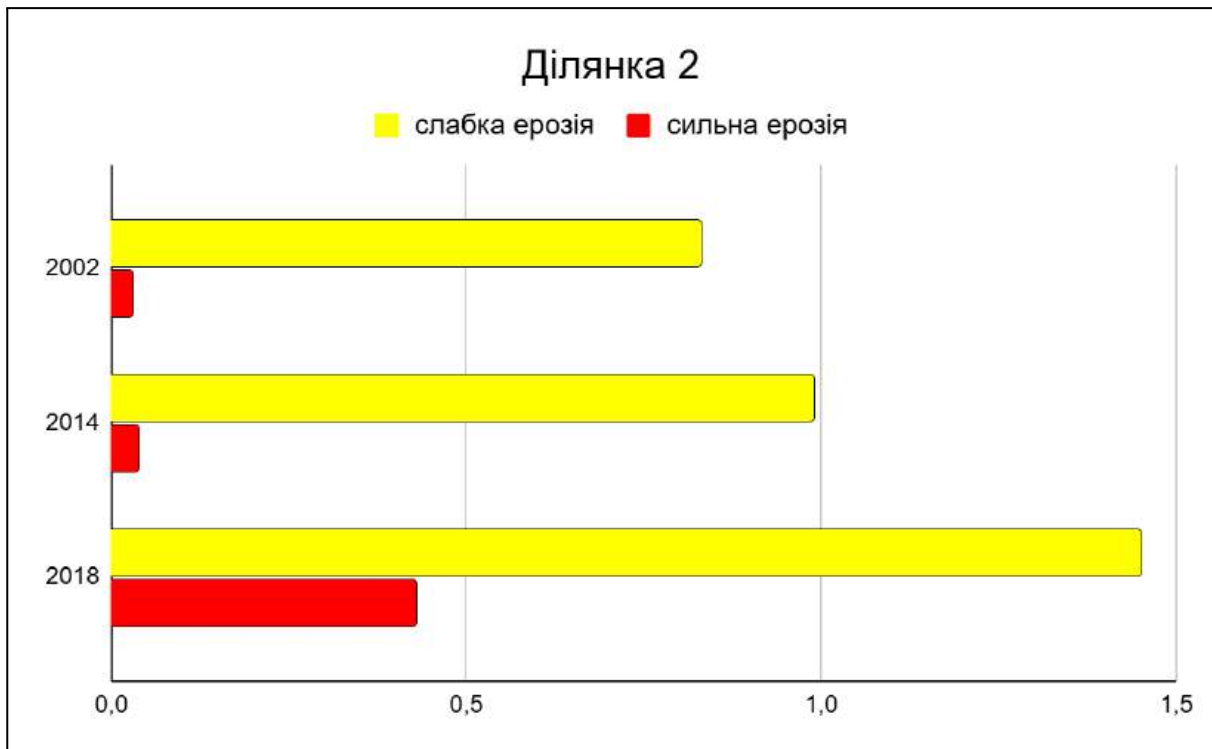


Рис. 15. Зростання ступеня площинної ерозії на денудаційній поверхні ділянки 2 в околицях с. Могіляни

На останньому графіку (рис. 16) у 2014 році зафіксовано пікове зростання площі слабкої ерозії — до 2,7 га. Проте вже у 2018 році площа слабкої ерозії скоротилася до близько 1,6 га. Сильна ерозія демонструє незначне, але стабільне зростання в усі роки, сягнувши максимуму у 2018 році. Загалом ситуація свідчить про тимчасову інтенсифікацію ерозійних процесів з частковим покращенням умов у 2018 році, хоча тенденція до посилення сильної ерозії зберігається.

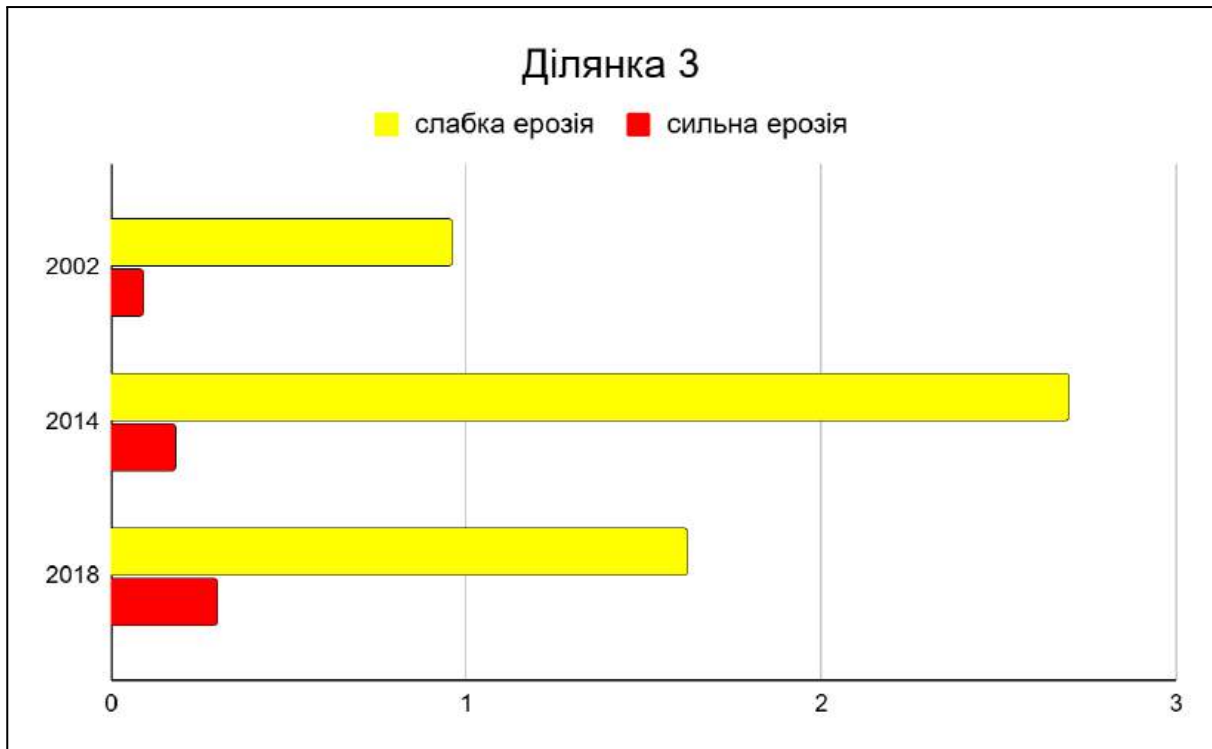


Рис. 16. Зростання ступеня площинної ерозії на денудаційній поверхні ділянки 3 в околицях с. Могиляни

Наведені дані дозволяють припустити певну ретардацію (уповільнення) ерозійних процесів, зокрема слабкої ерозії, у період до 2018 року. Зниження площі слабкої ерозії з 2,7 га у 2014 році до 1,6 га у 2018 році може свідчити про покращення умов землекористування, зокрема: можливу зміну сільськогосподарських культур на менш ерозійно небезпечні (наприклад, впровадження культур із кращим ґрунтопокровним ефектом або сидератів); застосування протиерозійних агротехнічних заходів (агротехнічне рихлення, мульчування, смугове землеробство тощо); зміну структури посівів або скорочення площ орних земель на схилах.

Однак, стабільне зростання площ сильної ерозії, яке сягнуло максимуму у 2018 році, сигналізує про збереження загрозливих процесів деградації ґрунтів. Це може бути наслідком того, що частина територій, які раніше зазнавали слабкої ерозії, поступово перейшли у вищу категорію ураження.

Таким чином, хоча певна ретардація ерозії можлива внаслідок змін культур або агротехнічних практик, загальна тенденція до поглиблення

ерозійної деградації (особливо в частині сильної ерозії) не була зупинена, що вказує на необхідність комплекснішого підходу до управління земельними ресурсами.

Станом на 2025 р., як показує зображення із супутника Sentinel-2 ресурсу EO Browser, у всіх трьох ділянках зберігається значне поширення площинної ерозії (рис. 17).



Рис. 17. Поширення площинної ерозії станом на 2025 рік (околиці с. Могіляни)

Отже, попри часткове зменшення площ слабкої ерозії у 2018 році, дані супутникового моніторингу станом на 2025 рік свідчать про тривале збереження та значне поширення площинної ерозії на всіх досліджених ділянках. Це підтверджує, що вжиті заходи були недостатньо ефективними або непослідовними, а ерозійні процеси залишаються стійкою загрозою для ґрунтового покриву, вимагаючи системного підходу до запобігання деградації земель, зокрема шляхом оптимізації структури землекористування, впровадження ґрунтозахисних технологій та посилення моніторингу.

РОЗДІЛ 5. ШЛЯХИ МІНІМІЗАЦІЇ ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

З огляду на сучасний стан ґрунтового покриву східної частини Волинської височини, де простежуються численні прояви як площинної, так і лінійної ерозії, застосування комплексу протиерозійних заходів є необхідною умовою збереження родючості ґрунтів. В умовах лісостепу, до якого належить ця територія, ефективність боротьби з ерозією забезпечується лише за умови комплексного підходу, що включає організаційно-господарські, агротехнічні, лісомеліоративні та гідротехнічні заходи [8].

Організаційно-господарські заходи є базовою ланкою системи охорони ґрунтів від ерозії. Їх ефективність визначає успішність усіх інших протиерозійних дій. До них належить диференційоване землекористування з урахуванням геоморфологічних особливостей, раціональне розміщення угідь, впорядкування сівозмін та впровадження ґрунтозахисних агроландшафтних структур. Зокрема, у межах Волинської височини важливо виділяти території з підвищеною ерозійною небезпекою та обмежувати на них рілля. Також доцільно формувати водорегулюючі смуги вздовж схилів і мікророзділів, що забезпечують часткове затримання стоку і захист міжерозійних ділянок.

До агротехнічних засобів боротьби з ерозією відносяться фітомеліоративні, агрофізичні, агрохімічні та протиерозійні способи обробітку ґрунту. Вони є обов'язковими на всіх схилових землях, які задіяні в сільському господарстві. Особливо ефективними є ґрунтозахисні сівозміни з чергуванням культур, що утворюють щільну вегетативну масу, та смугове розміщення культур на схилах. Серед прийомів обробітку ґрунтів варто виділити контурну оранку, щілювання та чизелювання, які зменшують швидкість поверхневого стоку. Наприклад, пізньоосіннє щілювання зменшує змитість дрібнозему в 5,5 разів порівняно з класичною оранкою. Щілювання особливо актуальне в умовах достатнього зволоження, коли надмірний стік води призводить до активізації площинної ерозії [8].

Лісосмуги і захисні насадження відіграють ключову роль у стабілізації ерозійних процесів. Їх роль полягає не лише у зменшенні швидкості вітру та регулюванні стоку, а й у стабілізації мікроклімату та збереженні структури ґрунту. При закладенні лісосмуг слід враховувати тип ґрунтів і морфологію місцевості. Для Волинської височини доцільним є створення схилових і прибалкових лісосмуг, а також яружно-балкових насаджень у пониженнях рельєфу. Ефективність водорегулюючих лісосмуг підтверджується дослідженнями: вони здатні затримувати до 450 мм води на змитих сірих лісових ґрунтах, а при підсиленні гідроспорадами — до 3000 мм [8].

Гідротехнічні заходи передбачають регулювання поверхневого стоку, запобігання його концентрації та організацію безпечного водовідведення. Для Волинської височини, де переважають лесові ґрунти з різноманітним мікрорельєфом, доречними є водоутримуючі й водоспрямовуючі споруди, вали-тераси, розпилювачі стоку, водовідвідні канами та лотки-швидкотоки. На невеликих схилах ефективним є створення валів-каналів, які спрямовують потоки води вздовж контурів рельєфу. При наявності ярів важливим є їх укріплення за допомогою загат, підпірних стінок та насаджень дерев і кущів з потужною кореневою системою.

Протиерозійні заходи повинні враховувати кліматичні, ґрунтові та геоморфологічні умови. У лісостеповій зоні, до якої належить східна частина Волинської височини, ефективність заходів змінюється залежно від вологості. Наприклад, у періоди підвищеного зволоження слід віддавати перевагу тим заходам, які сприяють переведенню вологи у глибші шари, а не накопиченню її на поверхні, щоб уникнути перезволоження [8].

ВИСНОВКИ

Аналізуючи опрацьовані літературні матеріали, супутникові дані, створені картосхеми і таблиці можна стверджувати, що:

- Комбінація лесовидних суглинків, слабозв'язаних неогенових четвертинних порід, тектонічна розчленованість місцевості та інтенсивне антропогенне навантаження створюють сукупність природних факторів, які сприяють активному розвитку водної ерозії у межах східної частини Волинської височини.

- Східна частина височини вирізняється великою кількістю ерозійних форм рельєфу — ярів, балок і глибоких долин. Рельєф ерозійно розчленований, що особливо помітно на ділянках із лесовим покривом.

- На досліджуваній території домінують дерново-підзолисті, сірі та темно-сірі опідзолені ґрунти. Їх розповсюдження тісно зумовлене типом материнських порід і характером рослинного покриву, який історично формувався тут — переважно широколистяними та мішаними лісами.

- Кліматичні особливості східної частини Волинської височини створюють сприятливі умови для виникнення як площинної, так і лінійної форм водної ерозії.

- В ландшафтній структурі території формуються ерозійні процеси, інтенсивність розвитку яких варіюється залежно від типу ландшафту, характеру його використання та ступеня стійкості до зовнішніх чинників. Яружно-балкові системи на східних схилах Волинської височини стали визначальними елементами морфології місцевості

- За допомогою програмного забезпечення QGIS та даних дистанційного зондування Землі можна чітко ідентифікувати мікроулоговинну мережу та простежити прояви ерозійних процесів.

- На досліджуваній території розвинені два морфологічні типи мікроулоговинної мережі: дендритова (деревовидна) і западинна.

- Поширення мікроулоговинної мережі визначає нетиповий характер розвитку еродованих площ. Найбільш інтенсивне змивання спостерігається на вершинах мікрогорбків, де ґрунти набувають безгумусного, супіщаного складу, вирізняються підвищеною карбонатністю, високим вмістом вуглекислого газу та низьким вмістом пилу й мулу, які були змиті на нижчі елементи рельєфу. Найменш еродованими залишаються акумулятивні зони — днища мікроулоговинної мережі.

- У результаті досліджень виділяємо такі планові форми площинної ерозії: 1) округлоплямисту, розвинену на привододільних поверхнях; 2) розгалужену, поширену на придолинних поверхнях; 3) масивну, поширену на місцевостях, де близько до поверхні підходять корінні неогенові породи.

- Для денудаційних поверхонь притаманні значні площі еродованих ґрунтів, однак у їх межах чітко простежуються зони з різним ступенем змитості — від слабкої та середньої до найсильнішої.

- Схили характеризуються різним ступенем змитості ґрунтів: найбільша спостерігається на привершинних ділянках, тоді як у придолинних частинах ступінь еродованості значно менший, що підтверджується результатами лабораторних аналізів.

- На основі аналізу різночасових супутникових даних спостерігається динаміка проявів процесів площинної ерозії протягом станом на 2002, 2014 і 2018 роки. Поряд із розвитком процесів відмічаємо також і ретардацію.

- Активний розвиток площинної ерозії зумовлює особливості протиерозійної організації території в межах східної частини Волинської височини. Ефективність заходів щодо зменшення ґрунтової ерозії значною мірою залежить від типу землеробської системи, кліматичних умов та властивостей ґрунтів [9]. Зменшити прояви всіх форм ерозії можливо шляхом запровадження менш інтенсивного обробітку ґрунту на орних землях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Байрак Г. Методи геоморфологічних досліджень: навч. посібник / Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018.
2. Байрак Г. Палеокріогенна мікроулоговинна мережа Волинської височини // Вісн. Львів. ун-ту. Серія географічна. Вип. 33. 2006. С. 444-448.
3. Байрак Г., Муха Б. Дистанційні дослідження Землі: Навчальний посібник / Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010 С. 269-304.
4. Богуцький А., Голуб Б., Ланчонт М. Волинська височина: головні риси геологічної будови та рельєфу // Матеріали XIV українсько-польського семінару "Проблеми середньоплейстоценового інтергляціалу". Львів: Вид-во ЛНУ ім. І. Франка, 2007. С. 6-10.
5. Волощук М. Деградаційні процеси та їхній вплив на екологічний стан земельних ресурсів України. Вісник Львівського університету, 2013. С. 55-59.
6. Геренчук К. І. Природа Рівненської області. Львів: Вища школа, 1976. С. 18-100.
7. Денисюк А. Ураженість ерозійними процесами східної частини Рівненського плато / Реалії, проблеми та перспективи розвитку географії, екології, туризму та сфери гостинності в Україні: матеріали XXV-ої Всеукраїнської студентсько-аспірантської наукової конференції м. Львів, 9-10 травня 2024 р. С. 113-116.
8. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні: Колективна монографія. Українська академія аграрних наук, 2010. С. 9-166.
9. Новак Т., Федорович М. Морфологія і генезис посткріогенного полігонального мікрорельєфу Волинської височини// Фізична географія. Наукові записки. № 1. 2015. С. 64-70.

10. Обласов В. І., Балик Н. Г. Протиерозійна організація території: навч. посібн. К.: Аграрна освіта, 2009. С. 4-66.
11. Позняк С., Гаськевич В., Підвальна., Лабораторно-аналітичні роботи з ґрунтознавства. Львів: ЛНУ імені Івана Франка 2006. С. 30-77.
12. Світличний О. О., Чорний С. Г. Основи ерозієзнавства: Підручник. - Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. С. 6-105.
13. Dabski M., Lapaj K., Pudlowski M. Identyfikacja poligonow mrozowych na podstawie analizy zdjec lotnych z rejonu Kruszwicy // Rekonstrukcja dynamiki procesow geomorfologicznych - formy rzezby i osady. P. 117-123.
14. G. Bayrak, Denysiuk A. GIS and remote sensing methods in the investigation of modern soil erosion processes on the Rivne plateau. GeoTerrace-2024-036 // International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2024” (7-9 October 2024, Lviv, Ukraine).
15. Maizels J., 1986. Frequency of relict frost-fissure structures and prediction of polygon pattern, a quantitative approach. Biuletyn Peryglacjalny 30.
16. Svensson H., 1982. The use of aerial photographs and remote sensing techniques in research on fossil periglacial features. Biuletyn Peryglacjalny 29.