

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Навчально-науковий інститут інноватики, природокористування
та інфраструктури
Кафедра економічної експертизи та землевпорядкування

ПАЛЬЧАСТА Жанна Богданівна
Геоінформаційний аналіз деградації ґрунтів у межах
агrolандшафтів / Geoinformation analysis of soil degradation within
agrolandscapes

спеціальність: 193 – Геодезія та землеустрій
освітньо-професійна програма – Експертна оцінка землі та нерухомого
майна

Кваліфікаційна робота

Виконала студентка групи ГЕО3-42
Ж. Б. Пальчаста

Науковий керівник:
д.т.н., професор, І. Л. Перович

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

" ____ " _____ 20 ____ р.

Завідувач кафедри

_____ **Б. О. Язлюк**

ТЕРНОПІЛЬ – 2026

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	3
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕГРАДАЦІЇ ҐРУНТІВ.....	8
1.1. Сутність деградації ґрунтів: поняття, типи та чинники виникнення	8
1.2. Роль геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у моніторингу агроландшафтів	17
Висновки до розділу 1.....	25
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА МЕТОДИКИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ	26
2.1. Природно-господарська характеристика досліджуваної території	26
2.2. Алгоритм збору та обробки просторових даних	33
Висновки до розділу 2.....	35
РОЗДІЛ 3. ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ АГРОЛАНДШАФТІВ НА БАЗІ ФОП ОЛІХА Б. А.	37
3.1. Оцінка сучасного стану та класифікація земель за ступенем порушення	37
3.2. Оцінка впливу рельєфу та інтенсивного землеробства на розвиток ерозійних процесів.....	43
Висновки до розділу 3.....	50
РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ТА ЗАХОДИ З ВІДНОВЛЕННЯ РОДЮЧОСТІ.....	51
4.1. Обґрунтування системи протиерозійних та меліоративних заходів.....	51
4.2. Напрями вдосконалення геоінформаційного моніторингу агроландшафтів	58
Висновки до розділу 4.....	62
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТКИ	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Агроландшафт – природно-антропогенна система, що поєднує природні умови з інтенсивним сільськогосподарським використанням.

Агротехнічні заходи – сукупність прийомів обробітку ґрунту, догляду за рослинами та внесення добрив.

Аерація ґрунту – процес газообміну між ґрунтовим повітрям та атмосферним.

Водотривкість структури – здатність ґрунтових агрегатів протистояти розмиваючій дії води.

Гектар (га) – одиниця вимірювання площі землі, що дорівнює 10 000 квадратних метрів.

Геоінформаційна система (ГІС) – автоматизована система, призначена для збору, зберігання, аналізу та графічного представлення просторових даних.

Гумус – органічна частина ґрунту, що утворюється внаслідок розкладання рослинних і тваринних решток і визначає його родючість.

Деградація ґрунтів – процес зниження якості ґрунту, що призводить до погіршення його фізичних, хімічних та біологічних властивостей.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) – метод отримання інформації про поверхню планети за допомогою авіаційних або космічних засобів спостереження.

Ерозія ґрунту – процес руйнування та змиву верхніх найбільш родючих шарів ґрунту водою або вітром.

Коефіцієнт зволоження – відношення річної суми опадів до випаровуваності за той самий період.

Моніторинг земель – система спостереження за станом земельного фонду з метою своєчасного виявлення змін та їх оцінки.

Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI) – показник кількості та стану активної біомаси, що розраховується на основі спектральних характеристик рослинності.

Рілля – земельні ділянки, які систематично обробляються і використовуються під посіви сільськогосподарських культур.

Сталий розвиток – модель використання ресурсів, яка спрямована на задоволення потреб сучасності без шкоди для майбутніх поколінь.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) – математичне представлення земної поверхні у вигляді сукупності точок з відомими координатами та висотами.

ВСТУП

Проблема раціонального використання та охорони земельних ресурсів є стратегічно важливою для забезпечення економічної та екологічної безпеки держави. В умовах сучасного розвитку аграрного сектору України спостерігається небезпечна тенденція до посилення деградаційних процесів ґрунтового покриву. Це питання є надзвичайно актуальним, адже ґрунт є вичерпним природним ресурсом, відновлення якого в природних умовах триває століттями. Проблема деградації земель безпосередньо гальмує розвиток сучасних земельних відносин та створює ризики для продовольчої безпеки, що зумовлює необхідність пошуку нових методів моніторингу та управління територіями.

Актуальність теми дослідження обумовлена стрімким погіршенням стану агроландшафтів через інтенсивне господарське навантаження, порушення сівозмін та недостатність протиерозійних заходів. Традиційні методи моніторингу ґрунтів часто є занадто дорогими та тривалими, тому питання організації території на основі сучасних цифрових рішень є актуальним. Впровадження геоінформаційних технологій дозволяє здійснювати оперативний аналіз стану великих масивів земель, що є критично важливим для прийняття управлінських рішень у сфері землекористування.

Зв'язок роботи з науковими програмами та планами полягає у її відповідності загальнодержавним пріоритетам щодо охорони навколишнього природного середовища та розвитку цифрової трансформації земельних відносин. Дослідження корелюється з програмами соціально-економічного розвитку територіальних громад та галузевими темами, спрямованими на впровадження моніторингу земель на базі ГІС-технологій.

Мета дослідження полягає в узагальненні та поглибленні теоретико-методологічних основ геоінформаційного аналізу деградації ґрунтів та розробці практичних рекомендацій щодо оптимізації стану агроландшафтів на базі конкретного господарського об'єкта.

Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити наступний комплекс **завдань**:

- 1) Поглибити методологічні підходи до визначення ступеня деградації земель за допомогою супутникових даних.
- 2) Вдосконалити алгоритм збору та обробки просторової інформації в ГІС-середовищі.
- 3) Проаналізувати сучасний стан ґрунтового покриття на досліджуваній території.
- 4) Оцінити вплив рельєфу та методів землеробства на розвиток ерозії.
- 5) Визначити основні пріоритети щодо відновлення родючості та впровадження елементів точного землеробства.

Об'єктом дослідження є процес формування еколого-безпечного землекористування та моніторингу стану ґрунтів у межах сучасних агроландшафтів ФОП Оліха Б. А.

Предметом дослідження виступає сукупність теоретичних, методичних та практичних аспектів використання геоінформаційних систем та методів дистанційного зондування для аналізу деградації ґрунтового покриття.

Методи дослідження обрані відповідно до поставленої мети. У роботі використано абстрактно-логічний метод для формулювання теоретичних висновків та узагальнень; монографічний метод для детального вивчення наукових праць у сфері геодезії та ГІС; метод системного аналізу для дослідження взаємозв'язків між екологічними та економічними чинниками. Особливу роль відіграли картографічний та статистичний методи, а також методи комп'ютерного моделювання рельєфу та цифрової обробки супутникових знімків.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що в роботі удосконалено підхід до інтегрованого аналізу деградації ґрунтів, який поєднує ретроспективне вивчення картографічних матеріалів із сучасним спектральним аналізом вегетації. Вперше для досліджуваної території було розроблено цифрову модель ерозійної небезпеки, що враховує морфометричні параметри

схилів у поєднанні з інтенсивністю господарського використання. Дістав подальшого розвитку підхід до оцінки інноваційної спроможності аграрного виробництва через впровадження геоінформаційного моніторингу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості їх безпосереднього впровадження в діяльність агропідприємств та землевпорядних організацій. Запропоновані алгоритми обробки даних дозволяють значно знизити витрати на проведення моніторингових робіт та підвищити їх точність. Результати аналізу стану земель ФОП Оліха Б. А. можуть бути використані для коригування планів посівів та впровадження диференційованого внесення добрив.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕГРАДАЦІЇ ҐРУНТІВ

1.1. Сутність деградації ґрунтів: поняття, типи та чинники виникнення

Сутність деградації ґрунтів полягає у поступовому погіршенні їхнього стану, коли ґрунт втрачає здатність виконувати свої природні функції: забезпечувати ріст рослин, накопичувати й фільтрувати воду, підтримувати кругообіг поживних речовин, бути середовищем для живих організмів і зберігати вуглець. У сучасній науковій літературі ґрунтову деградацію найчастіше описують як зниження здоров'я ґрунту через зміни його фізичних, хімічних і біологічних властивостей, що послаблюють його функціонування як живої системи та як джерела екосистемних послуг. При цьому ґрунтова деградація є частиною ширшої деградації земель, але не тотожною їй: земля включає не лише сам ґрунт, а й рослинність, водний режим, рельєф і навіть інфраструктуру, тоді як ґрунтова деградація прямо стосується саме ґрунтового покриву. Деградація земель є негативною зміною стану землі, спричиненою безпосередніми або опосередкованими людськими процесами, включно з антропогенними змінами клімату, а ґрунтова деградація є її підмножиною. Це важливо, тому що одне й те саме землекористування не завжди означає деградацію: зміни в землекористуванні можуть бути як руйнівними, так і нейтральними або контекстно прийнятними залежно від наслідків для продуктивності, цілісності екосистем і корисності для людей.

У науковому сенсі деградація ґрунтів не зводиться лише до «поганого ґрунту» в побутовому розумінні. Це процес, який зазвичай розтягується в часі, накопичується непомітно і тому часто стає очевидним уже тоді, коли втрати врожайності, ущільнення, ерозія чи засолення помітно ускладнюють використання земель. Стан ґрунту слід оцінювати відносно базової точки, тобто стартового стану, а деградація проявляється як негативний тренд упродовж певного періоду. Через це один і той самий ґрунт у різний час може мати різний

ступінь деградації, навіть якщо зовні зміни спершу здаються незначними. Не всі зміни, викликані людиною, є деградацією: наприклад, зменшення врожайності на одному місці може бути наслідком переходу до більш сталого, але менш інтенсивного господарювання, а не ознакою руйнування ґрунту. Тому сутність цього явища полягає не просто у зміні, а саме в стійкому русі до гіршого стану ґрунтової системи, коли зменшується її родючість, порушуються природні процеси і слабшає здатність підтримувати життя.

Найпоширенішою формою ґрунтової деградації є фізична деградація. Вона пов'язана з руйнуванням структури ґрунту, втратою пористості, утворенням кірки на поверхні, ущільненням, затвердінням, а в крайніх випадках – із просіданням або повним руйнуванням ґрунтового профілю. Саме фізичні зміни найшвидше позначаються на водному режимі: вода гірше вбирається, легше стікає поверхнею, накопичуються змиви, а кореням стає важче проникати вглиб. UNDRR прямо пов'язує деградацію ґрунту зі змінами фізичного стану, що знижують здатність ґрунту функціонувати як жива система, також окремо називає ущільнення, затвердіння і герметизацію поверхні серед процесів фізичної деградації. До цієї ж групи належать водна та вітрова ерозія, бо вони безпосередньо виносять верхній, найбільш родючий шар. Ерозія особливо небезпечна тим, що саме верхній шар містить найбільше органічної речовини, мікроорганізмів і доступних елементів живлення. Коли він змивається або здувається, ґрунт стає мілкішим, біднішим і гірше утримує вологу. Фізична деградація часто запускає ланцюг інших проблем: ущільнення підсилює поверхневий стік, стік посилює ерозію, а ерозія ще більше виснажує ґрунт [34].

Ерозію вважають однією з наймасштабніших і найвідчутніших форм деградації ґрунтів. За даними FAO, щороку через ерозію втрачається близько 24 мільярдів тонн родючого ґрунту, а на формування лише 2–3 сантиметрів ґрунту може піти до 1000 років. FAO також зазначає, що близько третини ґрунтів Землі вже деградовані, а втрати верхнього шару на орних землях і на інтенсивно випасуваних ділянках можуть у десятки й навіть сотні разів перевищувати природні темпи ґрунтоутворення. На орних полях темпи втрати ґрунту в сотні

разів вищі за природне ґрунтоутворення, а посилення інтенсивності опадів через зміну клімату підвищує ерозійну небезпеку. Саме тому фізична деградація не є абстрактним екологічним терміном: вона означає реальне зменшення шару, який живить рослини, зберігає вологу й утримує поживні речовини. Коли цей шар зникає, ґрунт уже не може так само ефективно підтримувати врожайність, а відновлення такої системи потребує дуже тривалого часу [40].

Хімічна деградація ґрунтів пов'язана зі зміною його хімічного складу та реакції середовища. До неї належать виснаження поживних речовин, закислення, засолення, накопичення токсичних елементів, дисбаланс елементів живлення та забруднення. Хімічна деградація може проявлятися як виснаження поживних речовин через нерівновагу між виношенням елементів із врожаєм і їхнім поверненням у ґрунт, а також як закислення і підвищення металевої токсичності. Надмірне або невдале зрошення без належного дренажу сприяє засоленню, а інтенсивне землекористування може посилювати й інші хімічні процеси. Засолення особливо проблемне в посушливих і напівпосушливих зонах, де випаровування перевищує надходження вологи, а солі накопичуються у верхніх горизонтах. Закислення, своєю чергою, часто пов'язане з надмірним внесенням добрив або тривалим використанням певних агротехнологій. Хімічна деградація небезпечна тим, що ґрунт зовні може ще виглядати прийнятним, але рослини вже гірше засвоюють елементи живлення, а мікроорганізми і коренева система працюють у менш сприятливому середовищі.

Окремим блоком виділяють біологічну деградацію ґрунтів. Вона означає зменшення вмісту органічної речовини, ослаблення мікробної активності, зниження різноманіття ґрунтових організмів, порушення процесів розкладання й кругообігу елементів, а також погіршення здатності ґрунту відновлюватися після навантаження. UNDRR зазначає, що деградація ґрунту може проявлятися у втраті біорізноманіття, органічної речовини та родючості. У сучасних оглядах біологічну деградацію пов'язують із монокультурою, надмірним використанням хімічних засобів, руйнуванням місця існування ґрунтових організмів і

зменшенням надходження рослинних решток. Для ґрунту це не менш важливо, ніж фізичне ущільнення чи хімічне засолення, бо саме біота забезпечує утворення гумусу, зв'язування поживних речовин, розкладання органіки й пригнічення частини хвороботворних організмів. Коли біологічна активність знижується, ґрунт втрачає «живу» частину своєї функції. У результаті навіть за достатньої кількості мінеральних добрив і нормального зрошення система працює гірше, оскільки ґрунт – це не просто субстрат, а складний живий простір, у якому фізичні, хімічні та біологічні процеси постійно взаємодіють [34].

Типи деградації ґрунтів у реальному житті рідко існують окремо. Значно частіше вони накладаються один на один і підсилюють взаємний ефект. Наприклад, ущільнення зменшує проникнення води, через що збільшується поверхневий стік, а це посилює водну ерозію. Ерозія, своєю чергою, виносить органічну речовину й дрібні частинки, через що ґрунт втрачає поживні елементи, змінює структуру і слабшає біологічно. Засолення й закислення також рідко обмежуються лише хімічною сферою: вони впливають на коріння, мікробні спільноти та здатність рослин утримувати вологу. Окремі сучасні огляди пропонують навіть ширшу класифікацію, де поряд із фізичною, хімічною та біологічною деградацією виділяють ще й екологічну, тобто порушення цілісності ґрунтово-ландшафтної системи. Така логіка підкреслює, що деградація – це не один показник і не одна проблема, а комплексне послаблення ґрунту. Саме тому в роботах останніх років, зокрема Kopittke P. M. та ін. дедалі частіше говорять не тільки про окремі процеси, а про загальний стан ґрунтового здоров'я, який відображає сумарний результат усіх змін [24].

Причини виникнення деградації ґрунтів поділяють на природні й антропогенні, хоча в сучасних оцінках провідна роль майже завжди належить саме людській діяльності. Природні чинники пов'язані з кліматом, рельєфом, властивостями материнської породи, водним режимом і природною вразливістю території. Схили легше еродують, пухкі або дуже легкі за механічним складом ґрунти швидше втрачають частинки, а в посушливих районах загроза засолення

вища через інтенсивне випаровування. Водночас кліматична мінливість, посилена антропогенними змінами клімату, прямо впливає на деградацію земель і ґрунтів. Збільшення інтенсивності опадів підсилює ерозійну дію води, а тривалі посухи зменшують рослинний покрив, роблячи ґрунт уразливішим до змиву й видування. Тому природні чинники зазвичай не діють ізольовано: вони створюють умови, за яких людське навантаження або прискорює деградацію, або робить її помітно важчою. Інакше кажучи, самі природні властивості території формують певний ризик, але не обов'язково спричиняють деградацію без додаткового тиску з боку землекористування.

Найбільшу роль у сучасній деградації ґрунтів відіграють антропогенні чинники. Зміна землекористування та нестале управління землями є безпосередніми людськими причинами деградації, а сільське господарство – домінантним сектором, що її посилює. До цього належать вирубування лісів, надмірне випасання, інтенсивний або неправильний обробіток ґрунту, монокультурне землеробство, порушення сівозмін, важка техніка, надмірне зрошення без дренажу, надлишкове внесення добрив і хімічних засобів, а також переведення природних територій у рілля або забудовані площі. Основними драйверами деградації є вирубування лісів, надмірне випасання, промислова діяльність, несталі агропрактики та зміна клімату. Особливо сильно деградація проявляється там, де господарювання спрямоване на короткостроковий результат і не враховує довгий цикл відновлення ґрунту. Тоді порушується баланс між вилученням речовин із ґрунту та їхнім поверненням, ущільнюється структура, скорочується шар органіки, і ґрунт поступово переходить у гірший функціональний стан.

Важливим чинником, який підсилює деградацію ґрунтів у XXI столітті, є зміна клімату. Зростання інтенсивності опадів підсилює водну ерозію, а посухи зменшують рослинний покрив і роблять ґрунт більш чутливим до руйнування. На практиці це означає, що навіть ділянки, які раніше були відносно стійкими, можуть швидше втрачати верхній шар, якщо до них додаються часті зливи, сильні вітри, тривалі бездощові періоди або різкі коливання температури.

Дослідники також пов'язують кліматичний тиск із прискоренням органічного виснаження, бо за вищих температур і менш стабільної вологи ґрунтова органіка розкладається інакше, а її запаси важче утримувати. Це не означає, що клімат сам по собі є єдиною причиною деградації, але він помітно змінює її темп і форму. Саме тому у сучасних оглядах, зокрема Adao F. та ін. деградація ґрунтів розглядається як наслідок взаємодії кліматичних, біофізичних і соціально-економічних чинників, а не як ізольований природний процес [16].

Окремим великим блоком причин є промислове та урбанізаційне навантаження. Промислова діяльність може спричиняти хімічне забруднення ґрунтів, накопичення важких металів і токсичних сполук, а також фізичне порушення поверхні внаслідок видобування корисних копалин, будівництва й переміщення великих обсягів ґрунту. Урбанізація, у свою чергу, призводить до запечатування поверхні асфальтом, бетоном та іншими матеріалами, через що ґрунт втрачає здатність поглинати воду, а його екологічні функції різко скорочуються. Навіть у містах незацементовані ділянки важливі для уникнення ущільнення та втрати ґрунтової функції. На рівні типів це означає, що деградація проявляється не лише в сільському господарстві, а й у промислових зонах, на околицях міст, на кар'єрах і транспортних коридорах. У таких умовах ґрунт часто не просто втрачає родючість, а частково або повністю вибуває з природного обігу. Тому сучасне уявлення про деградацію ґрунтів включає не лише ерозію на полях, а й забруднення, руйнування профілю, ущільнення, запечатування та втрату біологічної активності внаслідок інтенсивного техногенного впливу.

Сутність деградації ґрунтів також краще зрозуміти через її наслідки для суспільства. ІРСС оцінює, що деградація земель охоплює більш ніж чверть безкрижаних земель планети, а кількість людей, яких вона зачіпає, становить від 1,3 до 3,2 мільярда; UNCCD у 2025 році говорить уже про понад 3 мільярди людей. Це означає, що проблема є не локальною, а глобальною. Деградація ґрунтів знижує врожайність, погіршує водоутримання, послаблює здатність екосистем накопичувати вуглець і підтримувати біорізноманіття. Вона також

пов'язана з економічними втратами, бо замість продуктивного використання землі суспільство отримує менший урожай, вищі витрати на підтримку виробництва і втрати екосистемних послуг. Саме тому в наукових і міжнародних документах деградацію ґрунтів розглядають як один із найважливіших чинників ослаблення продовольчої безпеки, природної стійкості та добробуту людей. І хоча опис цього явища часто зосереджений на природних процесах, у центрі завжди залишається одна й та сама логіка: коли ґрунт втрачає свою структуру, хімію або живу частину, він перестає виконувати ті функції, заради яких є основою наземних екосистем і сільського господарства.

Таким чином, деградація ґрунтів – це не одинична подія, а тривалий процес зниження якості та функціональної цінності ґрунту. Її можна описати через фізичні, хімічні та біологічні зміни, але на практиці всі ці зміни майже завжди взаємопов'язані. Фізичні процеси, такі як ерозія, ущільнення й запечатування, позбавляють ґрунт структури. Хімічні процеси, такі як виснаження поживних речовин, закислення та засолення, порушують умови живлення рослин. Біологічні процеси, такі як зменшення органічної речовини та мікробного різноманіття, послаблюють внутрішнє життя ґрунту. Усі ці типи можуть мати природні передумови, але в сучасному світі найчастіше посилюються людським землекористуванням, зміною клімату, промисловим навантаженням та надмірною експлуатацією територій. Саме тому деградацію ґрунтів слід розуміти як комплексне погіршення ґрунтової системи, що починається зі зміни окремих властивостей, а закінчується зниженням продуктивності, екологічної стійкості та здатності ґрунту підтримувати життя.

Ще один важливий аспект полягає в тому, що деградація ґрунтів часто є результатом не лише окремих агрономічних помилок, а й ширших соціально-економічних умов. ІРСС прямо пише, що причини, через які землекористування й лісокористування призводять до деградації, мають передусім економічний, політичний і соціальний характер. Це означає, що на стан ґрунтів впливають не тільки технології обробітку, а й моделі власності на землю, тиск ринку, потреба швидко отримати прибуток, нестача доступу до якісних ресурсів, слабкий

контроль за використанням територій і нерівний розподіл навантаження на землю. У багатьох регіонах люди змушені інтенсивніше використовувати ґрунт, щоб отримати більший урожай з меншої площі, і саме це часто запускає виснаження. До деградації веде також надмірне випасання, коли рослинний покрив не встигає відновитися, а ґрунт залишається незахищеним від сонця, вітру й дощу. Дефорестація прибирає природний захист поверхні, змінює водний режим і збільшує ризик змиву. Отже, деградація ґрунтів має не тільки природну, а й чітко людську логіку: ґрунт руйнується там, де система господарювання не встигає або не прагне підтримувати його довготривалу відновлюваність.

У сухих районах деградація ґрунтів дуже часто переходить у процес опустелювання, але ці поняття не є повністю однаковими. ІРСС визначає опустелювання як деградацію земель в аридних, напіваридних і сухих субгумідних зонах, яка виникає під дією багатьох чинників, серед яких є людська діяльність і кліматичні коливання. Така форма деградації особливо характерна для територій, де рослинність і так перебуває на межі водного дефіциту. Якщо там зменшується покрив рослин, ґрунт швидко втрачає вологу, стає більш вразливим до вітрової ерозії та засолення, а родючість падає ще швидше. У подібних умовах фізичні, хімічні й біологічні процеси деградації накладаються особливо щільно. Саме тому сухі зони вважають одними з найбільш ризикованих щодо деградації ґрунтів. Але й поза сухими районами ці процеси залишаються актуальними, бо деградація ґрунту може відбуватися будь-де, де є постійний тиск на землю. У цьому сенсі опустелювання – це радше одна з найсильніших і найвидиміших форм деградації, а не її єдиний прояв [20].

Деградацію ґрунту доцільно розуміти як сукупність змін у його властивостях, а не як одну ознаку. Саме тому в дослідженнях часто аналізують фізичні показники, такі як щільність, пористість, агрегатна структура і швидкість проникнення води; хімічні показники, такі як рН, електропровідність, вміст поживних речовин і органічного вуглецю; та біологічні показники, такі як мікробна активність, активність ферментів і

різноманіття ґрунтової біоти. Такий підхід потрібен тому, що зовнішній вигляд ділянки не завжди показує справжній ступінь деградації. Наприклад, поле може виглядати рівним і обробленим, але мати вже зруйновану структуру, низький вміст органіки та ослаблену мікробну діяльність. У 2025 році в оглядах Ghisman V. та ін. підкреслюють, що фізична, хімічна, біологічна й екологічна деградація утворюють спільну картину, а однією з головних ознак проблеми стає падіння стійкості ґрунту до стресу. Чим менше ґрунт може протистояти дощам, посухам, технічному навантаженню або забрудненню, тим ближчим він є до глибокої деградації [23].

Загалом деградація ґрунтів є дуже багатогранним явищем, яке з'єднує природні процеси, спосіб господарювання, кліматичні зміни та соціально-економічні обставини. Вона може починатися з непомітних втрат органічної речовини або незначного ущільнення, але згодом переходити в ерозію, засолення, закислення, втрату біологічної активності й падіння врожайності. Міжнародні організації підкреслюють, що ця проблема вже охоплює значну частину планети і впливає на мільярди людей. UNCCD у 2025 році вказує, що деградовані землі прямо зачіпають понад 3 мільярди людей, а серед глобальних орієнтирів відновлення називає 1,5 мільярда гектарів до 2030 року. Це свідчить про масштаб явища, але також показує, наскільки важливим є саме наукове розуміння його сутності. Деградація ґрунтів – це не лише втрата родючого шару, а й руйнування складної природної системи, без якої не можуть стабільно існувати ні сільське господарство, ні водний баланс, ні значна частина наземного біорізноманіття. Саме тому в сучасній науковій літературі її розглядають як один із головних процесів погіршення стану довкілля та умов життя людей [19].

Окремо варто зупинитися на тому, що деградація ґрунтів не завжди має вигляд відкритої ерозійної ями чи засоленого поля. У містах і промислових зонах вона нерідко проявляється як запечатування поверхні, коли ґрунт перекривають будівлі, асфальт або інші штучні покриття. У такому разі ґрунт майже повністю втрачає здатність поглинати воду, жити рослини й

підтримувати ґрунтове життя. У промислових районах до цього додається забруднення нафтопродуктами, важкими металами та іншими домішками, які погіршують хімічний стан середовища і можуть бути токсичними для живих організмів. UNDRR у своїх визначеннях підкреслюють, що деградація завжди пов'язана зі зниженням функціональної здатності ґрунту, а отже, будь-який процес, який перешкоджає фільтрації води, росту рослин, життю мікроорганізмів або накопиченню поживних речовин, є частиною цієї проблеми. Звідси й головний зміст поняття: деградація ґрунтів – це не один окремий дефект, а втрата цілісності ґрунтової системи, яка відбувається різними шляхами, але завжди веде до ослаблення її природних функцій [34].

Отже, деградацію ґрунтів доречно сприймати як повільне, але системне виснаження основи наземного життя. Вона не обмежується зниженням урожаю, а охоплює зміну структури, хімії та біології ґрунту, втрату його стійкості й здатності саморегулюватися. Саме в такому значенні цей термін уживають міжнародні організації та сучасні огляди, коли описують ґрунт як живу систему, а не як неживу масу. У цьому й полягає головна сутність деградації: ґрунт формально може залишатися на місці, але його якість і функціональна цінність уже помітно знижуються.

1.2. Роль геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у моніторингу агроландшафтів

Геоінформаційні системи та дистанційне зондування Землі посіли дуже важливе місце в моніторингу агроландшафтів, тому що саме вони дають змогу бачити сільськогосподарські території не як окремі поля, а як цілі просторові системи, у яких поєднуються рельєф, ґрунти, волога, рослинний покрив, межі угідь, дороги, меліоративні мережі та зміни землекористування. У сучасних дослідженнях підкреслюється, що геоінформаційні технології роблять спостереження за аграрними системами доступнішим і дешевшим, а також дають змогу вчасно отримувати відомості про ресурси харчування навіть у віддалених або постраждалих від конфліктів районах, де польові обстеження

складні або неможливі. Саме тому ГІС і ДЗЗ стали базою для картування посівів, оцінювання врожайності, відстеження стану рослин, виявлення посух, ерозії, деградації ґрунтів і змін у структурі агроландшафту [21].

Роль ГІС у цьому процесі полягає не лише в тому, щоб зберігати карти, а й у тому, щоб поєднувати різні шари просторової інформації в одну логічну систему. У дослідженнях з оцінювання інтенсивності землекористування, зокрема Lausch A. та ін., зазначається, що ГІС використовують векторні дані для відображення і аналізу геоприв'язаної інформації про типи землекористування та їх просторовий розподіл, а також для складнішого просторового аналізу на місцевому, національному й глобальному рівнях. До такої інформації належать межі полів, кадастрові дані, історичні карти, звітність про врожайність, дані про ґрунти й рельєф. Саме завдяки цьому ГІС допомагають побачити не тільки, де розміщені аграрні угіддя, а й як вони змінюються в часі, де посилюється роздроблення полів, де зростає щільність використання земель і де виникає ризик виснаження природних ресурсів [25].

Дистанційне зондування Землі доповнює ГІС тим, що дає швидкий доступ до великого масиву спостережень, отриманих із супутників і літальних апаратів. У систематичному огляді щодо моніторингу сільськогосподарських культур через ГІС і ДЗЗ Wang Z. та ін. підкреслюється, що ці технології давно стали основним інструментом для аналізу аграрних територій на локальному, регіональному й глобальному рівнях, а їх застосування охоплює аналіз агрокліматичних умов, контроль стану посівів і стресу рослин, а також оцінювання врожайності. Це особливо важливо для агроландшафтів, тому що вони змінюються швидко: культури сходять і досягають нерівномірно, частина площ піддається посусі, частина перезволоженню, а частина – механічному пошкодженню або ущільненню ґрунту. Звичайне наземне обстеження не встигає за цими змінами так, як це роблять супутникові серії з високою повторюваністю зйомки [39].

Одним із найважливіших супутникових джерел для моніторингу агроландшафтів є Sentinel-2. За даними Європейського космічного агентства,

місія Sentinel-2 складається з двох однакових супутників на одній орбіті, має 13 спектральних каналів, просторову роздільну здатність 10 метрів, смугу огляду 290 кілометрів і п'ятиденну повторюваність для сузір'я з двох апаратів. Саме така комбінація характеристик робить Sentinel-2 зручним для спостереження за полями, межами посівів, неоднорідністю рослинного покриву, появою бур'янів, наслідками посухи та змінами у фазах розвитку культур. Для агроландшафту це означає, що можна розрізняти великі й середні масиви посівів, а також відстежувати, як змінюється їхній стан у межах одного сезону [33].

Не менш важливим є архів Landsat, який дає змогу простежувати зміни агроландшафтів на великій часовій глибині. USGS зазначає, що Landsat 8 має 30-метрову багатоспектральну роздільну здатність, 15-метровий панхроматичний канал, 16-денний цикл повторного знімання та довгу серію каліброваних спостережень. Missions L. в огляді стану програми Landsat підкреслює, що вона наближається до 50 років безперервного глобального збору даних, а відкритість даних значно прискорила наукові та прикладні розробки. Для агроландшафтів це має особливе значення, бо саме багаторічні ряди спостережень дають змогу бачити не одноразову картину, а тенденції: розорювання нових площ, скорочення луків, зміну структури посівів, зростання фрагментації полів або тривале погіршення стану рослинності [27].

Ще сильніше можливості моніторингу розширює гармонізований продукт HLS, який об'єднує Landsat і Sentinel-2. NASA Earthdata повідомляє, що через HLS спостереження за землею поверхнею можна отримувати з просторовою роздільною здатністю 30 метрів кожні 1,6 дня, а дані Landsat 8/9 та Sentinel-2A/B/C використовуються як єдина колекція. Для агроландшафтів це означає майже безперервний контроль стану полів, коли можна простежити швидкі сезонні зміни, оцінити сівбу, ріст, досягання та збирання культур, а також побачити короткі епізоди стресу, які при рідших зніманнях часто губляться. У зв'язку з цим HLS є дуже зручним для польового й ділянкового рівня аналізу, де важлива не лише деталізація, а й регулярність [28].

Окреме місце в моніторингу агроландшафтів займає Sentinel-1, тобто радарна система з синтезованою апертурою. NASA Earthdata зазначає, що сенсор Sentinel-1 C-band SAR працює вдень і вночі, у будь-яку погоду, а його сигнал не залежить від хмарності чи відсутності освітлення. Саме це робить радар особливо корисним для аграрних територій, де оптичні знімки часто ускладнені хмарами, туманом або частими опадами. Радіолокаційні дані добре доповнюють оптичні, тому що вони по-іншому реагують на структуру поверхні, вологість ґрунту, стан рослинного покриву та механічний стан поля. У дослідженнях з інтенсивності землекористування підкреслюється, що Sentinel-1 використовують для аналізу водного стресу, вологості ґрунту, класифікації культур, виявлення фенологічних змін і навіть для оцінювання властивостей поверхневої шорсткості рослинності [32].

Поєднання оптичних і радарних даних стало однією з головних рис сучасного агромоніторингу. У дослідженні в Німеччині авторства Ann-Kathrin Н. та ін., де аналізували скошування травостоїв, показано, що радарні часові ряди можуть заповнювати прогалини, спричинені хмарністю в оптичних даних, а додаткові погодні змінні допомагають точніше розрізняти скошені й нескошені ділянки. У цьому дослідженні використовували дані Sentinel-2, Landsat 8, Sentinel-1, а також температурні та опадові показники; подія скошування визначалася з F1-мірою до 89%, а перше скошування – до 94%. Для агроландшафтів це важливо, бо вони складаються не лише з ріллі, а й із пасовищ, луків, кормових угідь та інших елементів, де режими використання землі сильно впливають на екологічний стан території. Такі приклади показують, що ДЗЗ дає змогу бачити не просто площу, а й саму динаміку господарського використання [18].

Ще одним дуже показовим напрямом є картування культур. Огляд 2025 року зосередився на картографуванні культур із позиції продуктів земельного покриву й охопив понад 60 відкритих продуктів та систем, а також 129 досліджень, пов'язаних із Cropland Data Layer. Автори підкреслили, що зростання відкритих землезондуючих даних значно покращило можливості

картографування культур на національному й регіональному рівнях. Це означає, що моніторинг агроландшафтів уже не зводиться до окремих польових досліджень. Тепер можна одночасно бачити, де саме розташовані зернові, технічні, овочеві чи кормові культури, як змінюється їхня частка в сівозміні та як просторово організовані великі масиви різного призначення. Для аналізу агроландшафтів це дуже важливо, тому що структура культур прямо пов'язана з навантаженням на ґрунт, потребою у воді та ризиком ерозії [41].

ГІС і ДЗЗ також дають змогу оцінювати інтенсивність землекористування, тобто не лише те, що росте на полі, а й те, наскільки інтенсивно поле використовується. У сучасному огляді про моніторинг аграрної інтенсивності через дистанційне зондування Lausch A. та ін. зазначено, що сюди належать дані про типи культур, багатократність збирання врожаю, чергування культур, покривні культури, механічне порушення ґрунту, структуру полів і навіть біофізичні показники рослинності. У цій роботі також підкреслено, що для таких задач часто поєднують Sentinel-1 і Sentinel-2, а також інші супутникові та безпілотні дані. Це дозволяє відрізнити екстенсивні системи від дуже інтенсивних, де поле використовується кілька разів на рік або де межі між ділянками стали надто дрібними через багаторічне дроблення землекористування. Саме такі зміни добре читаються у просторовому аналізі ГІС [25].

Практичну цінність такого підходу добре показує дослідження консерваційного землеробства в Бельгії. Zhou Y. та ін. використали часові ряди оптичних знімків Sentinel-2, Landsat-7 і Landsat-8, погодні дані та дані сільськогосподарського перепису, а класифікатор Random Forest дав загальну точність 92%. Окремо автоматичне виявлення покривних культур досягло 86%, а модель для мінімального обробітку ґрунту визначила 87% полів із оборотним обробітком. Це важливо для моніторингу агроландшафтів, тому що дозволяє не тільки фіксувати наявність посівів, а й оцінювати спосіб господарювання: чи дотримується поле покриву рослинністю, чи зберігається мульча, чи зменшено

механічний тиск на ґрунт. Таким чином, ДЗЗ починає виконувати ще й контрольну функцію щодо способів ведення землеробства [42].

Моніторинг агроландшафтів особливо потрібний там, де виникають проблеми з деградацією ґрунтів і ерозією. Огляд Wang J. та ін. 2024 року наголошує, що спостереження й оцінювання ерозії ґрунтів є необхідними для зменшення деградації земель і забезпечення продовольчої безпеки, а дистанційне зондування стало ключовим інструментом цієї роботи. У статті підкреслено, що традиційні методи є трудомісткими та повільними, а супутникові дані дають швидкий доступ до великої території й довгих часових рядів. У таких дослідженнях аналізують рослинний покрив, індекс NDVI, чинники схилу й ерозійної небезпеки, а також використовують ГІС для побудови моделей ерозії та просторового поєднання різних шарів. Для агроландшафтів це має дуже конкретний зміст: де оголений ґрунт, де схили обробляються надто інтенсивно, де слабшає захисна роль рослинності, там зростає ризик змиву, видування та втрати родючого шару [38].

Подібну роль ДЗЗ виконує і в моніторингу деградації земель, пов'язаної із запечатуванням ґрунту, ущільненням, ослабленням рослинного покриву та зміною структури землекористування. У дослідженні Säurich A. та ін., присвяченому втраті сільськогосподарських ґрунтів через soil sealing у Німеччині, зазначено, що оцінювання й моніторинг ґрунтів є складними через їхню неоднорідність, а методи, які є надійними, стандартизованими, повторюваними і зрозумілими, часто виявляються дорогими й тривалими. Саме тому просторові дані стають альтернативою, яка дає змогу бачити зміни в межах великих площ. Для агроландшафтів це важливо не лише в межах міст чи приміських територій, а й там, де поле поступово втрачає якість через інтенсивне навантаження, ущільнення технікою або скорочення природних елементів ландшафту [31].

Окрема сфера, де ГІС і ДЗЗ стали майже незамінними, – це моніторинг вуглецю в ґрунті та інших показників родючості. У дослідженні 2025 року Triantakostas D. та Karakostas A. підкреслено, що точний моніторинг

органічного вуглецю в ґрунті є важливим для оцінювання родючості, сталого землекористування та пом'якшення змін клімату, а поєднання машинного навчання з ґрунтовими, рельєфними та супутниковими даними покращує оцінювання SOC. У ще одному дослідженні 2024 року автори показали, що зміни SOC можна відстежувати за допомогою супутникових змінних і алгоритмів машинного навчання на ландшафтному рівні в посушливих і напівпосушливих регіонах. У 2026 році в Scientific Reports було повідомлено про загальне зниження SOC на 5,14% у сільськогосподарських угіддях провінції Цзілінь за сім років. Такі результати демонструють, що агроландшафт можна оцінювати не тільки за тим, що видно на поверхні, а й за змінами в самому ґрунтовому профілі, які напряду впливають на продуктивність земель [37].

Дистанційне зондування дає змогу стежити й за посухами, які для агроландшафтів є одним із найпомітніших факторів ризику. У дослідженні басейну річки Укріна в Боснії і Герцеговині Sabljic L. та ін. об'єднали метеорологічні, гідрологічні, аграрні та соціально-економічні сигнали. Для цього використали CHIRPS-опаді, індекс SPI на різних часових масштабах, дані рівня води, а також індекси TCI, VCI та VHI з MODIS і статистику врожайності за районами. Такий підхід добре показує, як ГІС допомагає звести в одну систему різні джерела інформації, а ДЗЗ – отримати просторову картину того, де саме посуха найсильніше впливає на посіви, де знижується вологозабезпечення, а де ситуація залишається стабільнішою. Для агроландшафту це важливо тому, що посуха рідко охоплює територію рівномірно; її наслідки часто залежать від мікрорельєфу, типу ґрунту, структури культур і режиму зволоження [30].

У сільському господарстві ГІС і ДЗЗ також стали основою для офіційної статистики й ринкової інформації. FAO зазначає, що геопросторові технології дають змогу легше й дешевше моніторити аграрні системи, а також вчасно відстежувати ресурси харчування, особливо там, де збір наземних даних складний. GEOGLAM, у свою чергу, описує свою місію як надання своєчасних, релевантних і придатних для практичного використання супутникових

спостережень для глобальної прозорості ринків і продовольчої безпеки. Це означає, що ДЗЗ вже працює не лише як науковий інструмент, а і як частина управління аграрними ризиками, аграрної статистики та спостереження за станом продовольчих систем на різних рівнях. У цьому контексті агроландшафт постає як об'єкт регулярного цифрового обліку, де зміни фіксуються не епізодично, а системно [21].

Важливо й те, що сучасний моніторинг агроландшафтів дедалі частіше працює не з одним джерелом, а з поєднанням багатьох даних. Огляд про агро-геоінформатику Lin L. показує, що напрям «agro-geoinformatics» поєднує дистанційне зондування, ГІС і аналіз даних, а у списку ключових тем прямо названо analysis ready data, remote sensing, GIS і sustainable agriculture. Це означає, що нинішній моніторинг базується вже не лише на самій наявності супутникового знімка, а на здатності правильно підготувати, узгодити й інтерпретувати дані з різних платформ. У результаті агроландшафт вивчають як багат шарову систему: зверху видно структуру полів і рослинність, у часовому ряді видно сезонні ритми, у ГІС – просторову взаємодію з ґрунтами, рельєфом і межами господарств, а в моделях – взаємозв'язок між станом території та її використанням. Саме ця комбінація робить сучасний моніторинг більш точним і змістовним [26].

Отже, ГІС і ДЗЗ виконують у моніторингу агроландшафтів кілька взаємопов'язаних ролей. Вони дають змогу бачити просторову структуру угідь, оцінювати стан посівів, фіксувати інтенсивність землекористування, виявляти ерозію та деградацію ґрунтів, відстежувати посухи, аналізувати органічний вуглець у ґрунті та контролювати способи ведення землеробства, зокрема консерваційні практики. Сила цих технологій полягає в тому, що вони поєднують високу просторову деталізацію з повторюваністю спостережень і дають змогу працювати з великими площами, де звичайний польовий облік не охоплює всіх змін.

Висновки до розділу 1

Теоретико-методологічні засади дослідження деградації ґрунтів базуються на розумінні цього явища як системного процесу погіршення фізичного, хімічного та біологічного стану ґрунтової системи, що призводить до втрати її здатності виконувати екосистемні функції. Сутність деградації полягає у стійкому негативному тренді, який проявляється через руйнування структури, зниження родючості та ослаблення здатності підтримувати життя організмів. Методологія дослідження передбачає виокремлення трьох основних типів деградації, які зазвичай взаємопов'язані. Фізична деградація включає ущільнення, втрату пористості та ерозію, що безпосередньо виносить найбільш родючий верхній шар. Хімічна деградація проявляється через виснаження поживних речовин, закислення, засолення та накопичення токсичних елементів. Біологічна деградація означає втрату органічної речовини та зниження мікробного різноманіття, що руйнує «живу» основу ґрунту.

Основними чинниками виникнення цих процесів є поєднання природної вразливості ландшафтів та інтенсивного антропогенного тиску, зокрема несталої сільського господарства, вирубування лісів та зміни клімату. Сучасний науковий підхід до моніторингу деградації агроландшафтів спирається на використання геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). ГІС-технології дозволяють інтегрувати просторові дані про рельєф, ґрунти та землекористування для комплексного аналізу територій. Дистанційне зондування через супутникові системи, такі як Sentinel та Landsat, забезпечує регулярний контроль стану рослинності, вологості та ерозійних процесів у динаміці. Поєднання оптичних і радарних даних разом із алгоритмами машинного навчання дає змогу вчасно виявляти ознаки деградації, оцінювати вміст органічного вуглецю та прогнозувати ризики втрати родючого шару. Таким чином, сучасне дослідження деградації ґрунтів трансформується від локальних спостережень до глобального просторового моніторингу здоров'я ґрунтових систем.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА МЕТОДИКИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ

2.1. Природно-господарська характеристика досліджуваної території

Природно-господарська характеристика території, на якій здійснює діяльність ФОП Оліх Богдан Андрійович, тісно пов'язана із селом Добромірка, що входить до складу Збаразької міської територіальної громади Тернопільського району Тернопільської області. За відкритими реєстровими даними ФОП станом на 01.04.2026 має статус зареєстрованого, а основним видом діяльності вказано КВЕД 71.12 – діяльність у сфері інжинірингу, геології та геодезії, надання послуг технічного консультування в цих сферах. Саме тому оцінка території має враховувати не лише природні умови, а й ті господарські особливості, які формують попит на землевпорядні, геодезичні та технічні послуги. Адреса реєстрації ФОП вказує на село Добромірка, тобто на сільську місцевість із виразним аграрним характером і значною роллю земельних ресурсів у повсякденному господарстві [13].

Збаразька громада, у межах якої розташована Добромірка, є доволі великою за площею та кількістю населених пунктів. У її складі є одне місто і 53 села, а адміністративний центр розташований у місті Збараж, приблизно за 17 кілометрів від Тернополя (див. рис. 2.1). Через територію громади проходять автомобільні шляхи загального значення, а також дві залізничні колії, що з'єднують Тернопіль із Шепетівкою та Києвом. Станом на грудень 2024 року в громаді проживало 38 415 осіб, із них 54 % становили жінки, а 46 % – чоловіки. Така структура свідчить про переважно сільський тип розселення, коли малі населені пункти розташовані в межах відносно компактної, але дуже розгалуженої території. Для господарського життя це означає залежність від стану доріг, транспортної доступності та якості комунальної інфраструктури [8].

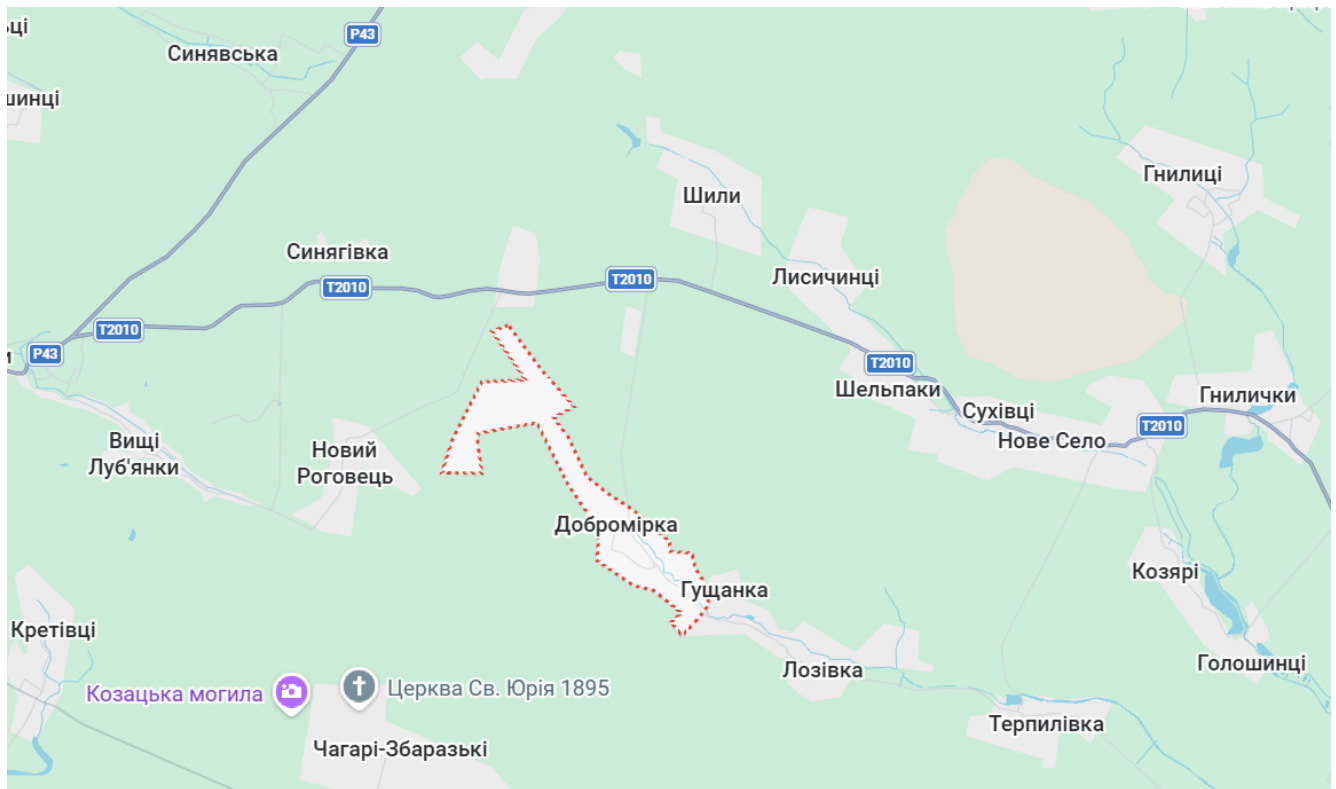


Рис. 2.1 Схема розташування об'єкта дослідження в межах Збаразької громади

У природному відношенні Тернопільська область, а отже і територія Збаразької громади, розміщена в західній частині Подільської височини. Для цієї місцевості характерний переважно рівнинний рельєф із загальним нахилом поверхні з півночі на південь. У межах області виділяються окремі природні частини, серед яких Тернопільське плато, Подільське і Кременецьке горбогір'я, Товтровий кряж і Придністровська рівнина. Таке поєднання рівнинних і хвилястих форм рельєфу створює мозаїчність ландшафтів, коли поряд із відкритими орними масивами трапляються балки, яри, невеликі підвищення та знижені ділянки. Для Добромірки і навколишніх сіл це важливо, тому що рельєф впливає і на розміщення полів, і на водовідвід, і на дорожню мережу, і на межі земельних ділянок. Абсолютні висоти в області змінюються від 443 метрів до 116 метрів, що також підкреслює відносну різноманітність місцевого природного середовища.

Геологічна основа території має осадовий характер і є досить багатою на нерудні корисні копалини. В області розвідано і обстежено понад 300 родовищ

цієї групи, серед яких вапняки, крейда, мергелі, гіпс, піски, пісковики, глини, гравійно-галечникові матеріали та доломіти. Значне поширення мають суглинки і глини, а також пісковики та вапняки. Для господарського освоєння це має практичне значення, бо такі ресурси використовують у виробництві будівельних матеріалів, у дорожніх роботах та в окремих видах інженерного облаштування території. У межах Збаражчини природні ресурси цього типу є одним із чинників, що підтримують дрібне будівництво, ремонт доріг і локальні будівельні роботи. Для сільської місцевості це важливо ще й тому, що земельні питання тут часто пов'язані не лише з сільським господарством, а й із забудовою, зміною цільового призначення чи оформленням ділянок.

Клімат області є помірно континентальним із нежарким літом, м'якою зимою та достатньою кількістю опадів. У межах території виділяють три агрокліматичні райони – північний, центральний і південний, що показує певну різницю у тепловому та водному режимі. Для сільських територій Збаражчини це особливо важливо, бо клімат тут створює загалом сприятливі умови для рослинництва, але водночас вимагає уважного ставлення до строків польових робіт, вологонакопичення та захисту ґрунтів від виснаження. У статистичному щорічнику Тернопільської області наголошено, що поєднання достатнього зволоження, температурного режиму та ґрунтового покриву загалом сприяє вирощуванню культур лісостепової зони. Саме тому на місцевому рівні поширені зернові, технічні, кормові та овочеві культури, а природні умови не перешкоджають веденню традиційного для Поділля землеробства [8].

Водні ресурси території пов'язані з басейнами Дністра та Прип'яті. До найбільших річок Тернопільщини належать Збруч, Серет, Дністер, Стрипа, Золота Липа, Нічлава і Горинь. Для Збаразької громади це означає наявність природного водного каркаса, який формує зволоження, впливає на сільськогосподарське використання земель і підтримує локальні екологічні зв'язки. Річки та малі водотоки мають значення не лише як природні об'єкти, а й як елементи господарської інфраструктури, адже від них залежить стан луків, пасовищ, прибережних територій та частково меліоративних ділянок. Для села

Добромірка і сусідніх поселень вода завжди була одним із базових природних ресурсів, а близькість водних об'єктів впливає на структуру угідь і на характер землекористування. У масштабі області водний фонд становить окрему категорію земель, що підтверджує важливість цього компонента для природно-господарської оцінки території.

Ґрунтовий покрив Тернопільщини належить до найбільш цінних природних ресурсів області. Територія розташована в лісостеповій зоні, а основними типами ґрунтів є чорноземи, сірі лісові та лучно-болотні ґрунти. Для Збаразької громади це означає високий аграрний потенціал, бо саме такі ґрунти традиційно придатні для вирощування зернових і технічних культур, а також для кормової бази тваринництва. У статистичному щорічнику прямо зазначено, що ґрунтовий і кліматичний режим області загалом сприятливий для пшениці, ячменю, кукурудзи, цукрового буряка, соняшнику, ріпаку, сої, картоплі, овочевих і кормових культур. Це добре узгоджується з господарським профілем сільської території довкола Добромірки, де землекористування має виразно аграрний характер. У природно-господарській характеристиці така риса є визначальною, бо вона пояснює, чому земельні ділянки тут мають високу цінність, а робота з їхнім оформленням, поділом, інвентаризацією та технічним супроводом є затребуваною.

Земельна структура області підтверджує переважання сільськогосподарського використання. За даними екологічного паспорта Тернопільської області, у 2024 році землі сільськогосподарського призначення становили 77,6 % від загальної площі регіону, а сільськогосподарські угіддя – 76,0 %. Із них рілля займала 62,0 %, тоді як пасовища, сіножаті та багаторічні насадження мали значно менші частки. У межах Збаразької громади загальна площа земель становить 59 102 гектари, з яких 49 490 гектарів припадає на сільськогосподарські землі, а 42 240 гектарів – на ріллю. Такі показники показують, що територія переважно орна і сільськогосподарськи освоєна. Для Добромірки це означає щільний зв'язок між природним середовищем і

господарською діяльністю, де основним ресурсом є земля, а головним способом її використання – рільництво та пов'язані з ним види господарювання [8].

Лісовий компонент також посідає важливе місце в природній структурі території. В області землі лісогосподарського призначення становили 201,69 тис. га, або 14,6 % території, а вкриті лісовою рослинністю площі – 188,4 тис. га, тобто 13,6 %. Це не робить Тернопільщину лісовим регіоном, але лісові масиви мають помітне значення для водорегулювання, захисту ґрунтів, рекреації та збереження біорізноманіття. У Збаразькому районі окремо фіксуються лісові урочища «Луб'янки» і «Добромірка», які в межах регіональної схеми формування екологічної мережі пов'язані з ландшафтним заказником місцевого значення «Луб'янки». Його площа становить 1199 гектарів, причому 1196,2 гектара припадають на землі державного лісового фонду. Це показує, що поблизу Добромірки є не лише орні землі, а й лісові та напівприродні ділянки, які зберігають природну мозаїку ландшафту та підсилюють екологічну стійкість території.

Природно-заповідний фонд області є ще одним показником того, що територія має не тільки господарську, а й природоохоронну цінність. За даними екологічного паспорта, землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення становили 116,48 тис. га, або 8,4 % площі області. Це означає, що на Тернопільщині збережено значну кількість ділянок, де природні процеси мають пріоритет над інтенсивним господарським використанням. Для Збаражчини це важливо через наявність лісових урочищ та територій, пов'язаних із екомережею, що формують більш природний фон довкола населених пунктів. У природно-господарському сенсі такі площі пом'якшують антропогенне навантаження, зберігають вологу, зменшують ерозію і підтримують ландшафтну рівновагу. Для сільської громади це означає, що природне середовище не є повністю перетвореним і зберігає відносно високий рівень екологічної різноманітності.

Господарська характеристика Збаразької громади показує, що її економіка має переважно малий і середній підприємницький уклад. У 2024 році тут

здійснювали діяльність 145 малих та 16 середніх підприємств, а кількість зареєстрованих фізичних осіб-підприємців становила 1081. За рік кількість ФОПів зросла на 144 особи, а завдяки реєстрації суб'єктів підприємницької діяльності було створено 492 нові робочі місця. У громаді діяли також 146 об'єктів роздрібної торгівлі та 15 закладів громадського харчування. Такі цифри свідчать про те, що економічне життя не зводиться лише до сільського господарства: поруч із ним розвиваються торгівля, послуги, дрібне підприємництво та окремі види переробки. Для території, де працює ФОП із геодезично-інженерним профілем, це особливо важливо, бо дрібний бізнес створює постійний попит на оформлення земельних ділянок, обстеження територій, технічну документацію та супровід будівельних і майнових процедур. Економічна структура території є типовою для сільської громади центральної частини Тернопільщини: вона має потенціал, але залишається чутливою до інфраструктурних і кадрових обмежень (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Сильні та слабкі сторони громади

Категорія	Характеристики та ресурси
Сильні сторони	Наявність малих та середніх підприємств Природні ресурси для будівництва (пісок, глина, крейда тощо) Вільні земельні ділянки та об'єкти для інвестицій Зручне географічне розташування.
Слабкі сторони	Нестача кваліфікованих кадрів Низька якість дорожнього покриття Відсутність містобудівної документації в окремих населених пунктах Недостатність фінансових стимулів для малого бізнесу.

Джерело: створено автором на основі [8].

Для Збаразької громади характерні також землевпорядні проблеми, які безпосередньо стосуються діяльності ФОП із КВЕД 71.12. У програмі соціально-економічного розвитку серед основних проблем названо нераціональне використання земель сільськогосподарського призначення, дефіцит фінансових ресурсів, зношеність основних фондів підприємств, безробіття, зниження купівельної спроможності, погіршення стану автомобільних доріг, а також зношеність систем водопостачання і

водовідведення. Окремо вказано на низький рівень освітлення сіл і незадовільну якість пасажирських перевезень. Така сукупність чинників свідчить, що територія перебуває в стані інтенсивного господарського використання, але її інфраструктура потребує постійного обліку, технічного супроводу та землеупорядних рішень. Саме в такому середовищі геодезичні, технічні та консалтингові послуги стають практично необхідними для оформлення прав на землю, підготовки документації та впорядкування просторових відносин [8].

Екологічна ситуація в області також має значення для характеристики території. Серед сильних сторін є відсутність забруднюючих підприємств, наявність лісів і озер, а серед слабких – пасивність населення у питаннях поводження з твердими побутовими відходами та нерозвинена готельна мережа. В екологічному паспорті області за 2024 рік зафіксовано, що на природоохоронні заходи було освоєно 3 397,19 тис. гривень, а регіональна політика у сфері довкілля спирається на програму охорони навколишнього природного середовища на 2021–2027 роки. Це означає, що для території характерне поєднання відносно чистого природного фону із наявністю локальних екологічних проблем, пов'язаних переважно не з важкою промисловістю, а з господарським навантаженням на землю, відходами та станом інфраструктури. Для сільської місцевості це звична модель екологічних викликів, де основний тиск припадає на ґрунти, дороги, водойми та сільські двори [8].

Таким чином, природно-господарська характеристика території, де зареєстрований ФОП Оліх Богдан Андрійович, показує поєднання сприятливих природних умов і виразної сільськогосподарської спеціалізації. Територія має рівнинно-хвилястий рельєф Подільської височини, помірно-континентальний клімат, родючі ґрунти, достатню мережу річок і значну частку орних земель. Поруч із цим зберігаються лісові масиви та елементи природоохоронної мережі, зокрема урочища, пов'язані з Доброміркою. Господарське життя громади ґрунтується на перевазі малих і середніх підприємств, великій кількості ФОПів,

роздрібній торгівлі та сільському господарстві. Основний КВЕД ФОП – 71.12 – добре відповідає такій території, де значна частина земель потребує геодезичного супроводу, технічного оформлення й землевпорядних робіт. Саме ця відповідність між природними умовами, структурою землекористування та господарськими потребами і формує реальний зміст природно-господарської характеристики досліджуваної території.

2.2. Алгоритм збору та обробки просторових даних

Алгоритм збору та обробки просторових даних для дослідження деградації ґрунтів у межах агроландшафтів ФОП Оліх Богдан Андрійович базується на комплексному поєднанні архівних матеріалів, результатів сучасного дистанційного зондування Землі та інструментів геоінформаційного аналізу. Цей процес починається з чіткого визначення меж досліджуваної території, що є просторовою основою для всіх подальших розрахунків. На початковому етапі проводиться ретельний збір первинної інформації, яка включає цифрові кадастрові карти господарства, історичні плани землекористування та актуальні дані про структуру посівних площ. Це дозволяє створити базовий векторний шар у середовищі геоінформаційної системи, де кожна земельна ділянка отримує свій унікальний ідентифікатор та прив'язку до географічних координат. Важливою складовою є залучення даних про рельєф, оскільки саме він виступає просторовою основою розвитку ерозійних процесів, тому в алгоритм обов'язково включається побудова цифрової моделі рельєфу. Для цього використовуються радарні дані або результати стереометричної обробки супутникових знімків, що дає змогу розрахувати такі критичні показники як крутизна, довжина та експозиція схилів. На основі отриманої моделі рельєфу в подальшому виділяються зони потенційного накопичення вологи та ділянки з високим ризиком водної ерозії, що є ключовим для оцінки стану чорноземів та сірих лісових ґрунтів на території господарства.

Наступний великий блок алгоритму присвячений роботі з даними дистанційного зондування Землі, де основний акцент робиться на використанні

багатоспектральних знімків супутників серії Sentinel-2 та Landsat. Вибір саме цих джерел зумовлений їхньою високою просторовою роздільною здатністю та регулярністю знімання, що критично важливо для моніторингу агроландшафтів, які швидко змінюються протягом сезону. Алгоритм обробки цих даних включає обов'язкову процедуру атмосферної корекції та усунення хмарності, після чого переходять до розрахунку вегетаційних індексів, серед яких провідне місце посідає NDVI. Аналіз динаміки цього індексу дозволяє оцінити стан рослинного покриву як непрямий показник якості ґрунту: ділянки зі стійко низькими значеннями біомаси часто вказують на зони деградації, виснаження або перезволоження. Окрім того, використання архівних даних Landsat дозволяє провести ретроспективний аналіз і побачити, як змінювалася структура агроландшафту протягом останніх десятиліть, чи не відбувалося розорювання вразливих схилів та як це вплинуло на сучасну картину деградації.

Після отримання вегетаційних та морфометричних характеристик алгоритм переходить до етапу інтеграції різномірних даних у єдину геоінформаційну модель. Це передбачає накладання шарів ерозійної небезпеки, типів ґрунтів та інтенсивності землекористування. Саме на цьому етапі проводиться класифікація земель за ступенем порушення, де поєднуються результати дешифрування космічних знімків та дані про фізико-хімічні властивості ґрунтів, такі як вміст гумусу чи ступінь ущільнення. Важливою частиною обробки є використання статистичних методів для оцінки впливу антропогенного фактора: аналізується зв'язок між типами сільськогосподарських культур, методами їхнього обробітку та швидкістю втрати родючого шару. Для ФОП Оліх Б. А. це дозволяє виявити найбільш вразливі ділянки, де інтенсивне землеробство в поєднанні зі складним рельєфом призводить до активного винесення органічної речовини. Завершується алгоритм візуалізацією результатів у вигляді серії тематичних карт, які відображають сучасний стан ґрунтового покриву та просторовий розподіл різних типів деградації – від водної ерозії на схилах до вітрового винісу на

відкритих ділянках. На рисунку 2.2 наведемо алгоритм збору та обробки просторових даних для моніторингу деградації ґрунтів агроландшафтів.

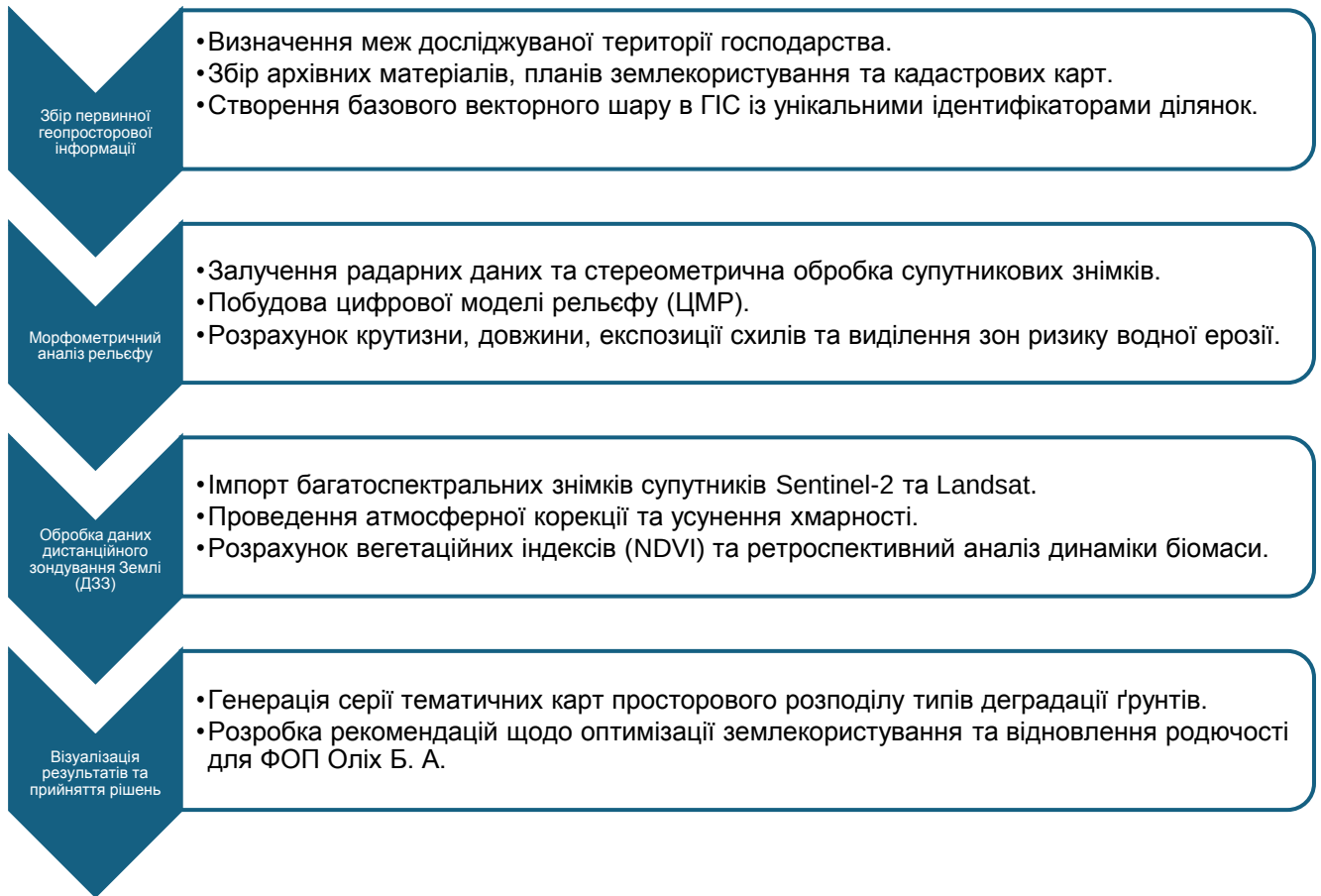


Рис. 2.2 Алгоритм збору та обробки просторових даних для моніторингу деградації ґрунтів агроландшафтів

Отже, такий системний підхід забезпечує не лише фіксацію наявних проблем, а й стає базою для розробки конкретних заходів з оптимізації землекористування та відновлення родючості досліджуваних агроландшафтів.

Висновки до розділу 2

Об'єкт дослідження охоплює територію Збаразької громади Тернопільської області, де господарська діяльність ФОП Оліх Б. А. інтегрована у специфічний природно-аграрний контекст Подільської височини. Природна характеристика об'єкта визначається рівнинно-хвилястим рельєфом, помірно-континентальним кліматом та наявністю високоцінних чорноземів і сірих лісових ґрунтів, що зумовлює інтенсивне сільськогосподарське освоєння земель

(понад 77 % площі регіону). Водночас мозаїчність ландшафту, представлена баками, ярами та річковими басейнами Серету й Гнізни, створює передумови для розвитку ерозійних процесів. Господарський уклад громади базується на малому підприємстві та агровиробництві, що формує сталий попит на інженерно-геодезичний супровід та моніторинг стану земельних ресурсів.

Методика геоінформаційного аналізу деградації ґрунтів базується на комплексному алгоритмі, що поєднує наземні дані та методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Процес обробки починається з формування векторної бази даних кадастрового поділу та побудови цифрової моделі рельєфу (ЦМР), яка є критичною для моделювання водної ерозії. Основний інструментарій аналізу включає обробку багатоспектральних супутникових знімків Sentinel-2 та Landsat. Методика передбачає розрахунок вегетаційних індексів (зокрема NDVI) для оцінки біомаси як індикатора ґрунтового здоров'я. Ретроспективний аналіз архівних даних дозволяє відстежити динаміку землекористування за останні десятиліття. Фінальний етап методики полягає в інтеграції морфометричних, вегетаційних та ґрунтових шарів у середовищі ГІС, що дозволяє класифікувати ділянки за ступенем деградації та візуалізувати зони ризику у вигляді тематичних карт. Такий системний підхід забезпечує наукову обґрунтованість управлінських рішень щодо відновлення агроландшафтів та оптимізації господарської діяльності.

РОЗДІЛ 3. ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ АГРОЛАНДШАФТІВ НА БАЗІ ФОП ОЛІХА Б. А.

3.1. Оцінка сучасного стану та класифікація земель за ступенем порушення

Геопросторовий аналіз стану ґрунтового покриву агроландшафтів на базі ФОП Оліха Б. А. дає змогу побачити не лише загальну площу порушених земель, а й просторову логіку їхнього поширення (див. рис. 3.1). У сучасній практиці оцінювання ґрунтових ризиків дедалі частіше спирається на дистанційне зондування Землі, геоінформаційні системи та просторове моделювання, оскільки саме вони дозволяють одночасно враховувати рельєф, покрив рослинності, тип землекористування та інтенсивність ерозійних процесів на різних ділянках території. Оглядові праці 2024–2025 років підкреслюють, зокрема авторства Wang J. та ін, що супутникові дані та ГІС особливо корисні для виявлення осередків ерозії, оцінювання її інтенсивності та зіставлення природних і антропогенних чинників у межах однієї ділянки. Для агроландшафтів це важливо, тому що деградація ґрунтів майже завжди має просторово неоднорідний характер і сильніше проявляється там, де поєднуються схили, інтенсивний обробіток та слабкий рослинний покрив [38].

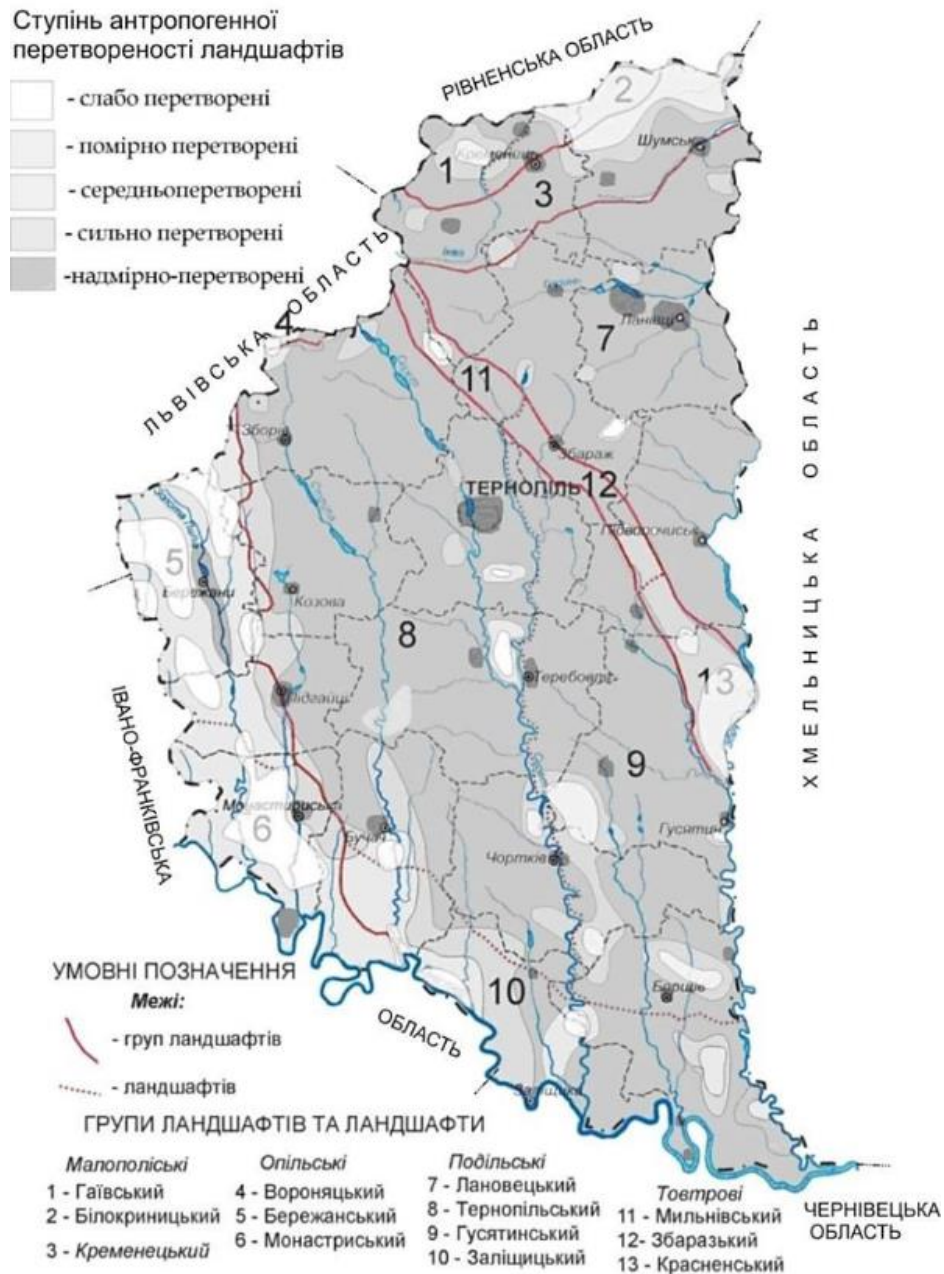


Рис. 3.1 Карта антропогенної перетвореності ландшафтів Тернопільської області

У ширшому контексті стан ґрунтів в Україні залишається напруженим. За оцінками звіту JRC про стан довкілля і клімату в Україні, ерозія є найважливішою формою деградації ґрунтів у країні, а сумарна площа еродованих земель оцінюється у 10,5 мільйона гектарів; при цьому поверхнева водна ерозія поширена на 17 % орних земель, яркова – на 3 %, вітрова – на 11 % орних земель. У цьому ж звіті зазначено, що середній уміст гумусу в ґрунтах України знизився з 3,16 % у 2015 році до 3,07 % у 2020 році. Європейський

огляд стану ґрунтів за 2024 рік також показує, що деградація ґрунтів у сільському господарстві є масовим явищем: приблизно чверть ґрунтів ЄС потерпає від водної ерозії, а близько третини сільськогосподарських земель зазнають незбалансованої або надмірної водної ерозії. Це означає, що проблеми, виявлені в межах ФОП Оліха Б. А., не є поодинокими, а вписуються у загальну картину деградації агроландшафтів помірної зони.

Загальна площа території, охопленої аналізом, становить 300 гектарів, з яких 230 гектарів віднесено до деградованих земель. Отже, порушення ґрунтового покриву охоплює переважну частину агроландшафтів, а частка відносно стабільних ділянок становить лише близько 23 %. Така структура вказує на те, що ґрунтовий покрив не є рівномірно стійким: окремі типи земель і окремі елементи рельєфу реагують на господарське навантаження значно сильніше за інші. У вашому масиві найпомітнішими є чорноземи та орні землі, на які припадає найбільша площа деградованих ділянок. Це особливо показово, оскільки чорноземи традиційно вважаються найбільш продуктивними ґрунтами України, але саме вони найбільше страждають від тривалого інтенсивного використання, втрати органічної речовини та водної ерозії. FAO окремо наголошує, що в Україні багаторічне інтенсивне землеробство призвело до погіршення й ерозії чорноземів, а також до виснаження їхнього органічного складу і поживних речовин [36].

Розподіл деградованих земель за типами ґрунтів добре показує, де саме ризик є найбільшим. На чорноземах із загальної площі 120 гектарів деградованими є 45 гектарів, тобто майже дві п'ятих масиву. Для цієї групи ключовими проблемами є водна ерозія та часткове виснаження гумусу. Така комбінація є типовою для ділянок, де орний обробіток триває багато років без достатнього відновлення рослинного покриву, а поверхневий стік посилює змив дрібнозему. Ерозія систематично описується як головний механізм деградації орних земель, особливо там, де відсутні протиерозійні заходи, переважає традиційний обробіток і зберігається висока частка просапних культур. Для України це має особливе значення, оскільки звіт JRC прямо пов'язує зростання

ерозії з поганими аграрними практиками, обробітком на крутих схилах і недостатнім контурним землеробством.

Сірі лісові ґрунти у масиві мають меншу абсолютну площу деградації, однак проблема тут теж є виразною: із 80 гектарів порушеними визначено 20 гектарів. Для цієї категорії характерні вітрова ерозія та зниження родючості. Це відповідає загальним закономірностям деградації ґрунтів на відкритих агроландшафтах, де зменшення лісистості, слабкий трав'яний покрив і часті механічні втручання підвищують ризик дефляції та втрати дрібних часток ґрунту. На рівні Європи механічний обробіток ґрунту, зокрема тяглове або культиваційне переміщення ґрунтової маси, уже розглядається як окремий чинник деградації поряд із класичною водною ерозією. Для сіролісових ґрунтів це особливо небезпечно, бо навіть за меншої площі деградації втрата верхнього шару швидко позначається на структурі, вологості та здатності утримувати поживні елементи. У звіті про стан ґрунтів Європи за 2024 рік підкреслено, що на аграрних землях паралельно з ерозією поширюються також дефіцити органічного вуглецю та дисбаланси поживних речовин, тобто проблема має не лише механічний, а й хімічний вимір [15].

Глейові ґрунти у межах нашого дослідження становлять окрему вразливу групу, оскільки з 50 гектарів 15 гектарів уже мають ознаки деградації. Основною проблемою тут є заболочування та погіршення аерації. Це характерно для ділянок із надмірним зволоженням, слабким поверхневим або внутрішньогрунтовим дренажем і застійним режимом води. Такі умови обмежують доступ кисню до кореневої системи, сповільнюють мікробіологічні процеси й гальмують мінералізацію органічної речовини. У загальній класифікації загроз для ґрунтів FAO водозаболочення прямо належить до основних форм деградації, поряд з ерозією, ущільненням, засоленням і забрудненням. Тому наявність глейових ґрунтів у межах досліджуваного масиву означає не просто локальну вологість, а реальний ризик переходу частини площ у малопродуктивний або важковикористовуваний стан, якщо в межах ділянки зберігаються перезволоження та застій води [35].

Орні землі є найбільш чутливою частиною агроландшафтів, бо саме тут дія господарського навантаження є найбільш прямою. У нашому дослідженні з 100 гектарів орних земель деградованими є 40 гектарів, а основними проявами виступають виснаження органіки та ерозійні процеси. Це цілком узгоджується з сучасними дослідженнями, які показують, що інтенсивне сільське господарство з високою часткою механізованого обробітку, спрощеними сівозмінами та недостатнім поверненням органічної маси до ґрунту поступово зменшує гумусовий запас і руйнує структуру орного шару. На практиці це означає, що ґрунт гірше утримує воду, стає більш вразливим до змиву, а врожайність починає коливатися навіть за відносно стабільних погодних умов. У звіті JRC для України прямо зазначено, що щороку через ерозію втрачаються сотні мільйонів тонн ґрунту, а втрати гумусу, азоту, фосфору і калію значно перевищують обсяги їхнього внесення з добривами. Саме тому орні землі у нашому масиві логічно входять до зони найбільшої деградації.

Пасовища демонструють відносно меншу площу деградації, але їхній стан теж не можна вважати стійким. Із 60 гектарів пасовищ порушеними є 10 гектарів, а головною проблемою виступає ущільнення ґрунту. Ущільнення є типовою фізичною формою деградації, яка виникає під впливом тваринного витоπτування, проходу техніки або надмірного навантаження на вологий ґрунт. FAO і сучасні огляди прямо відносять ущільнення до основних загроз ґрунтовій структурі, оскільки воно зменшує пористість, погіршує інфільтрацію води і послаблює газообмін. Для пасовищ це означає, що на окремих ділянках погіршуються умови для коренеутворення, знижується травостій і зростає нерівномірність використання площі. На геопросторовому рівні такі процеси зазвичай мають плямистий характер: сильніше ущільнення виникає біля місць постійного проходу або скупчення худоби, тоді як віддалені ділянки можуть зберігати кращі показники. Саме тому пасовища у межах аналізованої території доцільно розглядати як просторово неоднорідний елемент, у якому деградація має локальний, але добре фіксований характер [35].

Фактори деградації утворюють типову для агроландшафтів систему взаємодії природних умов і господарського впливу. Рельєф у цьому наборі відіграє вирішальну роль, бо схили підсилюють поверхневий стік і створюють умови для водної ерозії. Кліматичний чинник проявляється через чергування періодів надмірного зволоження та посухи, що одночасно сприяє і заболочуванню низин, і виснаженню більш сухих ділянок. Землекористування впливає через інтенсивність обробітку, повторюваний рух техніки та режим випасу. Рослинний покрив або його відсутність визначає, наскільки ґрунт захищений від прямого удару крапель дощу та змиву дрібних часток. Антропогенне навантаження, пов'язане з будівництвом чи транспортом, локально порушує структуру ґрунту й посилює ущільнення. Сучасні дослідження підкреслюють, що саме поєднання цих чинників, а не один окремий фактор, формує реальну карту деградації. Для нашого масиву це означає, що найпроблемнішими є ділянки, де схили поєднуються з орним використанням, а також зони, де слабкий дренаж накладається на перезволоження або інтенсивне техногенне навантаження [38]. Класифікація земель за ступенем деградації дозволяє узагальнити просторову картину в більш зрозумілій формі (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Класифікація земель ФОП Оліха Б. А. за ступенем деградації

Ступінь деградації	Площа (га)	Основні характеристики та прояви	Вплив на продуктивність
Слабка	30	Локальні осередки ерозії, незначне виснаження.	Продуктивна функція ґрунту ще не зруйнована.
Середня	80	Чітке збіднення гумусового горизонту, наявність ерозійних борозен.	Відчутне падіння врожайності.
Сильна	120	Інтенсивна ерозія, значне ущільнення, забруднення або виснаження гумусу.	Втрата базових агрономічних властивостей.
Разом	230		

Джерело: створено автором.

Отже, сучасний стан ґрунтового покриву агроландшафтів ФОП Оліха Б. А. можна охарактеризувати як просторово неоднорідний, але загалом напружений. На території переважають ділянки із середнім і сильним ступенем

деградації, причому найуразливішими є чорноземи та орні землі на схилах, де водна ерозія поєднується з виснаженням органічної речовини. Сірі лісові ґрунти частіше зазнають дефляційного впливу та втрати родючості, глейові – перезволоження й порушення аерації, а пасовища – ущільнення. Саме така комбінація дозволяє говорити не про поодинокі локальні відхилення, а про сформований комплекс деградаційних змін, у якому фізичні, хімічні та гідрологічні процеси діють одночасно.

3.2. Оцінка впливу рельєфу та інтенсивного землеробства на розвиток ерозійних процесів

Геопросторовий аналіз стану ґрунтового покриву агроландшафтів ФОП Оліха Б. А. показує, що рельєф і спосіб господарювання діють не окремо, а разом, посилюючи або послаблюючи ерозійні процеси. У світовому масштабі ерозія ґрунту залишається однією з головних форм деградації земель на орних угіддях, а на схилах вона швидко переходить від поверхневого змиву до борозен і ярів. Огляд Дж. Квінтоні і П. Фінера підкреслює, що ерозія на орних землях є сталою проблемою для сільського господарства і довкілля, бо вона змінює потужність ґрунтового профілю, зменшує запас поживних речовин і органічної речовини та підсилює ризики повеней і посух. Європейські дані також підтверджують, що сільськогосподарські угіддя є основним носієм ерозійного навантаження: у 2016 році понад 80 % площ із помірною та сильною водною ерозією в ЄС припадало саме на аграрні землі та природні луки, а середня інтенсивність змиву на цих землях становила 3,4 т/га на рік. Для України проблема ще гостріша, бо ФАО наводить оцінку водної ерозії на рівні 13,4 млн га, з яких 10,6 млн га припадає на рілля. Такі показники створюють загальний фон, у якому стає зрозумілим і локальний стан ділянки ФОП Оліха Б. А., де рельєф, рілля, пасовища та різна щільність рослинного покриву формують неоднаковий ступінь уразливості ґрунтів [29].

У межах досліджених агроландшафтів загальною площею 410 га деградованими є 130 га, тобто близько 31,7 % території. Найбільші абсолютні

площі деградації зафіксовані на чорноземах і орних землях: 45 га з 120 га чорноземів і 40 га зі 100 га орних земель. Це означає, що саме інтенсивно використовувані площі з найвищим рівнем розораності дають основний внесок у втрату стійкості ґрунтового покриву. На сірих лісових ґрунтах деградованими є 20 га з 80 га, на глейових ґрунтах 15 га з 50 га, а на пасовищах 10 га з 60 га. Якщо перевести це у частку від типу ґрунту, то найбільш уразливими виявляються орні землі, де деградує 40 % площі, і чорноземи, де деградує 37,5 %. Далі йдуть глейові ґрунти з показником 30 % та сірі лісові ґрунти з 25 %. Найнижча частка деградації у пасовищ, але навіть там наявне ущільнення, що свідчить про механічний тиск і витоптування. Таке співвідношення добре узгоджується із сучасними уявленнями про те, що сам по собі тип ґрунту не визначає ризик ерозії повністю; вирішальним стає те, як саме він розміщений у рельєфі і як використовується в господарстві [17].)

Рельєф у цій системі є одним із головних чинників, бо саме схили керують швидкістю поверхневого стоку і здатністю води змивати верхній, найбільш родючий шар. У європейському індикаторі водної ерозії підкреслено, що поєднання крутизни схилу та довжини схилу має найбільший вплив на втрату ґрунту, а гірські й горбисті території стабільно показують вищі показники ерозії, ніж рівнинні. Методика JRC для оцінювання ерозії також прямо включає фактори крутизни та довжини схилу, які обчислюють на основі цифрової моделі рельєфу, тобто саме просторове положення ділянки у ландшафті визначає її ерозійну чутливість. У межах наших даних це добре пояснює, чому найбільш проблемними є ділянки з різким рельєфом і орні землі на схилах. Там вода не встигає інфільтруватися в ґрунт, а рухається вниз по поверхні, утворюючи спершу площинний змив, потім дрібні борозни, а за повторної дії – глибші промоїни. Для глейових ґрунтів інший механізм ризику: вони частіше пов'язані з низинами, де накопичується волога і порушується аерація. Тобто рельєф впливає не лише через ерозію, а й через перерозподіл вологи. Низинні ділянки можуть втрачати стійкість через перезволоження, тоді

як схили – через дефіцит вологи після швидкого стоку. Саме тому рельєф виступає базовим просторовим контролем усієї деградаційної мозаїки [17].

Інтенсивне землеробство підсилює дію рельєфу, бо воно робить поверхню ґрунту відкритою і менш захищеною. Європейська статистика прямо вказує, що сільське господарство не тільки страждає від ерозії, а й саме є одним із її головних чинників, а для запобігання змиву важливими є зменшення обробітку, збереження рослинних решток, зимові покривні культури, трав'яні межі та контурне землеробство. У звіті Європейської комісії з оцінювання ґрунтових показників САР зазначено, що заходи зі збільшення рослинного покриву протягом року і зі зменшення інтенсивності оранки були серед ключових чинників скорочення водної ерозії на ріллі. Окреме дослідження про інтенсивне землеробство в оливкових гаях Португалії показало, що рослинний покрив істотно зменшує втрату ґрунту, а вплив практик управління ґрунтом на ерозію важливий незалежно від густоти насаджень. Ще одне дослідження про покривні культури засвідчило, що вони збільшують покриття поверхні, зменшують стік і знижують ерозію. Для нашого об'єкта це важливо через орні землі, які у таблиці 4.1 мають 40 га деградованих площ. Саме рілля найчутливіша до поєднання схилу і механічного втручання. На такій землі верхній шар щороку порушується, структура стає менш стійкою, а органічна речовина швидше розкладається і виноситься. Звідси й те, що серед основних проблем ви зазначили виснаження органіки та ерозійні процеси. Ці два явища майже завжди йдуть разом: коли з поверхні змивається дрібнозем, разом з ним втрачаються гумус, азот, фосфор і калій, а отже, ґрунт втрачає не тільки масу, а й функціональну якість. Отже, ерозія призводить до втрати родючого шару, руйнування структури ґрунту та збільшення ризику паводків.

Окремої уваги потребують пасовища. У наших даних вони мають меншу частку деградованої площі, лише 10 га із 60 га, але проблема там проявляється через ущільнення ґрунту. Це не така помітна форма деградації, як яр або промоїна, проте вона так само важлива для загального стану агроландшафту. Коли худоба систематично проходить одними й тими самими маршрутами,

грунт у місцях випасу ущільнюється, зменшується пористість, гірше проникає вода, а коріння трави отримує менше повітря. Ущільнений грунт після дощу легше дає поверхневий стік, а отже, навіть пасовище може стати джерелом змиву. У глобальному огляді ерозії на орних землях підкреслено, що типова картина інтенсивного сільського господарства – це великі відкриті поля без бар'єрів на межах, що полегшує перерозподіл ґрунту всередині ландшафту і винос часток за його межі. Quinton J. N. та Fiener P. наголошено, що зменшення порушення ґрунту, збільшення покриття поверхні і розрив зв'язності стоку можуть суттєво скоротити втрати. Для пасовищ принцип подібний: коли трав'яний покрив щільний і відновлений, він працює як захисна «подушка», а коли його стан погіршується через витоптування, захисна функція слабшає. Тому навіть у тій частині агроландшафту, яка здається менш ерозійно небезпечною, є прихована вразливість, пов'язана з механічним тиском і зміною інфільтрації [29].

Сіра лісова зона у наших даних демонструє ще один варіант деградації – вітрову ерозію і зниження родючості. Тут важлива не тільки крутизна, а й відкритість поверхні, сухість верхнього шару та дрібнозерниста структура, яка легше підхоплюється вітром, коли поле розоране і не має достатнього покритву. Огляд Quinton J. N. та Fiener P. зазначає, що на орних землях вітрова ерозія посилюється через порушення ґрунту під час обробітку, особливо коли верхній шар сухий. У європейському індикаторі також підкреслено, що збереження рослинних решток, зимових культур і трав'яних смуг є важливим для обмеження ерозійних процесів. У польових умовах це означає, що навіть слабо виражений рельєф не гарантує низького ризику, якщо поверхня ґрунту довго залишається незахищеною. Тому сірі лісові ґрунти у вашому масиві, хоч і мають меншу частку деградації, ніж орні землі чи чорноземи, усе одно потребують уваги саме через поєднання вітрового впливу і падіння гумусованості. Додатково варто враховувати, що втрати органічної речовини і зменшення агрегатної стійкості ведуть до ще більшої вразливості перед повторним обробітком. Так створюється замкнене коло, коли кожна наступна оранка або

проходження техніки робить поверхню ще менш стійкою. У просторовому сенсі геоінформаційний аналіз дає змогу бачити ці ділянки як окремі осередки ризику, пов'язані не лише з ґрунтовим типом, а й з напрямом вітрів, відкритістю полів та відсутністю захисних смуг [29].

Якщо дивитися на ці площі саме як на просторову систему, то важливо не лише скільки гектарів уражено, а й де саме вони розміщені. Геопросторовий підхід дає змогу побачити, що ерозія у межах агроландшафту найчастіше не розподіляється випадково, а формується смугами і осередками, пов'язаними зі схилами, межами полів, ділянками з коротким або перерваним рослинним покривом і місцями, де поверхневий стік концентрується. У сучасних моделях оцінювання ерозії, що працюють у ГІС-середовищі, рельєф, ґрунт, опади, тип покриву та господарська практика розглядаються як взаємопов'язані шари, які разом визначають потенціал змиву. Саме тому навіть відносно невеликі зміни в крутизні схилу або довжині схилового профілю можуть істотно змінювати розподіл ерозійного ризику. У дослідженні з використанням RUSLE та просторового аналізу показано, що топографічний фактор є одним із найчутливіших параметрів, а схиліві ділянки поблизу водотоків і понижених елементів рельєфу особливо вразливі до втрати ґрунту. Там, де потік води набирає швидкість, збільшується і здатність до відриву частинок ґрунту, а потім до перенесення їх вниз по схилу. Тому для вашого об'єкта найризикованішими є не просто схили як абстрактне поняття, а саме ті ділянки, де схил довгий, поле відкрите, а стік не переривається смугами рослинності, лісосмугами або іншими бар'єрами [22].

Це добре пояснює і те, чому в межах аналізованого об'єкта переважають середня та сильна деградація. Локальні ерозійні прояви зазвичай починаються зі слабого змиву, який ще не завжди помітний візуально, але з часом переходить у стабільні борозни, розмиви на коліях, втрату дрібнозему, оголення підґрунтя і нерівномірне просідання врожайності. У нашому масиві 30 га віднесено до слабкої деградації, 80 га до середньої, 120 га до сильної. Така структура означає, що проблема вже не обмежується поодинокими осередками.

Вона має просторову інерцію, бо уражені ділянки часто розташовуються поруч і підживлюють одна одну через перерозподіл води та ґрунтових часток. Саме так працює схиловий ландшафт: верхні частини втрачають матеріал, середні зони отримують проміжний перерозподіл, а у нижніх частинах може відбуватися або накопичення змивного матеріалу, або застій води. Через це в межах одного господарства одночасно виникають різні типи деградації. На підвищеннях і схилах домінує водна ерозія, а в пониженнях – перезволоження, глейовість і погіршення аерації. Таке поєднання особливо важливе для глейових ґрунтів, де водний режим і ущільнення роблять рослинний покрив менш стійким, а також для орних земель, де часте розпушення тимчасово послаблює структуру ґрунту. Отже, геопросторовий аналіз показує не просто наявність деградації, а її внутрішню логіку, коли різні форми порушення ґрунту змінюють одна одну в межах одного агроландшафту.

Інтенсивне землеробство в цій системі діє як множник ризику. Коли ґрунт часто орють, дискують або глибоко обробляють, на поверхні зменшується кількість рослинних решток, падає шорсткість поверхні і скорочується час, протягом якого вода встигає просочитися в ґрунт. Тоді навіть звичайний дощ стає чинником змиву, а за сильніших опадів процес різко прискорюється. Оцінювання Європейської комісії для аграрних земель показує, що зменшення інтенсивності обробітку і збільшення рослинного покриву протягом року є одними з ключових механізмів скорочення водної ерозії. Для нашого об'єкта це важливо через орні землі, які у таблиці 4.1 мають 40 га деградованих площ. Саме рілля найчутливіша до поєднання схилу і механічного втручання. На такій землі верхній шар щороку порушується, структура стає менш стійкою, а органічна речовина швидше розкладається і виноситься. Звідси й те, що серед основних проблем ви зазначили виснаження органіки та ерозійні процеси. Ці два явища майже завжди йдуть разом: коли з поверхні змивається дрібнозем, разом з ним втрачаються гумус, азот, фосфор і калій, а отже, ґрунт втрачає не тільки масу, а й функціональну якість. На рисунку 3.2 наведемо карту оцінки впливу рельєфу на інтенсивність ерозійних процесів у Тернопільській області.

Отже, Україна належить до країн, де ерозія охоплює дуже великі площі, а рілля є особливо вразливою. У ЄС найвищі показники ерозії теж пов'язані з аграрними землями, а в регіонах зі схиловим рельєфом ризик зростає ще більше. Саме тому поєднання схилів, інтенсивного обробітку, недостатнього покриву і часткового перевипасання у межах агроландшафтів ФОП Оліха Б. А. дає таку ту картину: найбільше уражені чорноземи та орні землі, на схилах переважає водна ерозія, у пониженнях і на глейових ґрунтах посилюється перезволоження, а на відкритих ділянках сірих лісових ґрунтів з'являється вітровий виніс. Таким чином, рельєф виступає просторовою основою ерозійної небезпеки, а інтенсивне землеробство – її головним посилювачем. Коли ці два чинники збігаються, верхній шар ґрунту швидко втрачає органічну речовину, структуру і продуктивність, що й відбивається в наданій вами класифікації як переважання середньої та сильної деградації.

Висновки до розділу 3

Геопросторовий аналіз стану ґрунтового покриву агроландшафтів на базі ФОП Оліха Б. А. свідчить про глибоку деградацію територій, спричинену поєднанням природних особливостей рельєфу та інтенсивного антропогенного тиску. Дослідження охоплює 300 гектарів, з яких 230 гектарів (близько 77%) ідентифіковані як деградовані. Основну частину порушених земель становлять чорноземи та орні угіддя, що є тривожним показником для найбільш родючих ґрунтів регіону. Використання геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційного зондування дозволило встановити просторову неоднорідність деградаційних процесів: водна ерозія та виснаження гумусу домінують на схилових ділянках чорноземів, тоді як сірі лісові ґрунти більше страждають від дефляції та механічного руйнування структури.

Аналіз продемонстрував, що рельєф виступає базовим контролем ерозійної небезпеки, керуючи швидкістю поверхневого стоку та перерозподілом вологи. На схилах інтенсивне землеробство, що супроводжується частим механічним обробітком та недостатнім рослинним покривом, посилює змив дрібнозему, призводячи до втрати органічної речовини та руйнування ґрунтового профілю. У низинних ділянках, зокрема на глейових ґрунтах, деградація проявляється через заболочування та погіршення аерації. Пасовища ж зазнають фізичної деградації у формі ущільнення через надмірне пасовищне навантаження. Класифікація земель за ступенем порушення виявила переважання середньої та сильної деградації (загалом 200 га), що свідчить про системну втрату базових агрономічних властивостей. Отримані результати підкреслюють необхідність впровадження контурного землеробства, збереження рослинних решток та оптимізації структури посівів для стабілізації ґрунтового здоров'я в межах досліджуваного агроландшафту.

РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ТА ЗАХОДИ З ВІДНОВЛЕННЯ РОДЮЧОСТІ

4.1. Обґрунтування системи протиерозійних та меліоративних заходів

Розробка та обґрунтування системи протиерозійних та меліоративних заходів для ФОП Оліха Б. А. є критично важливим етапом, оскільки результати геоінформаційного аналізу чітко вказують на прогресуючу деградацію ґрунтів у межах агроландшафтів села Добромірка. Оптимізація землекористування на цих територіях повинна базуватися на комплексному підході, який поєднує в собі сучасні цифрові технології моніторингу та перевірені часом агротехнічні прийоми відновлення родючості. Головна мета полягає в тому, щоб перетворити виснажені ділянки на стійку екосистему, здатну до самовідновлення та високої продуктивності в умовах мінливого клімату Поділля. Загальну структуру та взаємозв'язок елементів запропонованого комплексного підходу наведено на рисунку 4.1.

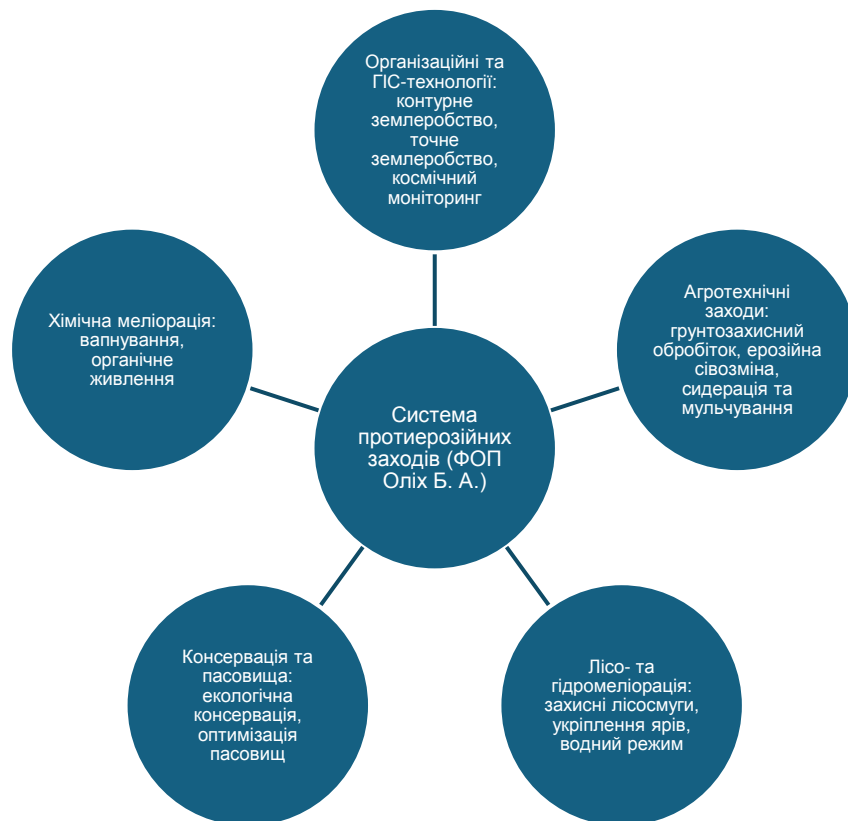


Рис. 4.1 Структурно-функціональна схема комплексної системи протиерозійних заходів ФОП Оліха Б. А.

Основою будь-якої стратегії захисту земель є організаційна оптимізація, яка передбачає приведення структури угідь у відповідність до природних особливостей рельєфу. На ділянках, де зафіксована висока інтенсивність водної ерозії, необхідно впровадити контурно-меліоративну організацію території. Це означає, що межі полів, напрямки обробітку та логістичні шляхи мають повторювати горизонталі рельєфу. Для господарства Оліха Б. А. це дозволить мінімізувати швидкість поверхневого стоку води під час злив. Коли трактор рухається не вздовж схилу, а в поперек, кожна борозна стає мікроскопічною греблею, яка затримує вологу і не дає їй змивати цінний гумусовий шар чорнозему. Така зміна логістики не потребує великих капіталовкладень, але дає миттєвий ефект у збереженні ґрунтової маси.

Наступним кроком є радикальна зміна підходу до сівозміни. Аналіз показує, що тривале вирощування монокультур або переважання просапних рослин, таких як соняшник чи кукурудза, призвело до «втоми» ґрунту та втрати його структури. Для відновлення родючості в сівозміні необхідно обов'язково включати багаторічні бобові трави, як-от люцерну або еспарцет. Ці культури мають унікальну здатність фіксувати атмосферний азот завдяки бульбочковим бактеріям і накопичувати його в землі в доступній для наступних рослин формі. Крім того, їхня потужна коренева система проникає глибоко в підґрунтя, розпушуючи ущільнені шари, що виникли через важку техніку. Це природне глибоке розпушування набагато ефективніше за механічне, бо воно створює систему біологічних капілярів, через які вглиб проникає повітря та вода.

Важливим елементом оптимізації є впровадження системи сидерації. Сидерати, або «зелені добрива», мають висіватися відразу після збору основної культури, щоб поле жодного дня не залишалося оголеним. Використання гірчиці, фацелії або редьки олійної дозволяє не лише збагатити ґрунт органікою, а й захистити його від вітрової дефляції, яка є характерною для сірих лісових ґрунтів регіону. Рослинний покрив сидератів діє як живий щит, що гасить енергію крапель дощу та швидкість вітру біля самої поверхні землі. Коли ці рослини відмирають або заорюються, вони стають їжею для ґрунтової

мікрофлори, що активізує процеси гуміфікації – створення нового родючого шару.

Щодо механічного обробітку, господарству варто поступово відмовлятися від класичної полицевої оранки на користь безвідвальних методів. Постійне перевертання пласта призводить до окислення гумусу та руйнування мікробіологічних ланцюгів. Мінімальний обробіток або технологія Strip-till дозволяють зберігати рослинні рештки на поверхні. Це створює ефект мульчування, який є незамінним у боротьбі з пересиханням землі. Мульча затінює ґрунт, знижуючи його температуру в спекотні літні дні на кілька градусів, що запобігає «вигоранню» мікроорганізмів та надмірному випаровуванню вологи. Для ФОП Оліха Б. А., враховуючи наявність схилівих земель, такий підхід є єдиним способом зупинити деградацію.

Меліоративні заходи на ділянках із глейовими ґрунтами повинні бути спрямовані на регулювання водного режиму. Перезволоження в пониженнях призводить до процесів закисання, де рослини страждають від нестачі кисню. Тут доцільно провести локальне щілювання або кротування підґрунтя, щоб відвести зайву воду в нижчі горизонти. Якщо ж проблема має постійний характер, необхідно розглянути можливість створення невеликих водовідвідних каналів, засіяних травою, які будуть скидати воду в природні водотоки без шкоди для рельєфу. Водночас на сухих ділянках актуальним є накопичення зимових опадів через снігозатримання, що досягається залишенням високої стерні або створенням куліс із високостеблових рослин.

Лісомеліорація займає особливе місце в системі захисту агроландшафту Добромірки. Існуючі лісосмуги потребують інвентаризації та відновлення. Посадка нових захисних насаджень по периметру полів дозволить створити сприятливий мікроклімат. Древа не лише зупиняють вітер, а й сприяють випаданню додаткової конденсаційної вологи. Використання місцевих порід, таких як липа, клен чи дуб, забезпечить стійкість цих насаджень до хвороб. Крім того, створення чагарникових буферних зон вздовж ярів та балок

дозволить зупинити їхній подальший ріст, оскільки коріння кущів надійно «прошиває» схили, роблячи їх нерухомими.

Хімічна меліорація також має бути частиною стратегії відновлення родючості. На основі точних лабораторних аналізів, проведених із використанням ГІС-прив'язки кожної проби, необхідно визначити рівень кислотності ґрунтів. Якщо показники рН виходять за межі норми, обов'язковим є вапнування. Це покращує доступність поживних речовин для рослин, оскільки в кислому середовищі більшість добрив просто блокується і не засвоюється. Разом із вапнуванням варто практикувати внесення органічних добрив. Якщо немає можливості використовувати гній, альтернативою стають компости або дефека́т (відходи цукрового виробництва), які є доступними в аграрних регіонах Тернопільщини. Це допоможе відновити фізико-хімічні властивості чорнозему.

Використання геоінформаційних технологій у процесі оптимізації дозволяє ФОП Оліху Б. А. здійснювати точне землеробство. Створення цифрових карт родючості та зон ерозійної небезпеки допомагає диференційовано підходити до кожної ділянки. Замість того, щоб вносити однакову кількість добрив на все поле, їх можна розподіляти пропорційно потребам ґрунту. Це значно знижує хімічне навантаження на довкілля та економить ресурси господарства. Супутниковий моніторинг індексу вегетації дозволяє вчасно помітити осередки пригнічення рослин, що часто є першою ознакою посилення деградаційних процесів, і оперативно вжити заходів.

Окрему увагу слід приділити пасовищам, які часто є найбільш занедбаними ділянками агроландшафту. Через безсистемний випас там спостерігається сильне ущільнення землі та виродження цінних видів трав. Оптимізація використання пасовищ передбачає впровадження загінної системи випасу, де територія ділиться на частини, кожна з яких отримує час на відпочинок та відновлення травостою. Підсів якісних кормових трав та періодичне підживлення дозволять не лише підвищити продуктивність угідь, а

й перетворити їх на надійний заслін проти ерозії, оскільки щільна дернина є найкращим природним захистом ґрунту.

Екологічна консервація земель є крайнім, але необхідним заходом для ділянок, які вже втратили свій господарський потенціал через глибоку деградацію. Якщо яр неможливо зупинити агротехнічними методами, його територію та прилеглу захисну смугу варто вивести з обробітку і заліснити. Це дозволить перетворити «рану» на ландшафті на осередок біорізноманіття, який з часом почне позитивно впливати на водний баланс сусідніх полів. Такий підхід свідчить про високу екологічну свідомість землекористувача та розуміння довгострокових наслідків господарювання.

Для успішної реалізації цієї програми ФОП Оліх Б. А. має забезпечити технічне переоснащення. Використання сівалок точного висіву, агрегатів для вертикального обробітку ґрунту та обприскувачів із комп'ютерним керуванням є технічною базою для відновлення родючості. Сучасна техніка менше тисне на ґрунт, краще дотримується заданої глибини та забезпечує ідеальне покриття землі рослинними рештками. Це інвестиція, яка окупиться через стабільність врожаїв навіть у несприятливі роки, коли традиційні господарства будуть нести збитки через посуху чи ерозію.

Важливим є і людський фактор. Працівники господарства повинні розуміти логіку протиерозійних заходів. Навчання персоналу правилам роботи на схилах, важливості збереження стерні та контролю за станом гідротехнічних споруд є запорукою того, що система буде працювати ефективно. Тільки тоді, коли кожен тракторист буде свідомо уникати руху вздовж схилу, можна буде сказати, що культура землеробства в господарстві вийшла на новий рівень. Це формування нової етики господарювання, де земля сприймається як безцінний спадок, а не просто як виробничий майданчик.

Відновлення родючості ґрунтів у межах агроландшафтів Доброїрки – це тривалий шлях, який вимагає терпіння. Результати багатьох меліоративних заходів стають помітними лише через три-п'ять років системної роботи. Проте кожен міліметр нарощеного гумусу, кожна зупинена промоїна та кожне здорове

поле є внеском у майбутнє. ГІС-аналіз, проведений у роботі, дає всі необхідні дані для старту цієї програми. Він чітко локалізує проблеми, дозволяючи ФОП Оліху Б. А. діяти точково та ефективно.

Таким чином, запропонована система протиерозійних та меліоративних заходів є гнучкою. Вона може коригуватися залежно від нових даних моніторингу або змін у структурі господарства. Головне – дотримуватися принципів сталості, мінімізації механічного впливу та максимізації біологічного потенціалу землі. Такий підхід дозволить не лише зупинити деградацію, а й вивести господарство на шлях сталого розвитку, де економічна вигода гармонійно поєднується з екологічною безпекою та збереженням природної краси подільських агроландшафтів. Родючий ґрунт – це жива основа нашого життя, і обов’язок кожного господаря полягає в тому, щоб передати цю основу наступним поколінням у кращому стані, ніж вона була прийнята.

Комплексність цих заходів також передбачає роботу з водними ресурсами регіону. Оскільки Добромірка має свої джерела та малі річки, важливо, щоб сільськогосподарська діяльність не призводила до їхнього замулення. Створення залужених прибережних захисних смуг навколо водойм є обов’язковим елементом оптимізації. Це дозволить фільтрувати стік із полів, затримуючи частки ґрунту та залишки добрив. Таким чином, фермерське господарство Оліха Б. А. стане не лише виробником продукції, а й охоронцем місцевої гідрологічної мережі, що підвищить якість життя всієї громади.

З точки зору економіки, впровадження цих заходів знижує ризики. Еродовані землі мають набагато більшу варіативність врожайності – у вологий рік вони можуть дати непоганий результат, але в сухий рік врожай на них повністю гине. Оптимізований агроландшафт зі здоровими ґрунтами працює як акумулятор: він накопичує ресурси в добрі часи і поступово віддає їх у важкі. Це створює фінансову стабільність для ФОП, дозволяючи планувати розвиток на десятиліття вперед. Робота з землею – це гра «в довгу», і ті, хто сьогодні інвестує в родючість, завтра стануть лідерами аграрного ринку.

Геоінформаційний аналіз, який став базою для цих рекомендацій, має продовжуватися на регулярній основі. Щороку карти деградації повинні оновлюватися, фіксуючи успіхи та виявляючи нові виклики. Це дозволить ФОП Оліху Б. А. завжди бути на крок попереду деградаційних процесів. Сучасна наука дає всі інструменти для того, щоб перестати бути заручниками примх природи і стати розумними управителями земних багатств. Виконання цих рекомендацій перетворить територію господарства на взірець раціонального землекористування для всієї Тернопільщини, де кожна п'ядь землі захищена, доглянута і працює на благо людей та природи.

На додаток до агротехнічних та інженерних рішень, не можна ігнорувати важливість біологічного різноманіття всередині самого ґрунту. Відновлення родючості неможливе без повернення до життя мільярдів корисних мікроорганізмів, які перетворюють мінеральні речовини на органіку. Використання біопрепаратів на основі корисних грибів та бактерій може значно прискорити процеси відновлення навіть на сильно деградованих ділянках. Це допоможе швидше розкласти пожнивні рештки та пригнітити патогенну флору, яка часто розвивається на виснажених землях. Такий біологічний підхід доповнює технічні заходи, роблячи систему відновлення повноцінною та завершеною.

Отже, стратегія для ФОП Оліха Б. А. – це поєднання високих технологій ГІС, сучасної техніки та глибокої поваги до природних законів ґрунтотворення. Кожен реалізований захід, будь то нова лісосмуга, поле під сидератами чи впровадження контурного обробітку, є цеглинкою у фундаменті стабільного майбутнього. Запобігання ерозії та відновлення гумусу – це не просто виробниче завдання, це місія збереження національного багатства, яким є наші чорноземи. Тільки так, крок за кроком, можна подолати наслідки минулого нераціонального використання і створити квітучий агроландшафт, який буде годувати і радувати нас ще багато років. Робота на землі – це почесна праця, а дбайливе ставлення до неї – найвища чеснота справжнього господаря. Використання результатів геоінформаційного аналізу для прийняття

управлінських рішень є ознакою прогресивного підходу, який обов'язково принесе свої позитивні плоди у вигляді стабільної родючості та процвітання господарства.

4.2. Напрями вдосконалення геоінформаційного моніторингу агроландшафтів

Геоінформаційний моніторинг агроландшафтів ФОП Оліха Б. А. є основою для прийняття будь-яких рішень щодо відновлення родючості земель навколо села Добромірка. Оскільки господарство працює в умовах складного рельєфу Подільської височини, де значна частина земель вже зазнала деградації, існуюча система збору даних потребує серйозного технологічного оновлення. Основним напрямом вдосконалення має стати перехід від періодичної фіксації проблем до створення динамічної системи спостереження, яка працює в режимі реального часу. Це дозволить не просто констатувати факт змиву ґрунту чи виснаження гумусу, а прогнозувати ці явища ще до їхнього критичного прояву.

Центральним елементом оновленого моніторингу повинна стати деталізована цифрова модель рельєфу з високою роздільною здатністю. Зараз у роботі використовуються стандартні радарні дані, проте для точного розрахунку водної ерозії на схилах Збаражчини цього замало. Необхідно впровадити використання безпілотних літальних апаратів, оснащених лідарними сенсорами. Лазерне сканування дозволяє створити точну тривимірну карту поверхні навіть під густою рослинністю, що критично важливо для аналізу стану ярів та балок поблизу Добромірки. На основі такої моделі можна автоматично розраховувати індекси ерозійної небезпеки для кожного квадратного метра поля, що дозволить власнику господарства бачити конкретні точки, де стік води перетворюється на руйнівну силу.

Важливим напрямом є розширення спектра використання супутникових даних. Хоча індекс NDVI є корисним інструментом, він показує лише загальний стан біомаси. Для глибшого аналізу деградації ґрунтів ФОП Оліху Б. А. варто інтегрувати в систему моніторингу інші вегетаційні та ґрунтові індекси.

Наприклад, індекс EVI краще працює в умовах густої вегетації, а індекси відкритого ґрунту дозволяють оцінювати вміст вологи та органіки безпосередньо в моменти, коли поля вільні від посівів. Регулярний аналіз багатоспектральних знімків супутників Sentinel-2 протягом останніх десяти років уже показав негативні тенденції, тому створення автоматизованих алгоритмів порівняння архівних та поточних даних має стати стандартом для господарства.

Подальший розвиток системи неможливий без впровадження мережі наземних датчиків Інтернету речей. Дистанційне зондування дає загальну картину, але воно не може точно визначити рівень кислотності чи вміст азоту в глибоких шарах ґрунту безпосередньо в полі. Встановлення стаціонарних сенсорів вологості, температури та електропровідності на найбільш вразливих ділянках чорноземів та сірих лісових ґрунтів забезпечить безперервний потік даних. Ці пристрої можуть передавати інформацію безпосередньо в геоінформаційну систему, де вона буде накладатися на карти рельєфу та вегетації. Це дозволить ФОП Оліху Б. А. точно знати, коли саме ґрунт потребує поливу або де саме добрива вимиваються через надмірні опади.

Автоматизація обробки даних за допомогою методів машинного навчання є ще одним перспективним кроком. Величезні масиви просторової інформації, які накопичуються в ГІС, важко аналізувати вручну. Впровадження алгоритмів, які самостійно виявляють аномалії у вегетації та пов'язують їх з ерозійними процесами, значно підвищить швидкість реагування. Система зможе самостійно сигналізувати про початок деградації на конкретній ділянці пасовища чи ріллі, базуючись на непомітних для ока змінах у спектральних характеристиках поверхні. Це перетворить моніторинг з пасивного інструменту дослідження на активного помічника в управлінні агроландшафтами.

Особливу увагу слід приділити інтеграції метеорологічного моніторингу в єдину геоінформаційну платформу. Оскільки водна ерозія в регіоні часто спричинена короткочасними, але інтенсивними зливами, наявність власної автоматичної метеостанції на території господарства є необхідністю. Дані про

кількість та інтенсивність опадів у поєднанні з картами крутизни схилів дозволять системі в реальному часі розраховувати обсяги потенційного змиву ґрунту. Така прогностична модель допоможе заздалегідь планувати протиерозійні заходи, наприклад, тимчасове залуження критичних ділянок або зміну напрямку обробітку перед сезоном дощів.

Вдосконалення моніторингу також передбачає створення мобільних ГІС-додатків для працівників господарства. Кожен агроном чи технічний фахівець повинен мати доступ до карт деградації безпосередньо на смартфоні під час обходу полів. Це дозволить проводити верифікацію дистанційних даних «на місці»: виявивши нову промоїну чи зону пригнічення рослин, працівник може миттєво додати фото та координати до загальної бази. Така децентралізована модель збору даних забезпечить актуальність інформації та залучить персонал до процесу збереження земельних ресурсів.

Напрямок моніторингу глейових ґрунтів та зон перезволоження потребує специфічного підходу. У пониженнях рельєфу біля Добромірки, де спостерігається заболочування, необхідно використовувати дані теплового інфрачервоного діапазону. Карти температури поверхні дозволяють виявляти зони з надмірною вологістю навіть тоді, коли візуально ґрунт виглядає сухим. Це допоможе ФОП Оліху Б. А. вчасно проєктувати локальні дренажні системи або приймати рішення про зміну цільового призначення таких ділянок, наприклад, переведення їх у сіножаті, що є більш екологічно безпечним для перезволожених земель.

Іншим важливим аспектом є ретроспективний моніторинг антропогенного впливу. Система має враховувати не лише стан ґрунту, а й історію його використання: які культури вирощувалися, яка техніка працювала, скільки добрив вносилося. Геоінформаційний аналіз повинен пов'язувати ці дані з динамікою гумусу. Якщо моніторинг показує стійке падіння родючості на певній ділянці ріллі, ГІС має допомогти знайти причину в минулому господарюванні. Це дозволить ФОП Оліху Б. А. коригувати стратегію сівозмін на основі реальних цифр, а не лише загальних агрономічних рекомендацій.

Моніторинг лісових смуг та буферних зон також має стати частиною загальної стратегії. Стан лісових урочищ «Луб'янки» і «Добромірка» безпосередньо впливає на мікроклімат навколишніх полів. ГІС-аналіз повинен відстежувати щільність та здоров'я деревних насаджень, оскільки їхня деградація автоматично призводить до посилення вітрової ерозії на сусідніх сірих лісових ґрунтах. Використання супутникових знімків для контролю за ростом ярів та станом лісосмуг дозволить вчасно проводити підсадку дерев та зміцнення схилів.

Для забезпечення сталого розвитку господарства важливо інтегрувати локальну систему моніторингу в регіональні та національні мережі обміну даними. Це дозволить ФОП Оліху Б. А. порівнювати стан своїх земель із сусідніми територіями та отримувати доступ до ширшого контексту кліматичних змін у Тернопільській області. ГІС має стати не просто внутрішнім архівом, а інструментом комунікації з державними органами та потенційними інвесторами, демонструючи прозорість та відповідальність у користуванні землею.

Вдосконалення геоінформаційного моніторингу має на меті перетворення ФОП Оліха Б. А. на цифрове агропідприємство. Це означає, що кожна дія на землі – від посіву до збирання – повинна документуватися в ГІС і аналізуватися з точки зору впливу на деградацію ґрунтів. Тільки через тотальний облік та глибокий просторовий аналіз можна зупинити вимивання чорноземів та виснаження органіки. Поєднання сучасних супутникових технологій, лідарного сканування та наземних сенсорів створить надійний фундамент для відновлення родючості та забезпечення довгострокової продуктивності агроландшафтів Добромірки.

Такий комплексний підхід до моніторингу дозволить не лише вирішити існуючі проблеми, а й створити базу для наукових досліджень у межах господарства. Результати аналізу можуть стати прикладом для інших фермерів регіону, показуючи, як цифрові технології допомагають зберігати найцінніший ресурс – землю. Впровадження цих напрямів вдосконалення зробить роботу

ФОП Оліха Б. А. більш стійкою до економічних та природних ризиків, гарантуючи, що агроландшафти залишаться продуктивними для майбутніх поколінь.

Висновки до розділу 4

Оптимізація землекористування та відновлення родючості агроландшафтів ФОП Оліха Б. А. потребує впровадження комплексної стратегії, що базується на адаптації господарської діяльності до природних особливостей рельєфу та широкому використанні цифрових технологій. Пріоритетним заходом є впровадження контурно-меліоративної організації території, де напрямок обробітку ґрунту суворо відповідає горизонталям схилів, що дозволяє мінімізувати швидкість поверхневого стоку та запобігти змиву гумусового шару чорноземів. Важливим етапом стає реформування сівозмін через обов'язкове включення багаторічних бобових трав і сидератів, які природним шляхом збагачують ґрунт азотом, покращують його структуру глибокою кореневою системою та захищають поверхню від вітрової дефляції.

Перехід до мінімального обробітку ґрунту та технології Strip-till забезпечує збереження рослинних решток, створюючи ефект мульчування, що критично важливо для боротьби з пересиханням землі та виснаженням мікробіому. На ділянках із глейовими ґрунтами зусилля зосереджуються на регулюванні водного режиму через щільювання підґрунтя та залуження водовідвідних каналів. Лісомеліоративні заходи, зокрема відновлення лісосмуг та заліснення ерозійно небезпечних ярів, створюють захисний каркас ландшафту та стабілізують мікроклімат. Ефективність цих заходів значно підвищується завдяки вдосконаленню геоінформаційного моніторингу, який передбачає використання лідарного сканування з БПЛА, мережі наземних датчиків Інтернету речей та автоматизованих алгоритмів машинного навчання. Такий підхід дозволяє реалізувати принципи точного землеробства, диференційовано вносити добрива та вапнувати кислі ґрунти на основі цифрових карт родючості.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дозволяє зробити висновок, що сучасний стан ґрунтового покриву в межах агроландшафтів характеризується значним поширенням деградаційних процесів, зумовлених як природними особливостями рельєфу, так і антропогенним тиском. Існуюча система моніторингу потребує негайної модернізації через впровадження цифрових інструментів, які дозволяють фіксувати зміни в режимі реального часу. Оцінка сучасного стану об'єкта дослідження показала наявність значних площ із середнім та сильним ступенем еродованості, що вимагає впровадження термінових меліоративних заходів.

Наукова проблема деградації ґрунтів вирішується шляхом створення комплексної геоінформаційної моделі, яка дозволяє не лише констатувати факти погіршення стану земель, а й прогнозувати подальший розвиток ерозійних процесів. Використання даних дистанційного зондування підтвердило високу ефективність вегетаційних індексів у виявленні зон пригнічення рослинності, які є індикаторами виснаження ґрунтів. Це дозволяє здійснювати диференційоване управління територією, зосереджуючи ресурси на найбільш вразливих ділянках.

Для оптимізації землекористування в межах досліджуваного господарства рекомендується впровадження системи контурно-меліоративної організації території. Це передбачає зміну напрямків обробітку ґрунту відповідно до горизонталей рельєфу, створення буферних смуг із багаторічних трав та заліснення найбільш крутих схилів. Такі заходи дозволять мінімізувати поверхневий стік води та зупинити вимивання родючого шару чорноземів, забезпечуючи відновлення структури ґрунту протягом наступних років.

Важливою частиною стратегії відновлення родючості має стати перехід до технологій точного землеробства. Використання цифрових карт родючості для локального внесення добрив дозволить зменшити хімічне навантаження на екосистему та підвищити економічну ефективність виробництва.

Рекомендується також розширення мережі лісосмуг та впровадження сидеральних сівозмін, що сприятиме накопиченню органічної речовини та покращенню біологічної активності ґрунтів.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що геоінформаційний аналіз є фундаментом для сталого розвитку аграрного сектору. Тільки системний підхід, що базується на точних просторових даних, дозволяє гармонійно поєднати економічні інтереси землекористувачів із завданнями збереження природної спадщини. Впровадження запропонованих рекомендацій дозволить забезпечити довгострокову продуктивність земель та екологічну стабільність агроландшафтів у регіоні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балюк С. А. Охорона ґрунтів. Київ : Аграрна наука, 2019. 280 с.
2. Балюк С. А., Медведєв В. В., Тараріко О. Г. Національна доповідь про стан ґрунтів України. Київ : Аграрна наука, 2019. 240 с.
3. Добряк Д. С., Канаш О. П. Моніторинг земель і охорона ґрунтів. Київ : Урожай, 2018. 256 с.
4. Кучер А. В. Використання ГІС для моніторингу деградації земель . Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. 2020. № 3. С. 45–52.
5. Медведєв В. В. Оцінювання деградаційних процесів ґрунтів. Вісник аграрної науки. 2020. № 5. С. 12–18.
6. Паньків З. П. Земельні ресурси. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 240 с.
7. Про Державний земельний кадастр : Закон України від 07.07.2011 № 3613-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>.
8. Про затвердження Програми соціально-економічного розвитку Збараської міської ради на 2025-2026 роки. URL: <https://www.zbarazh-rada.gov.ua/wp-content/uploads/2025/01/VIII-36-19.pdf>
9. Про охорону земель : Закон України від 19.06.2003 № 962-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15>.
10. Тараріко О. Г. Просторовий аналіз деградації ґрунтів. Агроекологічний журнал. 2021. № 2. С. 5–12.
11. Тараріко О. Г., Ільєнко Т. В. Агроекологічний моніторинг ґрунтового покриву. Київ : Аграрна наука, 2020. 220 с.
12. Третяк А. М., Третяк В. М. Земельний кадастр. Київ : Компрінт, 2021. 420 с.
13. ФОП Оліх Богдан Андрійович. Youcontrol. URL: https://youcontrol.com.ua/catalog/fop_details/27440923/

14. Яценко О. В. Просторовий аналіз деградації земель сільськогосподарського призначення з використанням ГІС. Екологія та природокористування. 2020. № 2. С. 32–47.
15. 2024 State of Soils in Europe report shows alarming trends of soil degradation in the EU and EEA. URL: <https://easac.eu/news/details/2024-state-of-soils-in-europe-report-shows-alarming-trends-of-soil-degradation-in-the-eu-and-eea>
16. Adao F. et al. Evaluating Soil Degradation in Agricultural Soil with Ground-Penetrating Radar: A Systematic Review of Applications and Challenges. Agriculture. 2025. № 15(8). 852. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/15/8/852>
17. Agri-environmental indicator - soil erosion. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion
18. Ann-Kathrin H. et al. Grassland mowing event detection using combined optical, SAR, and weather time series. 2023. FAO. URL: <https://agris.fao.org/search/en/providers/125098/records/67a0c56020478411b0270d61>
19. Desertification and Drought Day 17 June 2025 Factsheet. UNCCD. 2025. URL: <https://www.unccd.int/sites/default/files/2025-05/DDD%20factsheet%20EN.pdf>
20. Desertification. Special Report: Special Report on Climate Change and Land. IPCC. URL: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-3/>
21. Geospatial information for sustainable food systems. Land cover and crop monitoring. URL: <https://www.fao.org/geospatial/our-focus/Land-Cover-Crop-Monitoring/en>
22. Ghimire S. et al. Spatial Sediment Erosion and Yield Using RUSLE Coupled with Distributed SDR Model. Water. 2024. № 16(24). 3549. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/24/3549>
23. Ghisman V. et al. Recent Advances in the Remediation of Degraded and Contaminated Soils: A Review of Sustainable and Applied Strategies. Agronomy. 2025. № 15(8). 1920. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/15/8/1920>

24. Kopittke P. M. et al. Soil degradation: An integrated model of the causes and drivers. International Soil and Water Conservation Research. 2025. Volume 13. Issue 4. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633925000796>
25. Lausch A. et al. Monitoring Agricultural Land Use Intensity with Remote Sensing and Traits. 2025. № 15(21). 2233. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/15/21/2233>
26. Lin L. Empowering agro-geoinformatics with earth observation analysis ready data: opportunities and challenges. Computers and Electronics in Agriculture. 2026. Volume 242. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169925014541>
27. Missions L. Landsat 8. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>
28. Neigh C. S. R. HLS Harmonized Landsat and Sentinel-2. NASA. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/projects/hls>
29. Quinton J. N., Fiener P. Soil erosion on arable land: An unresolved global environmental threat. Sagepub Journals. 2023. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03091333231216595>
30. Sabljic L. et al. Remote Sensing and GIS Assessment of Drought Dynamics in the Ukrina River Basin, Bosnia and Herzegovina. Atmosphere. 2026. № 17(2). 124. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4433/17/2/124>
31. Säurich A. et al. A novel remote sensing-based approach to determine loss of agricultural soils due to soil sealing – a case study in Germany. 2024. № 196 (510). URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-024-12640-z>
32. Sentinel-1 C-SAR. Sentinel-1 C-band Synthetic Aperture Radar. NASA. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/sentinel-1-c-sar>
33. Sentinel-2. Colour vision for Copernicus. ESA. URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2
34. Soil Degradation. UNDRR. URL: <https://www.undrr.org/understanding-disaster-risk/terminology/hips/gh0402>

35. Status of the World's Soil Resources: Introductory Information. FAO. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/81600cea-bb2e-4593-a1fe-c830c961c5c7>
36. Supporting the Restoration of Degraded Forest-Steppe and Steppe Zones in Ukraine through Integrated Natural Resources Management - GCP/UKR/004/GFF. FAO. URL: <https://www.fao.org/partnerships/resource-partners/results/detail/supporting-the-restoration-of-degraded-forest-steppe-and-steppe-zones-in-ukraine-through-integrated-natural-resources-management-gcp-ukr-004-gff/en>
37. Triantakostas D., Karakostas A. Soil Organic Carbon Monitoring and Modelling via Machine Learning Methods Using Soil and Remote Sensing Data. Agriculture. 2025. № 15(9). 910. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/15/9/910>
38. Wang J. et al. Research on Soil Erosion Based on Remote Sensing Technology: A Review. Agriculture. 2025. № 15(1). 18. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/15/1/18>
39. Wang Z. et al. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems for Monitoring and Managing Chili Crops: A Systematic Review. Remote Sens. 2025. № 17(16). 2827. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/16/2827>
40. World Food Forum: Exploring options for future soil and plant nutrition. FAO. URL: <https://www.fao.org/newsroom/detail/world-food-forum-exploring-options-for-future-soil-and-plant-nutrition/en>
41. Zhang C. et al. Remote sensing for crop mapping: A perspective on current and future crop-specific land cover data products. Remote Sensing of Environment. 2025. Volume 330. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425725003992>
42. Zhou Y. et al. A framework for mapping conservation agricultural fields using optical and radar time series imagery. Remote Sensing of Environment. 2025. Volume 328. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425725002627>

ДОДАТКИ

Додаток А

Структурно-логічна схема чинників деградації ґрунтів досліджуваного агроландшафту