

АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ДЕГРАДАЦІЮ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ХОТИНСЬКОЇ ВИСОЧИНИ

Т. В. БУДЖАК

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58012
e-mail: budzhak.taras@chnu.edu.ua

У статті вивчається критична проблема деградації ґрунтового покриву Хотинської височини, спричинена інтенсивним антропогенним впливом. Основною метою дослідження стало всебічне виявлення та аналіз ключових чинників антропогенного походження, що впливають на ґрунтові ресурси регіону, а також оцінка масштабів цих змін. Для досягнення цієї мети застосовувався комплексний методологічний підхід, який охоплював багаторічний картографічний аналіз, використання даних дистанційного зондування Землі, зокрема супутникових знімків Landsat і Sentinel різних періодів, та аналіз змін у землекористуванні. Методологія дослідження включала детальний аналіз топографічних та тематичних карт, що дозволило відстежити еволюцію землекористування та ландшафтної структури. Ключовим етапом була обробка та інтерпретація супутникових знімків Landsat (5 TM, 7 ETM+, 8 OLI, 9 OLI-2), Sentinel-2 MSI та аналізу цифрових карт CORINE Land Cover (CLC) за період з 1990 по 2023 рік. Уся просторова інформація була інтегрована та оброблена в середовищі геоінформаційних систем (ГІС) для оцінки динаміки змін у землекористуванні, моніторингу стану рослинного покриву за допомогою індексу NDVI, аналізу густоти дорожньої інфраструктури та щільності населення, оскільки ці фактори безпосередньо відображають антропогенну діяльність. Хоча природні процеси впливають на ґрунти, акцент зроблено на моделюванні саме антропогенної ерозії ґрунтів за допомогою моделі RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), адаптованої до місцевих умов. За результатами дослідження встановлено, що найбільш інтенсивна деградація ґрунтів спостерігається в районах активної аграрної діяльності, що зумовлено, насамперед, надмірним розорюванням земель, нераціональним використанням сільськогосподарських угідь та інтенсивними процесами антропогенної ерозії. Виявлено значне поширення площ, охоплених цими процесами, що було підтверджено аналізом динаміки NDVI та візуалізацією ерозійної небезпеки. Моделювання за допомогою RUSLE показало високий рівень втрат ґрунту внаслідок людської діяльності, особливо на крутих схилах, де спостерігається інтенсивний змив родючого шару. Результати дослідження підкреслюють необхідність запровадження комплексного підходу до управління земельними ресурсами, що включає агролісомеліоративні та інші агроекологічні заходи, спрямовані на зменшення негативного антропогенного впливу та відновлення родючості ґрунтів. Результати дослідження є цінними для розробки стратегій сталого землекористування та планування природоохоронних заходів на Хотинській височині.

Ключові слова: деградація ґрунтів, антропогенний вплив, антропогенна ерозія, Хотинська височина, супутникові знімки, ГІС, RUSLE, землекористування, NDVI, CORINE.

Вступ. Актуальність проблеми деградації ґрунтів зумовлена не лише екологічними, а й соціально-економічними чинниками, оскільки родючість ґрунтів є основою сільськогосподарського виробництва (Вітвіцький, 2023). У регіональному контексті Хотинська височина характеризується значним сільськогосподарським використанням, високою щільністю населення та розвинутою транспортною мережею, що створює значне антропогенне навантаження на природні ландшафти. Водночас упродовж останніх десятиліть спостерігається інтенсифікація людської діяльності, що призводить до незворотних змін ґрунтового покриву (Медведєв, 2017). Деградація включає комплекс фізичних, хімічних та біологічних процесів. Поряд із

фізичним руйнуванням, важливим аспектом є хімічна деградація, що виникає внаслідок незбалансованого внесення мінеральних добрив та пестицидів, призводячи до забруднення ґрунтів, порушення їх кислотно-лужного балансу та накопичення токсичних речовин. Однак одним з найгостріших і візуально помітних проявів антропогенного впливу є саме антропогенна ерозія ґрунтів, що веде до руйнування та зменшення товщини родючого шару ґрунту і, як наслідок, до втрати продуктивності земель (Вітвіцький, Гаськевич, 2022). Незважаючи на наявність попередніх досліджень, пов'язаних із ґрунтовими характеристиками регіону, бракує робіт, присвячених системному аналізу просторово-часових змін під дією антропогенних чинників за

допомогою сучасних ГІС-технологій та дистанційного зондування Землі. Ця прогалина у знаннях підкреслює актуальність нашого дослідження. Новизна цієї роботи полягає у комплексному підході до вивчення деградаційних процесів, що поєднує залучення багаторічних супутникових спостережень, аналіз історичних карт землекористування та моделювання ризику антропогенної ерозії, що дозволяє отримати інтегровану картину змін та їх причин.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженні використано цифрові карти CORINE Land Cover (CLC) за 1990, 2000, 2006, 2012, 2018 та 2023 роки, які є достовірними джерелами змін землекористування у Європі (European Environment Agency, 1990-2023). Ці дані дали змогу простежити антропогенну трансформацію ландшафтів на Хотинській височині. Для детальнішого аналізу стану рослинного покриву та виявлення динамічних змін, що відображають інтенсивність людської діяльності, використано супутникові знімки Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, Landsat 9 OLI-2 та Sentinel-2 MSI за період з 1990 до 2023 року (European Space Agency, 1990-2023; U.S. Geological Survey, 1990-2023). Ці знімки охоплюють значний часовий період, що дозволило відстежити багаторічні тенденції антропогенного впливу.

Додатково були використані карти схилів, отримані з відкритих джерел, таких як European Soil Data Centre та NASA Earth Explorer, які є важливими для розуміння потенційної вразливості до антропогенної ерозії. Усі геопросторові дані були приведені до єдиного координатного простору UTM для забезпечення коректного просторового порівняння та інтеграції. Для просторового аналізу застосовували програмні комплекси QGIS та ArcGIS, які забезпечили багатофункціональну обробку геоданих - від класифікації землекористування до розрахунку вегетаційних індексів, зокрема NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), що дозволяє оцінити стан вегетаційного покриву та виявити зміни, спричинені активною господарською діяльністю (Zaen, 2012).

Для аналізу антропогенно зумовлених втрат ґрунту було використано модель RUSLE, параметри якої були адаптовані до умов Хотинської височини на основі доступних регіональних і глобальних наборів геопросторових даних. Це дозволило максимально наблизити модель до специфіки місцевих ерозійних процесів. Розрахунок вхідних факторів моделі здійснювався

наступним чином: R (фактор ерозійної сили дощу) - оцінений на основі довготривалих кліматичних даних про опади для досліджуваної території, отриманих з відкритих джерел; K (фактор еродованості ґрунту) - визначений шляхом присвоєння табличних значень K-фактора для різних типів ґрунтів, ідентифікованих за регіональними ґрунтовими картами; LS (топографічний фактор) - розрахований автоматизованими методами в ГІС на основі загальнодоступної цифрової моделі рельєфу (ЦМР) з відповідною просторовою роздільною здатністю, що дозволило врахувати довжину та крутизну схилів; C (фактор рослинного покриву та землекористування) - визначений на основі даних дистанційного зондування. Для цього було розраховано вегетаційний індекс NDVI за багаторічними супутниковими знімками (Landsat, Sentinel-2). Значення C-фактора визначалися за принципом оберненої залежності від NDVI, а саме щільний рослинний покрив (високий NDVI) отримував низький коефіцієнт C, тоді як відкритий ґрунт (низький NDVI) - високий. Для інших типів поверхонь (ліси, забудова) використовувалися дані CORINE Land Cover; P (фактор протиерозійних заходів) - на основі аналізу супутникових знімків та структури землекористування було зроблено припущення про відсутність масштабних протиерозійних заходів на орних землях. У зв'язку з цим для більшості сільськогосподарських угідь було прийнято консервативне значення $P=1,0$ (відсутність спеціального захисту).

Комбінація цих локально адаптованих факторів у моделі RUSLE дозволила отримати кількісну оцінку втрат ґрунту, що спричинені або посилені людською діяльністю, та визначити просторові осередки найвищої антропогенної ерозійної небезпеки на Хотинській височині (Achasov et al., 2025; Pichura, 2016).

Результати та їх обговорення. Основою для аналізу антропогенної трансформації ґрунтового покриву є чітке визначення меж території дослідження. Географічно Хотинська височина розташована в центральній частині Прут-Дністерського межиріччя, при цьому її основна територія зміщена на північ, у бік Придністер'я (Коржик та ін., 2012). Територія дослідження у вказаних межах зображена на картосхемі (рис. 1). Візуалізація ключових елементів ландшафту дозволяє оцінити вихідні умови для поширення деградаційних процесів. Розуміння територіальної структури є критично важливим для подальшої кількісної оцінки та інтерпретації результатів.

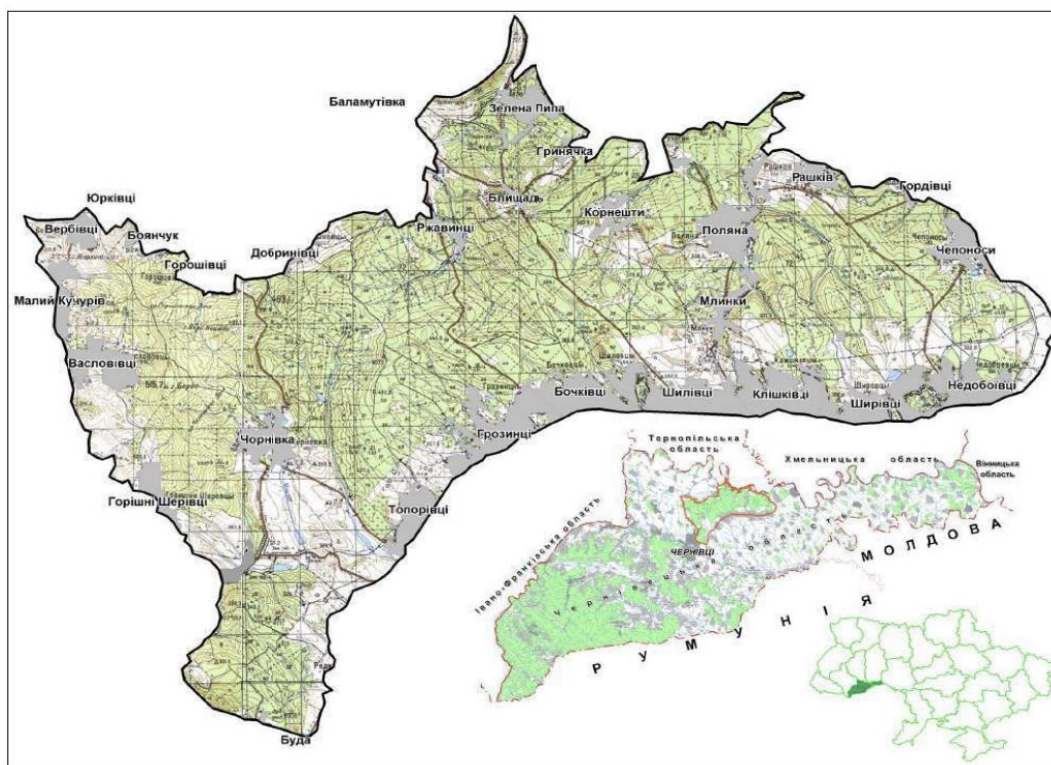


Рис 1. Схематична карта розташування Хотинської височини

Fig 1. Schematic map of the Khotyn Upland location

Результати дослідження, отримані внаслідок комплексної обробки супутникових знімків Landsat (5 TM, 7 ETM+, 8 OLI, 9 OLI-2), Sentinel-2 MSI та аналізу цифрових карт CORINE Land Cover (CLC) за період з 1990 по 2023 рік, чітко демонструють значні трансформації у структурі землекористування Хотинської височини, які є прямим наслідком посилення антропогенного тиску (European Space Agency, 2015-2023). Для ідентифікації та кількісної оцінки змін було використано категорії, визначені в рамках європейської програми CORINE Land Cover, що забезпечило об'єктивність класифікації та дозволило коректно порівнювати динаміку землекористування за більш ніж 30-річний період. Ця методологія надає стандартизовану номенклатуру, де кожна категорія формується на основі чітких ознак, видимих на супутникових знімках: «орні землі» ідентифікуються як території, що регулярно обробляються, «ліси» - як ділянки, вкриті щільною деревною рослинністю, «населені пункти» - як забудовані території, а «природні луки» - як землі з переважно трав'янистою рослинністю, що не зазнають інтенсивного обробітку. Зокрема, було встановлено, що площа орних земель зросла з 52,4% у 1990 році до 60,1% у 2023 році, що свідчить про інтенсифікацію аграрної діяльності, зумовлену економічними та демографічними факторами. Це зростання на 7,7% за трохи більше ніж три десятиліття є значним і вказує на

розширення сільськогосподарського виробництва, що стало основною рушійною силою змін ґрунтового покриву. Водночас, паралельно спостерігається суттєве зменшення площі лісів - з 28,3% до 19,8%, що становить скорочення на 8,5%. Це скорочення лісових масивів є критично важливим, адже ліси відіграють ключову роль у стабілізації ґрунтового покриву та запобіганні ерозії. Вирубка лісів, яка часто пов'язана з розширенням орних земель або заготівлею деревини, залишає ґрунт незахищеним від вітрової та водної ерозії, сприяючи швидкому змиву або видуванню родючого шару. Зростання площі населених пунктів (з 8,1% до 9,4%) та скорочення природних луків (з 6,7% до 4,2%) також вказують на загальне зменшення природних, менш порушених екосистем. Розширення міських та сільських територій призводить до ущільнення ґрунту, зміни гідрологічного режиму та збільшення поверхневого стоку, що, у свою чергу, посилює антропогенну ерозію. Природні луки, так само як і ліси, є ефективним бар'єром проти ерозії, і їх скорочення через людську діяльність негативно позначається на стані ґрунтового покриву (European Environment Agency, 1990-2023). Зазначені кількісні показники відображають масштаби антропогенних трансформацій ґрунтового покриву Хотинської височини (табл. 1).

Таблиця 1.

Динаміка зміни категорій землекористування на Хотинській височині, %

Table 1.

Comparative analysis of LPWAN technologies for precision agriculture

Категорія землекористування	1990	2000	2006	2012	2018	2023
Орні землі	52,4	54,8	56,1	57,5	58,9	60,1
Ліси	28,3	26,9	25,7	23,5	21,2	19,8
Населені пункти	8,1	8,4	8,6	8,8	9,0	9,4
Природні луки	6,7	6,2	5,9	5,4	5,1	4,2
Інші	4,5	3,7	3,7	4,8	5,8	6,5

Ці кількісні показники підтверджуються якісним аналізом динаміки *індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*, який чітко відображає просторові зміни рослинного покриву, що є наслідком господарської діяльності. Низькі значення NDVI, особливо під час міжсезоння або після збирання врожаю, вказують на відсутність достатнього рослинного покриву, який міг би захищати ґрунт (Мисько, 2016). Ця ситуація, створена сільськогосподарською практикою, робить ґрунт надзвичайно вразливим до впливу дощових опадів та вітру, що призводить до інтенсивного змиву або видування верхнього, найродючішого шару (Zaep, 2012). Візуальний аналіз супутникових знімків за CORINE за 1990 та 2023 роки додатково ілюструє масштаби цих змін, де розширення зон сільськогосподарського використання відбувається за рахунок природних угідь, що є прямим візуальним доказом зростаючого антропогенного тиску. Обговорення цих змін потребує розуміння соціально-економічних причин. Хотинська височина є аграрним регіоном, і збільшення площі орних земель може бути пов'язане з потребами у продовольстві, розвитком сільського господарства як основної галузі економіки регіону, а також з глобальними тенденціями зростання цін на сільськогосподарську продукцію. Однак, незважаючи на економічну доцільність, такі зміни повинні бути збалансовані з екологічною стійкістю. Неконтрольоване розширення орних земель без впровадження відповідних агротехнічних та агролісомеліоративних заходів призводить до незворотних наслідків для ґрунтового покриву та посилення антропогенної ерозії (Yengoh et al., 2015).

Для кількісної оцінки антропогенної ерозії у дослідженні була використана модель *RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)*, адаптована до умов Прутсько-Дністровського межиріччя. Ця модель дозволяє розрахувати середньорічні втрати ґрунту на одиницю площі, враховуючи п'ять ключових факторів, де фактор покриву (C) та фактор захисних заходів (P) безпосередньо відображають вплив людської діяльності (Achasov et al., 2025). Результати моделювання *RUSLE* показали, що середній рівень втрат ґрунту у межах досліджуваної території становить 9,8 т/га/рік. Це досить високий показник, що свідчить про значні темпи деградації, адже безпечним рівнем втрат ґрунту, що не перевищує темпів природного ґрунтоутворення, часто вважається 1-2 т/га/рік. Таким чином, виявлені показники майже вп'ятеро перевищують допустимі значення, що підкреслює гостроту проблеми, значною мірою спричиненої антропогенними чинниками. Максимальні показники втрат ґрунту досягають 24 т/га/рік у районах з крутими схилами та суцільною ріллею. Цей факт є критично важливим, оскільки саме на таких ділянках ґрунт найбільше схильний до водної ерозії, спричиненої господарською діяльністю. Схили долин річок, такі як Смотрич та Дністер, є природними шляхами стоку води, і їх інтенсивне сільськогосподарське використання без терасування, контурної оранки або інших протиерозійних заходів неминуче призводить до швидкого змиву ґрунту.

Розподіл ерозійних втрат за класами дає більш детальне уявлення про масштаби проблеми (рис. 2). Ці дані показують, що 30,4% площі мають втрати до 5 т/га/рік, що відповідає відносно низькому або помірному рівню ерозії. Проте, найбільша частка території (39,1 %)

охоплена середнім рівнем ерозії (5-10 т/га/рік), що типово для більшості орних земель на

помірних схилах, де інтенсивне землеробство вже починає виявляти свої негативні наслідки.

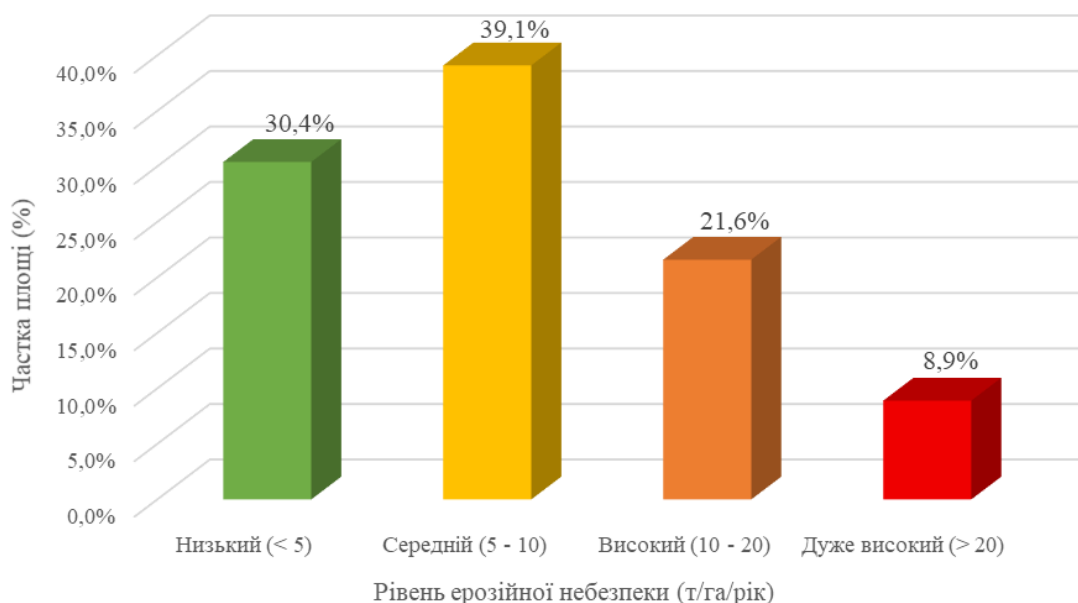


Рис 2. Розподіл ерозійних втрат ґрунту за моделлю RUSLE

Fig2. Distribution of Soil Erosion Losses According to the RUSLE Model

Високий рівень ерозії (10-20 т/га/рік) спостерігається на 21,6 % площі, що характерно для ділянок зі значними схилами або інтенсивною обробкою ґрунту. На таких територіях втрати ґрунту є вже критичними і потребують негайних заходів. І, нарешті, 8,9 % площі мають дуже високий рівень ерозії (> 20 т/га/рік), де ґрунт руйнується дуже швидко, що, як правило, характерно для найкрутіших схилів, часто розораних до самого низу (Pichuga, 2016). Основними осередками ерозії є південні та південно-західні схили, особливо в межах долин річок Смотрич та Дністер. Ця просторова кореляція з рельєфом та гідрографічною мережею є очікуваною, оскільки вода є основним природним агентом ерозії, але її руйнівна дія значно посилюється через господарську діяльність (Yelistratova et al., 2024). Важливо відзначити, що висока ерозійна вразливість також корелює з високою щільністю дорожньої інфраструктури. Дороги та їх узбіччя, особливо ґрунтові та неасфальтовані, порушують природний дренаж, створюють ущільнені ділянки та канали для концентрованого поверхневого стоку. Це призводить до посилення лінійної ерозії вздовж доріг, що, у свою чергу, впливає на прилеглі сільськогосподарські угіддя. Розбудова дорожньої мережі без належного планування та інженерно-протиерозійних заходів є ще одним важливим чинником деградації ґрунтів, спричиненим людською діяльністю.

Поглиблений аналіз дозволяє виділити кілька ключових антропогенних чинників, що є рушійною силою деградаційних процесів. По-перше, це надмірне розорювання земель. Збільшення площі орних земель, про що свідчать дані CORINE Land Cover, є головною причиною. Традиційні агротехнічні практики, такі як глибока оранка та обробіток ґрунту впоперек схилів, порушують природну структуру ґрунту, зменшують його стійкість до ерозії, виснажують органічну речовину та знижують водопроникність (Вітвіцький, Гаськевич, 2022). Постійне вирощування монокультур без достатньої ротації також призводить до виснаження ґрунтів та робить їх більш вразливими до антропогенної ерозії (Медведев, 2017). Разом із виснаженням, подібні інтенсивні агротехнічні практики неминуче спричиняють і хімічну деградацію. Надмірне використання мінеральних добрив та пестицидів веде до забруднення ґрунтового покриву, створюючи додаткове антропогенне навантаження на агроєкосистеми регіону. По-друге, вирубування лісів. Скорочення лісових площ має катастрофічні наслідки для ґрунтового покриву. Ліси виконують функцію природного захисту від ерозії завдяки своїй кореневій системі, яка утримує ґрунт, та кронам, що пом'якшують удар дощових крапель. Зникнення лісів, спричинене людською діяльністю, призводить до посилення поверхневого стоку, збільшення швидкості вітру

біля поверхні ґрунту та, як наслідок, до інтенсифікації водної та вітрової ерозії. Особливо це стосується схилів, де ліси є єдиним ефективним бар'єром. По-третє, нераціональне землекористування. Це включає відсутність або недостатнє впровадження протиерозійних заходів, таких як контурна оранка, створення лісосмуг, терасування схилів, застосування покривних культур та сівозмін. Часто практикується екстенсивне використання земель, що призводить до швидкого виснаження їхньої родючості та посилення деградації. І по-четверте, щільність населення та дорожня інфраструктура. Хоча ці фактори безпосередньо не спричиняють ерозію, вони опосередковано сприяють її посиленню. Висока щільність населення збільшує попит на сільськогосподарську продукцію, що стимулює розширення орних земель. Розвинена дорожня інфраструктура може порушувати природний дренаж та сприяти формуванню лінійної ерозії, а неконтрольована забудова на ерозійно небезпечних територіях також може посилювати деградацію.

Просторовий аналіз, проведений за допомогою ГІС-технологій, дозволив не лише кількісно оцінити деградацію, а й визначити її просторову концентрацію. Виявлено, що найбільш інтенсивна деградація ґрунтів спостерігається в районах активної аграрної діяльності, що логічно корелює з даними про збільшення орних земель. Крім того, аналіз за допомогою моделі RUSLE та карт схилів чітко показав, що найбільш вразливими до ерозії є ділянки з крутими схилами, де антропогенний вплив набагато небезпечніший. Ці дані підтверджують загальновідомі геоморфологічні закономірності: чим більший ухил поверхні, тим більша швидкість поверхневого стоку води, і тим сильніший її ерозійний потенціал, який багаторазово посилюється через неправильне використання земель. Долини річок Смотрич та Дністер, будучи значними орографічними елементами, формують численні схили, які під впливом антропогенної діяльності стають осередками інтенсивної ерозії. Супутникові знімки відіграли ключову роль у виявленні динаміки деградаційних змін протягом останніх десятиліть. Порівняння знімків різних періодів дозволило відстежити зміни у рослинному покриві, ущільненні ґрунтів, зміни русел річок (через збільшення стоку та селевих процесів, спричинених, зокрема, інтенсифікацією ерозії) та розширення сільськогосподарських угідь. Зокрема, динаміка NDVI, що відображає щільність та продуктивність рослинного

покриву, є прямим індикатором стану ґрунтового покриву та ступеня людського впливу на нього. Постійне зниження NDVI на певних ділянках з року в рік, особливо в сезони максимальної вегетації, свідчить про прогресуючу деградацію, яка значною мірою є наслідком антропогенних чинників (Yengoh et al., 2015).

Результати дослідження однозначно вказують на необхідність невідкладних заходів для зменшення негативного впливу антропогенних чинників. Ефективне вирішення проблеми деградації ґрунтів вимагає комплексного підходу, що включає як зміни у сільськогосподарських практиках, так і впровадження системного управління земельними ресурсами. Це насамперед впровадження інтегрованого управління земельними ресурсами, що передбачає розробку детальних карт землекористування, які враховують антропогенну ерозійну небезпеку, та дозволить визначити території, непридатні для розорювання, або ті, що потребують особливих протиерозійних заходів (Тараріко та ін., 2019). Законодавче закріплення обмежень на розорювання крутих схилів є першочерговим завданням. Також необхідні планування сівозмін, що включають багаторічні трави, сидерати та покривні культури, для відновлення структури ґрунту, збагачення його органічною речовиною та зменшення ризику антропогенної ерозії. Перехід до адаптивних систем землеробства зменшить механічний вплив на ґрунт та сприятиме формуванню його стійкої структури. Важливими є агроекологічні та протиерозійні заходи, такі як створення агролісомеліорації - захисних лісових смуг, полезахисних смуг, прибалкових та приярових насаджень, що є одним з найефективніших способів боротьби з антропогенно посиленою вітровою та водною ерозією, зменшуючи швидкість вітру, перехоплюючи поверхневий стік та сприяючи затриманню снігу. На схилах необхідно застосовувати контурну оранку та терасування, а на крутих схилах доцільним є терасування для створення рівних ділянок для землеробства та ефективного контролю антропогенної ерозії. Використання покривних культур у міжсезоння забезпечує захист ґрунту від ерозії, збагачує його органікою та покращує його фізичні властивості. Також необхідні заходи з контролю поверхневого стоку, такі як будівництво дренажних систем, водозатримувальних валів та інших гідротехнічних споруд, що можуть допомогти уникнути концентрованого стоку води та формування ярів. Нарешті, важливим є моніторинг та прогнозування. Регулярний

супутниковий моніторинг та аналіз ГС-даних дозволить відстежувати ефективність впроваджених заходів та своєчасно реагувати на нові осередки деградації. Подальші дослідження із залученням методів машинного навчання можуть бути спрямовані на деталізацію просторової структури деградації та прогнозування її розвитку за різних сценаріїв антропогенного навантаження та кліматичних змін. Це дозволить розробляти більш точні та ефективні стратегії управління земельними ресурсами (Wang et al., 2024).

Результати цього дослідження узгоджуються з загальносвітовими тенденціями деградації ґрунтів під впливом інтенсивного сільського господарства, особливо в регіонах з високим сільськогосподарським освоєнням та значним рельєфом. Багато досліджень підтверджують, що ерозія є домінуючим видом деградації в умовах змін клімату та посиленого антропогенного впливу (Trofymenko et al., 2023). Унікальність Хотинської височини полягає у поєднанні кількох факторів: високе сільськогосподарське використання, значна щільність населення, розвинена транспортна інфраструктура та наявність складного рельєфу (долини річок). Ці фактори створюють синергетичний ефект, що посилює антропогенні деградаційні процеси. Хоча моделі RUSLE застосовуються в багатьох регіонах, адаптація її до умов Прутсько-Дністровського межиріччя та використання даних CORINE Land Cover та NDVI, які відображають масштаби людської діяльності, надає цьому дослідженню значну регіональну цінність. Важливо відзначити, що проблема деградації ґрунтів є не лише екологічною, а й соціально-економічною. Зниження родючості ґрунтів безпосередньо впливає на врожайність сільськогосподарських культур, що, у свою чергу, позначається на доходах фермерів, продовольчій безпеці регіону та країни загалом (Vakhnyak et al., 2025). Таким чином, впровадження заходів з боротьби з деградацією, спричиненою людиною, є інвестицією у майбутнє регіону. Незважаючи на всебічний аналіз, існують певні обмеження, які можуть бути подолані у подальших роботах: це більш детальна оцінка фактора Р (захисних заходів) у моделі RUSLE, включення аналізу хімічної деградації ґрунтів, поглиблене соціально-економічне дослідження чинників, що впливають на сільськогосподарські практики, а також

інтеграція регіональних кліматичних моделей для прогнозування змін у темпах ерозії.

Висновки. На основі багаторічного картографічного і супутникового аналізу встановлено, що деградація ґрунтового покриву Хотинської височини є прямим наслідком посиленого антропогенного тиску, насамперед з боку аграрного сектору. Надмірне розорювання земель, значне скорочення площ лісових масивів та нераціональне землекористування, спричинені людською діяльністю, призвели до інтенсифікації антропогенної ерозії. Просторово ці процеси концентруються на крутих схилах, особливо в межах долин річок Смотрич та Дністер, що підтверджується результатами моделювання, оскільки найвищі розрахункові значення втрат ґрунту співпадають з ділянками, що характеризуються найбільшою крутизною схилів. Модель RUSLE однозначно підтвердила високий рівень антропогенної ерозійної небезпеки в регіоні, а аналіз супутникових даних виявив чітку динаміку зменшення рослинного покриву на сільськогосподарських угіддях, що корелює зі збільшенням площі ріллі внаслідок господарської діяльності. Для пом'якшення негативних наслідків та запобігання подальшій деградації ґрунтів критично необхідно запроваджувати комплексні агролісомеліоративні заходи, такі як створення полезахисних лісосмуг, заліснення крутосхилів та залуження ерозійно небезпечних ділянок. Важливим є також впровадження науково обґрунтованої сівозміни сільськогосподарських культур, використання покривних культур для захисту ґрунту в міжсезоння та суворя заборона суцільного розорювання на ерозійно небезпечних територіях, особливо на схилах. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на деталізацію просторової структури деградації, включення даних про хімічні показники ґрунтів та прогнозування її розвитку з використанням методів комп'ютерного моделювання, що дозволить розробити ще більш ефективні та цільові стратегії сталого антропогенного землекористування.

Конфлікт інтересів. Автор заявляє, що дослідження проводилося за відсутності будь-яких комерційних або фінансових відносин, які можна було б витлумачити як потенційний конфлікт інтересів.

Список літератури:

1. Вітвіцький, Я., Гаськевич, В. (2022). Переуцільнення чорноземів Придністерської височини в умовах агротехнічного навантаження. *Наукові записки Тернопільського національного Біологічного університету*. Т.17. Вип.1. 2025

педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія, 53(2), 27-35. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.2.4>

2. Вітвіцький, Я. Й. (2023). *Деградація чорноземів Придністерської височини* [Дисертація доктора філософії, Львівський національний університет]

- імені Івана Франка]. <https://uacademic.info/ua/document/0823U100583>
3. Коржик, В. П., Чорней, І. І., Скільський, І. В., Буджак, В. В., Токарюк, А. І., Никирса, Т. Д., Смірнов, Н. А., Годованець, Б. Й., Бучко, В. В., Мелешук, Л. І. (2012). *Хотинська височина*. ДрукАрт. 336. https://www.researchgate.net/publication/292972537_Hotinska_visocina_Khotyn_height_in_Ukrainian
 4. Медведєв, В. В. (2017). *Новітні властивості змінених ґрунтів. Сценарії антропогенної еволюції ґрунтового покриття*. 162.
 5. Мисько, К. А. (2016). Переваги використання NDVI при прогнозуванні ерозійної небезпеки. *Часопис картографії*, 16, 192-203. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2016_16_19
 6. Тараріко, О. Г., Сиротенко, О. В., Ільєнко, Т. В., Кучма, Т. Л. (2019). *Агроекологічний супутниковий моніторинг*. Аграрна наука. 201. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3492936>
 7. Achasov, A., Achasova, A., Siedov, A., Seliverstov, O. (2025). *Geoinformation modeling of the risk of water erosion of soils*. XVIII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, Kyiv, Ukraine. <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2025/04/Mon25-015.pdf>
 8. European Environment Agency. (1990-2023). *CORINE Land Cover (CLC)*. Copernicus Land Monitoring Service. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
 9. European Space Agency. (2015-2023). *Sentinel-2 MSI – MultiSpectral Instrument data*. Copernicus Open Access Hub. <https://dataspace.copernicus.eu/>
 10. Pichura, V. I. (2016). Spatial prediction of soil erosion risk in the Dnieper river basin using revised universal soil loss equation and gis technology. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*, 2(1), 3-10. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2016_2\(1\)_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2016_2(1)_3)
 11. Trofymenko, P., Myslyva, T., Bezhodkova, Yu., Trofimenko, N., Lyashenko, D., Balaev, A. (2023). Assessment on the Scale on Soil Erosion in the Agrolandscapes on the Forest-Steppe on Ukraine According to the Rusle Model. *XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023500024>
 12. U.S. Geological Survey. (1984-2023). *Landsat satellite missions*. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
 13. Vakhnyak, V., Khomovyi, M., Trach, I., Yavorov, V., Petryshche, O. (2025). The role of restoring degraded soils in ensuring food security in the agro-industrial sector. *Scientific Horizons*, 28(2), 73-88. <https://doi.org/10.48077/scihor2.2025.73>
 14. Wang, J., Yang, J., Li, Z., Ke, L., Li, Q., Fan, J., Wang, X. (2024). Research on Soil Erosion Based on Remote Sensing Technology: A Review. *Agriculture*, 15(1), 18. <https://doi.org/10.3390/agriculture15010018>
 15. Yelistratova, L., Apostolov, A., Khodorovskiy, A., Tymchyshyn, M. (2024). Land cover degradation challenges in Ukraine: Natural drivers and processes. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 24(2.1), 265-273. <https://doi.org/10.5593/sgem2024/2.1/s10.32>
 16. Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A., Tucker, C. J. (2015). *Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales: A Review*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24112-8>
 17. Zaeen, A. A. (2012). Remote sensing technique to monitoring the risk of soil degradation using NDVI. *International Journal of Geographical Information System Applications and Remote Sensing*, 3(1), 1-8. <http://www.i-csrs.org/Volumes/gisars/vol.3/vol.3.1.1.july.12.pdf>

References:

1. Vitvitskyi, Ya., Haskevych, V. (2022). *Pereushchilnennia chornozemiv Prydnistrovskoi vysochyny v umovakh ahrotekhnichnoho navantazhennia* [Overcompaction of chernozems of the Dniester Upland under conditions of agrotechnical loading]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: a: heohrafiia*, 53(2), 27-35. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.2.4> [in Ukrainian].
2. Vitvitskyi, Ya. Y. (2023). *Dehradatsiia chornozemiv Pridnistrovskoi vysochyny* [Degradation of chernozems of the Dniester Upland] [Doctoral dissertation, Ivan Franko National University of Lviv]. <https://uacademic.info/ua/document/0823U100583> [in Ukrainian].
3. Korzhyk, V. P., Chornei, I. I., Skilskyi, I. V., Budzhak, V. V., Tokariuk, A. I., Nykirska, T. D., Smirnov, N. A., Hodovanets, B. Y., Buchko, V. V., Meleshchuk, L. I. (2012). *Khotynska vysochyna* [Khotyn Upland]. ДрукАрт. https://www.researchgate.net/publication/292972537_Hotinska_visocina_Khotyn_height_in_Ukrainian [in Ukrainian].
4. Medvediev, V. V. (2017). *Novitni vlastyivosti zminenykh gruntiv. Stsenarii antropohennoi evoliutsii gruntovoho pokryvu* [The newest properties of changed soils. Scenarios of anthropogenic evolution of the soil cover]. [in Ukrainian].
5. Mysko, K. A. (2016). *Perevahy vykorystannia NDVI pry prohnouzuvanni eroziinoi nebezpeky* [Advantages of using NDVI in forecasting erosion risk]. *Chasopys kartohrafiï*, 16, 192-203. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2016_16_19 [in Ukrainian].
6. Tarariko, O. H., Syrotenko, O. V., Iliencko, T. V., Kuchma, T. L. (2019). *Ahroekolohichni suputnykovyi monitorynh* [Agroecological satellite monitoring]. Аграрна наука. 201. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3492936> [in Ukrainian].
7. Achasov, A., Achasova, A., Siedov, A., Seliverstov, O. (2025). *Geoinformation modeling of the risk of water erosion of soils* [Conference paper]. XVIII International Scientific Conference “Monitoring of

- Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, Kyiv, Ukraine. <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2025/04/Mon25-015.pdf>
8. European Environment Agency. (1990–2023). *CORINE Land Cover (CLC)*. Copernicus Land Monitoring Service. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
 9. European Space Agency. (2015–2023). *Sentinel-2 MSI – MultiSpectral Instrument data*. Copernicus Open Access Hub. <https://dataspace.copernicus.eu/>
 10. Pichura, V. I. (2016). Spatial prediction of soil erosion risk in the Dnieper river basin using revised universal soil loss equation and gis technology. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu*, 2(1), 3-10. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2016_2\(1\)_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2016_2(1)_3) [in English].
 11. Trofymenko, P., Myslyva, T., Bezhodkova, Yu., Trofimenko, N., Lyashenko, D., Balaev, A. (2023). *Assessment on the Scale on Soil Erosion in the Agrolandscapes on the Forest-Steppe on Ukraine According to the Rusle Model* [Conference paper]. XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment". <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023500024>
 12. U.S. Geological Survey. (1984-2023). *Landsat satellite missions* [Data set]. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
 13. Vakhnyak, V., Khomovyi, M., Trach, I., Yavorov, V., Petryshche, O. (2025). The role of restoring degraded soils in ensuring food security in the agro-industrial sector. *Scientific Horizons*, 28(2), 73-88. <https://doi.org/10.48077/scihor.2025.73>
 14. Wang, J., Yang, J., Li, Z., Ke, L., Li, Q., Fan, J., Wang, X. (2024). Research on Soil Erosion Based on Remote Sensing Technology: A Review. *Agriculture*, 15(1), 18. <https://doi.org/10.3390/agriculture15010018>
 15. Yelistratova, L., Apostolov, A., Khodorovskiy, A., Tymchyshyn, M. (2024). Land cover degradation challenges in Ukraine: Natural drivers and processes. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 24(2.1), 265-273. <https://doi.org/10.5593/sgem2024/2.1/s10.32>
 16. Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A., Tucker, C. J. (2015). *Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales: A Review*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24112-8>
 17. Zaeen, A. A. (2012). Remote sensing technique to monitoring the risk of soil degradation using NDVI. *International Journal of Geographical Information System Applications and Remote Sensing*, 3(1), 1-8. <http://www.i-csrs.org/Volumes/gisars/vol.3/vol.3.1.1.july.12.pdf>

ANTHROPOGENIC IMPACT ON SOIL COVER DEGRADATION IN THE KHOTYN UPLAND

T. V. Budzhak

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Ukraine, 58012, Chernivtsi, Kotsiubynsky 2 Str.
e-mail: budzhak.taras@chnu.edu.ua

This article thoroughly investigates the critical issue of soil cover degradation in the Khotyn Upland caused by intensive anthropogenic impact. The main aim of the study was to comprehensively identify and analyze the key anthropogenic factors affecting the region's soil resources and to assess the extent of these changes. To achieve this objective, an integrated methodological approach was applied, including long-term cartographic analysis and the use of Earth remote sensing data, particularly satellite images from Landsat and Sentinel missions across different time periods, as well as land use change analysis.

The research methodology involved a detailed analysis of topographic and thematic maps, enabling the tracking of land use and landscape structure evolution. A key stage included the processing and interpretation of satellite imagery from Landsat (5 TM, 7 ETM+, 8 OLI, 9 OLI-2) and Sentinel-2 MSI, along with the analysis of digital CORINE Land Cover (CLC) maps for the period from 1990 to 2023. All spatial information was integrated and processed in a Geographic Information System (GIS) environment to assess land use change dynamics, monitor vegetation cover through the NDVI index, and analyze road infrastructure density and population density—factors that directly reflect anthropogenic activity.

While natural processes also influence soils, the focus of the study was on modeling anthropogenic soil erosion using the RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) model adapted to local conditions. The results showed that the most intense soil degradation occurs in areas of active agricultural activity, primarily due to excessive land plowing, irrational use of agricultural land, and intense processes of anthropogenic erosion. A significant expansion of the areas affected by these processes was identified, confirmed by NDVI dynamics analysis and erosion hazard visualization.

Modeling with RUSLE revealed a high level of soil loss caused by human activity, especially on steep slopes where intensive washout of the fertile topsoil is observed. The study concludes that there is an urgent need to implement integrated land resource management, including agroforestry and other agroecological measures aimed at reducing negative anthropogenic impact and restoring soil fertility. The study's findings are valuable for developing sustainable land use strategies and planning environmental protection measures in the Khotyn Upland.

Keywords: soil degradation, anthropogenic impact, anthropogenic erosion, Khotyn Upland, satellite imagery, GIS, RUSLE, land use, NDVI, CORINE.

Отримано редколегією 17.05.2025р.

ORCID ID

Тарас Буджак: <https://orcid.org/0009-0004-4993-2535>