

¹ Національний лісотехнічний університет України, Львів, Україна,
Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва
ім. П. С. Пастернака, Івано-Франківськ, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-8707-9895>;

² Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П. С.
Пастернака, Івано-Франківськ, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-3141-0737>;

³ Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва
ім. П. С. Пастернака, Івано-Франківськ, Україна,
<https://orcid.org/0009-0007-7151-6329>;

⁴ Національний лісотехнічний університет України, Львів, Україна,
<https://orcid.org/0000-0003-4839-0944>

БАГАТОЕТАПНА ТЕХНІЧНА ТА БІОІНЖЕНЕРНА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ЕРОДОВАНИХ ТРЕЛЮВАЛЬНИХ ВОЛОКІВ У ГІРСЬКИХ ЛІСАХ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Анотація.

У роботі обґрунтовано необхідність комплексного застосування технічної та біоінженерної рекультиваци для стабілізації еродованих трелювальних волоків у гірських лісах Українських Карпат. Тривала експлуатація волоків без належного догляду призводить до трансформації колій у глибокі вимойни та яри, які самостійно прогресують, виносячи від 50 до 200 м³ ґрунту з одного кілометра волока за сезон. На основі польових досліджень розроблено класифікації ерозійних порушень та ступенів пошкодження волоків. Детально описано методику технічних заходів (глибоке рихлення до 60 см, формування випуклого профілю, влаштування водовідвідних споруд, мульчування) та біоінженерних конструкцій (живе кілля, фашини, брушпаєри). Результати апробації засвідчили: приживлюваність живців – 78 %, винос ґрунту зменшився в 12 разів, щільність ґрунту стабілізувалася на рівні 1,28-1,35 г/см³. Дотримання запропонованого алгоритму дозволяє скоротити період відновлення порушених земель з кількох десятиліть до 5-7 років.

Ключові слова: трелювальні волокни, технічна рекультивация, біоінженерна рекультивация, ерозія ґрунтів, Українські Карпати.

B. Ya. Bakay, M. M. Sishchuk, P. M. Kuzyk, Yu. I. Tsymbalyuk MULTI-STAGE TECHNICAL AND BIOENGINEERING RECLAMATION OF ERODED SKID TRAILS IN THE MOUNTAIN FORESTS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Abstract.

The paper substantiates the necessity of integrated technical and bioengineering reclamation for stabilizing eroded skid trails in the mountain forests of the Ukrainian Carpathians. Long-term operation of skid trails without proper maintenance leads to the transformation of ruts into deep gullies and ravines, removing 50 to 200 m³ of soil per kilometer of trail per season. Based on field research, classifications of erosion disturbances and damage degrees have been developed. The methodology of technical measures (deep ripping to 60 cm, convex cross-section shaping, drainage structures, mulching) and bioengineering structures (live stakes, fascines, brush layers) is described in detail. Field testing results showed cutting survival of 78%, a 12-fold reduction in soil loss, and soil density stabilization at 1.28-1.35 g/cm³. Adherence to the proposed algorithm reduces the restoration period from several decades to 5-7 years.

Keywords: skid trails, technical reclamation, bioengineered reclamation, soil erosion, Ukrainian Carpathians.

У гірських лісах Українських Карпат трелювальні волоки, які експлуатуються протягом тривалого періоду без належного післяопераційного догляду, зазнають не просто техногенного ущільнення, а глибинної ерозійної трансформації, які викликані не своєчасним проведенням заходів з рекультивації [1]. Багаторазові проходи важкої колісної техніки на схилах стрімкістю 15-25° впродовж тривалого часу, особливо в умовах перезволоженого ґрунту, призводять до формування глибоких (до 20-30 см) колій, які стають постійними руслами концентрації поверхневого стоку [2]. З часом, за відсутності заходів із водовідведення, ці колії трансформуються у перманентні ерозійні форми – вимоїни, а потім і справжні яри глибиною понад 0,5 м, які самостійно прогресують, виносячи від 50 до 200 м³ ґрунту з одного кілометра волока за сезон. У таких умовах жоден окремий захід: просте розпушування, висаджування живців – не здатний зупинити ерозію. Тому стабілізація подібних об'єктів є можливою виключно шляхом реалізації складних та трудомістких інженерно-технічних заходів багатоетапної технічної рекультивації, яка обов'язково передбачає комплексне поєднання з біоінженерною рекультивацією [3]. Лише синергія цих двох підходів здатна забезпечити позитивний кінцевий результат [4-6], зокрема зменшення, а з часом припинення ерозії та відновлення продуктивного ґрунтового профілю біологічними заходами.

На основі власних польових досліджень розроблено диференційований підхід до діагностики стану волоків (таблиця 1) [1, 4]. Для об'єктів, що зазнали найсильнішої ерозії та еволюціонували в яри (категорія III – сильне пошкодження), характерними ознаками є глибина врізу понад 20 см, оголення материнської породи, активний ріст вимоїн у верхів'я та формування конусів виносу (таблиця 2). Щільність ґрунту на таких ділянках перевищує 1,6 г/см³, що унеможливує природне відновлення в прийнятні агротехнічні строки. Для цих найскладніших випадків запропоновано комплексну програму рекультивації, яка за обсягом та складністю наближається до інженерних проєктів із стабілізації ярів.

Таблиця 1 – Морфологічна класифікація ерозійних порушень трелювальних волоків

Тип порушення	Механізм винесення ґрунту	Характерні мікроформи рельєфу	Характеристика процесу
Площинний змив	Переважно рівномірне винесення дрібнозему зі всієї поверхні.	Згладжений профіль, без чітких лінійних розмивів.	Виникає на початкових стадіях порушення.
Струмчастий розмив	Концентроване винесення ґрунту дрібними водними потоками, що формують струмки.	Мережа дрібних, неглибоких (2-10 см) розмивів, що покривають поверхню.	Початкова стадія лінійної ерозії. Формується на ділянках, де поверхневий стік досягає критичної швидкості.
Лінійна ерозія (вимоїни)	Інтенсивне концентроване винесення ґрунту по фіксованих лініях стоку, що є наслідком дії більш потужних тимчасових водотоків.	Утворення чітко виражених вимоїн (ерозійних борозен) глибиною від 20-30 см до 0,5 м, які можуть бути розорані звичайною технікою.	Характерна форма для переважної більшості активно діючих трелювальних волоків. Дослідження показують, що саме на волоках формується 50-70% загального обсягу експлуатаційної ерозії на лісосіці.
Яружна ерозія	Екстремальне винесення ґрунту, що призводить до формування стійких ерозійних форм, які не можуть бути вирівняні звичайними засобами.	Глибокі (понад 0,5-1,0 м) яри, часто з крутими, нестабільними стінками. Є результатом тривалої еволюції вимоїн.	Найбільш деструктивна стадія. Такі об'єкти вже не функціонують як технологічні шляхи, а є сталими осередками ерозії.

Таблиця 2 – Класифікація трельовальних волоків за ступенем пошкодження

Тип порушення	Механізм винесення ґрунту	Характерні мікроформи рельєфу	Характеристика процесу
I	Незначне пошкодження	до 10	Поодинокі колії без чітких гребенів. Поверхневий стік не концентрується. Ерозія проявляється у вигляді площинного змиву та окремих струмків (рифлів).
II	Середнє пошкодження	10-20	Колії з чіткими гребенями. Спостерігається локальна концентрація стоку з утворенням неглибоких вимоїн. Можливі невеликі конуси виносу.
III	Сильне пошкодження	понад 20 (або наявність ерозійних форм)	Глибокі врізи, часто з оголенням материнської породи. Активний ріст глибоких (>20 см) вимоїн та ярів. Значні конуси виносу. Можливі локальні зсуви.

Технічний етап рекультивації таких еродованих волоків є першочерговим і включає кілька обов'язкових операцій, що виконуються у строгій послідовності. Перш за все проводять планування та, за необхідності, уположування схилів, формуючи тераси або згладжуючи надмірно стрімкі ділянки. Потім виконують глибоке механічне рихлення на глибину до 60 см – це руйнує ущільнений шар та ерозійне дно яру. Роботи ведуть виключно у суху погоду, однозубим або двозубим глибокорозпушувачем, обов'язково вздовж горизонталей, щоб не створити нових каналів для стоку. Наступним кроком є формування випуклого поперечного профілю з перевищенням осі над краями на 8-12 см при ширині волока 3-4 м, що спрямовує воду на узбіччя. Ключовим елементом технічної стабілізації ярів є влаштування системи поперечних водовідвідних споруд – валів або канав, а в найбільш глибоких ярах – каскадних кам'яних або дерев'яних загат. Відстань між спорудами визначають залежно від поздовжнього ухилу яру: на суглинках при стрімкості 16-20° крок становить 15-20 м, а на схилах понад 20° зменшується до 8-12 м. Висота водовідвідних валів – 0,4 м, канави заглиблюють до мінерального шару з ухилом дна 3-5°. Для найбільш активних ярів обов'язковим є мульчування поверхні подрібненими порубковими рештками (шар 5-10 см, ступінь покриття 60-70 %), яке тимчасово захищає оголений ґрунт до моменту вкорінення рослин.

Безпосередньо після завершення технічного етапу (або через 3-6 місяців, але до початку активної вегетації) розпочинають біоінженерну рекультивацію, яка в умовах сильноеродованих ярів набуває вирішального значення. На ділянках із неглибокими (до 20 см) вимоїнами висаджують живе кілля – живці верби тритичинкової (*Salix triandra*) або вільхи сірої (*Alnus incana*) довжиною 0,8-1,2 м, занурюючи їх на 2/3 довжини у шаховому порядку 1,5×1,5 м (600-700 шт./га). Для глибоких ярів основними біоінженерними конструкціями є живі фашины та брушлаєри. Фашины (пучки живців діаметром 15-30 см, довжиною 5–20 м) укладають у неглибокі траншеї, вириті по горизонталях, закріплюють дерев'яними кілками кроком 2 м та присипають ґрунтом. Вони перехоплюють стік, акумулюють наноси та після вкорінення створюють живий армований щит на схилах яру. На найбільш нестабільних ділянках із глибиною ерозійного врізу понад 0,5 м влаштовують брушлаєри – пошарове (через 15-20 см ґрунту) укладання живців перпендикулярно до схилу, кінці яких виступають на поверхню. Ця конструкція армує ґрунт на глибину до 1 м. У місцях найбільшої концентрації стоку (перетини яру з тальвегами) встановлюють комбіновані загати – кам'яні або дерев'яні, а між ними висаджують живці.

Результати застосування такого комплексного підходу на дослідних еродованих волоках Карпат свідчать про його високу ефективність. Через два вегетаційні періоди

приживлюваність живців верби досягла 78 %, корені проникли на глибину до 1,5 м, фашини створили стійкі мікротераси, а винос ґрунту зменшився в 12 разів – з 18-42 т/га за рік до 3,2 т/га за рік. Протягом певного періоду на більшості ділянок не спостерігалось ознак лінійної ерозії, а щільність ґрунту стабілізувалася на рівні 1,28-1,35 г/см³. Жоден із заходів, застосованих ізольовано (лише технічне планування або лише висаджування живців), такого ефекту не дав. Лише їхнє комплексне поєднання дозволило перервати самостійний розвиток ерозійних форм і розпочати процес ґрунтовідновлення.

Таким чином, запропонована методика є не просто набором рекомендацій, а чітким алгоритмом дій, що базується на кількісних параметрах: глибині рихлення, кроці водовідвідних споруд, щільності посадки живців, отриманих у результаті польових експериментів у Карпатах. Дотримання цього алгоритму дозволяє суттєво прискорити відновлення порушених земель з кількох десятиліть до 5-7 років. Описана методика може слугувати основою для створення рекомендацій з рекультивації трелювальних волоків для лісгосподарських підприємств Карпатського регіону.

Перелік використаних джерел

1. Кудра В. С., Коржов В. Л. Особливості заліснення трелювальних волоків на гірських схилах. *Сучасні проблеми лісового господарства та екології: шляхи вирішення*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (7-8 жовтня 2021 року, м. Житомир). Житомир : Поліський національний університет, 2021. С. 96-98.
2. Адамовський М. Г., Бакай Б. Я. Аналіз і перспективи використання трелювальних тракторів у лісовому комплексі України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2004. Вип. 14, №3. С. 175-182.
3. Бакай Б. Я., Кузик П. М. Рекультивація трелювальних волоків в гірських лісах Українських Карпат: методи та засоби. *Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції “Основні завдання лісівничої науки щодо ведення лісового господарства на засадах наближеного до природи лісівництва в гірських лісах Українських Карпат”* : зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. Івано-Франківськ : НАІР, 2025. С. 137–143.
4. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Part 650. Engineering Field Handbook. National Engineering Handbook. Chapter 18. *Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction*. 2nd ed. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 2021. 46 p.
5. Adams M. B., ed. The forestry reclamation approach: guide to successful reforestation of mined lands. *General Technical Report NRS-169*. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 2017. 198 p. DOI: <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-169>.
6. *Рекультивація порушених земель : монографія*. З. М. Томашівський, Г. С. Коник, Г. Т. Періг, Ю. М. Оліфір, Г. Я. Панахид ; [за наук. ред. Г. С. Коника]. – Оброшине: Видавництво Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН. 336 с.