Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412025>
Article received 2020.08.18
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Yukhnovskyi
yukhnov@ukr.net

General Rodimtsev str., 19, Kyiv, 03041, Ukraine

УДК 630*164.3:582.475.2(23)

Особливості корененаселеності ґрунту в ялинових лісостанах у зоні гірської туристичної мережі

В.Ю. Юхновський¹, Ю.С. Іваненко², Г.О. Лобченко³

Встановлено особливості корененаселеності ґрунту в ялинових лісостанах в умовах рекреаційного навантаження у зоні туристичних маршрутів Карпатського національного природного парку. На 13 пробних площах, закладених у чистих і за невеликої участі бука лісового середньовікових і пристигаючих насадженнях, відібрано 136 зразків кореневмісного шару ґрунту на глибині 0-10, 10-20, 20-30 і 30-40 см, з яких виокремлено корені ялини європейської з розподілом їх на провідні і фізіологічно активні, обчислено об'єми і площі поверхні цих коренів. Встановлено статистичні зв'язки між висотою над рівнем моря та об'ємом фракції фізіологічно активних і провідних коренів, коефіцієнти кореляції яких становлять 0,78 і 0,47 відповідно. Розподіл коренів ялини європейської, залежно від глибини залягання материнської породи, показав, що у верхніх мінеральних шарах ґрунту за об'ємом переважає фракція провідного коріння. В деяких випадках його об'єм зростає з глибиною, що впливає на щільність поширення провідного коріння. За площею поверхні переважають фізіологічно активні корені на глибині 0-20 см, у той час, як на глибині 20-30 см спостережено перевагу провідного коріння. У ґрунтах із дещо потужнішими профілями у верхніх шарах (0-20 см) та на глибині 30-40 см переважає фракція провідних коренів, але на глибині 20-30 см ця тенденція змінюється на користь фізіологічно активних. Основна частка коренів знаходиться у верхньому мінеральному шарі ґрунту на глибині до 10 см, що й визначає їхню високу чутливість до рекреаційних навантажень у гірських умовах. У цьому горизонті ґрунту частка провідних і фізіологічних коренів від загального об'єму кожної фракції становить 67,5 і 75,3%, а в місцях із виходами гірських порід – 72,7 і 87,5% відповідно.

Ключові слова: Карпатський національний природний парк; ялина європейська; кореневі системи; провідні корені; фізіологічно активні корені.

Вступ. Вступаючи в нову епоху антропоцену, з'являються якісно нові виклики щодо збереження довкілля. Діяльність людини та її вплив на природні екосистеми характеризується докорінною зміною останніх. Ліс і всі його компоненти реагують на зміни навколишнього природного середо-

вища, намагаючись пристосуватись до змін клімату та впливу людини. Проте механізм пластичності лісових екосистем не завжди може адекватно реагувати на такого роду навантаження. Починаючи з XIX ст., особливо активно розвивається промисловість, а з нею й емісія вуглецю в атмосферу, що сут-

¹ Юхновський Василь Юрійович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Генерала Родимцева, 19, м. Київ, 03041, Україна. Тел.: +38-067-720-32-16. E-mail: yukhnov@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3182-4347>

² Іваненко Юрій Сергійович – аспірант кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Генерала Родимцева, 19, м. Київ, 03041, Україна. Тел.: +38-063-870-88-10. E-mail: ura1408280594@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3530-9206>

³ Лобченко Ганна Олександрівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Генерала Родимцева, 19, м. Київ, 03041, Україна. Тел.: +38-097-885-30-39. E-mail: lobchenko@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9281-1107>

тево впливає на процес глобального потепління в останні десятиліття. Відбувається помітне зростання інтенсивності екстремальних природних явищ (шторми, посухи, інтенсивні опади).

Поряд з цим, ліси продукують багато екосистемних послуг, які здатні пом'якшити вплив потепління. Зокрема, гірські екосистеми відіграють особливу роль у збереженні довкілля та середовища для рідкісних тварин, рослин і мікроорганізмів, тому такі території і відносять до об'єктів природно-заповідного фонду. Одним із таких об'єктів є Карпатський національний природний парк (Карпатський НПП), лісові екосистеми якого складають в основному ялина європейська, бук лісовий, ялиця біла, сосна гірська (Кравчинський, Мотрук, Стефурак, 2018). Лісостани за участю цих видів знаходяться під безпосереднім впливом як рекреаційного навантаження (парк має розгалужену мережу еколого-пізнавальних маршрутів), так і під впливом змін клімату (Крамарець, Мацяк, 2018). Наприклад, ялина європейська формує поверхневу кореневу систему, є досить зимостійким та тіневитривалим деревним видом, проте досить чутлива до пізніх весняних приморозків (Іванюк, Фучило, 2020). Поряд з цим, ялина є досить вимогливою до вмісту вологи в повітрі та ґрунті.

Особливо чутливими до впливу клімату є чисті ялинові насадження (Дебринюк, 2011). За наявності вологи, підвищення температури повітря сприяє активізації кореневої губки у лісовій підстилці. Своєю чергою, збільшення тривалості вегетаційного періоду сприяє поширенню і розвитку осередків розмноження короїдів та інших стовбурових шкідників, що створює передумови для всихання ялинових лісостанів у гірських екосистемах (Лавний, Пелюх, 2019). До вищезазначених чинників додається і зелений туризм, популярність якого зростає з кожним роком. За концентрованого рекреаційного навантаження спостерігається негативний вплив на живе надґрунтове вкриття, особливо вздовж туристичних маршрутів.

Окрім рекреаційної дигресії, активізуються ерозійні процеси, змиваються верхні шари ґрунту, в яких безпосередньо знаходиться коренева система ялини (Брусак, Малець, 2018). Тому дослідження розповсюдження коренів ялини європейської в гірських екосистемах є важливим аспектом з погляду здійснення екологічної оцінки стану насаджень. Вивчення корененаселеності ґрунту під ялиновими деревостанами дає змогу з'ясувати вплив різних чинників на фракції коренів з метою розробки рекомендацій стосовно запровадження реконструктивних і фітомеліоративних заходів щодо відновлення стану насаджень уздовж екологічних стежок та їх адаптації до впливу кліматичних чинників. У гірських умовах потужність ґрунтових горизонтів незначна, що зумовлено особливостями рельєфу та близьким заляганням материнської породи (не враховуючи плато та деякі річкові долини). У таких умовах ялинові лісостани є дуже чутливими до негативного рекреаційного впливу та нестачі вологи в ґрунті.

Потрібно зазначити, що, окрім постачання, транспортування та нагромадження поживних речовин, самі кореневі системи, а саме, якірні корені, виконують важливу функцію утримання надземної частини дерева у вертикальному положенні та визначають стійкість дерев до впливу вітру. З меліоративного погляду, дослідження стану і розповсюдження коренів під ялиниками дає змогу систематизувати знання про їхню ґрунтоскріплювальну функцію у насадженнях, що є особливо актуальним для гірської місцевості.

Кореневі системи є основним протиерозійним елементом лісового фітоценозу на схилі землях, де провідні (скелетні) корені забезпечують закріплення дерев у вертикальному положенні, а фізіологічно активні – забезпечують скріплення самого ґрунту, приймаючи участь у формуванні водотривких агрегатів, поліпшення водопроникності ґрунтів та активізації ґрунтовірних процесів (Калінін, Гузь, Дебринюк, 1998).

Моделі поширення корневих систем відіграють важливе значення в оцінці механічної стабільності надземної частини дерева та всього насадження. Особливо це стосується деревних видів, що мають поверхневу кореневу систему, до яких відноситься ялина європейська. Насадження ялини, особливо чисті за складом, що ростуть на багатих ґрунтах, дуже чутливі до негативного впливу вітру через особливості поширення їх корневих систем. Проте мішані насадження ялини з буком мають кращу стійкість до вітру. Це пов'язано із особливостями поширення коріння бука, яке, розпушуючи ґрунт, дає можливість проникати кореням ялини на більшу глибину (Калінін, 1983).

Тип ґрунту також безпосередньо впливає на кількість кореневої біомаси, а також на її просторе розташування у розрізі ґрунтового профілю. Проте у мішаних ялино-букових насадженнях відбувається пригнічення як фізіологічно активних, так і провідних коренів ялини європейської буком лісовим (Schmid, 2002).

За даними ВО «Укрдержліспроект», станом на 1.01.2019 р. у межах природного ареалу (гірські ліси Карпат) площа лісостанів за перевагою ялини становить 414480,9 га із загальним запасом стовбурової деревини 149298,9 тис. м³. Запас самої стовбурової деревини ялини тут становить 126508,04 тис. м³. Чисті ялиники в Українських Карпатах займають площу 164611,1 га, де вони нагромаджують 68465,2 тис. м³ стовбурової деревини.

Об'єкти та методика дослідження. Об'єкт дослідження – чисті та мішані лісові насадження із перевагою *Picea abies* [L.] Karst. у межах туристичної мережі Карпатського НПП та ДП «Гринявське ЛГ». Предмет дослідження – закономірності розподілу провідних і фізіологічно активних коренів ялини у ґрунтових горизонтах як протиерозійний чинник в умовах рекреаційного навантаження.

Мета дослідження полягала у встановленні співвідношення об'єму та площі поверхні для провідних і фізіологічно активних коренів ялини, як

передумови протиерозійної стійкості ялинових фітоценозів в умовах рекреаційного навантаження.

Дослідження здійснювали в межах стежкової мережі трьох туристичних маршрутів – еколого-пізнавальних стежок «На гору Піп Іван» (Карпатський НПП), «с. Зелене – Угорські скелі» (ДП «Гринявське ЛГ») та «с. Зелене – г. Шкорушний» (Карпатський НПП). Досліджувані насадження вздовж цих маршрутів сформувалися на бурих гірсько-лісових та гірсько-підзолистих ґрунтах, ростуть на висотах від 1030 до 1510 м н.р.м. та на відстані від туристичних стежок до 100 м.

Для визначення лісівничо-таксаційних показників деревних видів у насадженнях закладено 13 кругових та напівкругових тимчасових пробних площ (ТПП) за загальноприйнятою у лісовій таксації і лісовпорядкуванні методикою (Лісотаксаційний до-

відник, 2013). Досліджувані насадження переважно чисті за складом, рідше – мішані із перевагою *Picea adies* та участю 1-2 од. у складі *Fagus sylvatica* L. або одиничних екземплярів роду *Salix* L. За віковою структурою переважають середньовікові і пристигаючі лісостани (табл. 1).

Існують різні методики оцінювання і встановлення корененаселеності ґрунту. Для оцінювання розташування провідних і фізіологічно активних коренів в окремих випадках використовують георадар, який дає змогу встановити поширення коріння у горизонтальному та вертикальному напрямках без фізичного втручання в кореневі системи. Перевагою цієї методики є можливість зберегти кореневу систему цілісною та здійснювати повторне оцінювання стану коренів у поверхневому шарі ґрунту (Borden, Thomas, & Isaac, 2016).

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційна характеристика ялинових фітоценозів

№ ТПП	Висота над рівнем моря, м	Стрімкість схилу, град.	Експозиція схилу	Вік, років	Склад насадження	Бонітет	Висота, м	Діаметр, см
Туристичний маршрут «с. Зелене – г. Шкорушний»								
1	1385	23	Пд-Зх	66	10Ялє	I ^b	28,0	34,9
2	1317	15	Пд-Сх	65	10Ялє	I	24,0	28,1
Туристичний маршрут «Еколого-пізнавальна стежка «На гору Піп Іван»								
3	1260	11	Сх	50	10Ялє	I ^b	24,0	22,7
4	1510	13	Пн-Сх	59	10Ялє	III	16,9	23,3
5	1030	18	Пд	58	10Ялє	I ^b	29,3	31,5
6	1040	19	Пд-Сх	63	10Ялє	I ^c	32,3	31,8
7	1070	9	Пд-Зх	79	10Ялє	I ^a	30,4	32,3
8	1070	8	Пд-Сх	75	9Ялє1Бк	I ^b	31,7	35,5
9	1280	4	Пд	50	10Ялє + Врб	I ^a	22,0	20,5
10	1305	21	Пд	34	10Ялє	I ^c	19,9	24,4
Туристичний маршрут «с. Зелене – Угорські скелі»								
11	1040	8	Пн-Сх	62	9Ялє1Бк	I ^a	24,9	26,7
12	1090	< 2	Пн-Сх	67	9Ялє1Бк	I ^a	26,4	28,3
13	1095	< 2	Пд-Зх	48	8Ялє2Бк	I ^b	25,4	32,4

Фізіологічно активні корені є одним із найвагоміших компонентів підземної частини дерева. Ці корені характеризуються високою пластичністю, чутливо реагуючи на зміни в ґрунті та постачання води і поживних речовин (Püttsepp, Löhmus, Persson, & Ahlström, 2006). У насадженнях на кожній тимчасовій пробній площі за показником середнього діаметра вибирали модельне дерево, поблизу якого на відстані 0,5-1 м спеціальним буром відби-

рали зразки кореневмісного шару ґрунту на глибини 0-10, 10-20, 20-30 і 30-40 см у взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 1). У загальному підсумку відібрано 136 зразків.

Зі зразків кореневмісного шару ґрунту виокремлено корені ялини європейської та розділено на дві фракції: провідне (діаметром > 2 мм) і фізіологічно активне (діаметром < 2 мм). Діаметри коренів вимірювали мікрометром та встановлювали серед-

не значення показника діаметра для кожної фракції. Об'єм відібраного коріння визначали ксиліметричним методом. Площі поверхні кореневої системи за фракціями розраховували за методами і методиками вивчення корневих систем деревних рослин (Калинин, 1983; Дебринюк, 1990; Калінін, Гузь, Дебринюк, 1998; Маурер та ін., 2019).

Рис. 1. Фрагмент відбору зразків кореневмісного шару ґрунту та їх опрацювання на пробній площі № 9 (N 48° 00.961', E 024° 39.636') на території Карпатського НПП. Склад насадження – 10Яле, вік – 50 років

Результати та обговорення. Кореляційний аналіз орографічних показників та об'ємів коренів за фракціями вказує, що існує статистично значущий зв'язок між висотою над рівнем моря та об'ємом фракції фізіологічних коренів, однак для фракції провідних коренів такий зв'язок слабший. Також встановлено незначний статистичний зв'язок між стрімкістю схилів та об'ємами коренів у відібраних зразках кореневмісного шару ґрунту (табл. 2).

Функціональний тип рослин і клімат є найсильнішими предикторами мінливості будови корневих систем, і як наслідок – корененаселеності ґрунту, особливо фракції фізіологічно активних коренів (Freschet et al., 2017). У цьому аспекті методи оцінювання поширення корневих систем та розробки методики відбору зразків активно розвивались в ХХ ст. (Schuurman & Goedewaagen, 1971). Міжвидове порівняння корневих систем хвойних і широколистяних деревних видів на прикладі псевдотсуги Мензіса та бука лісового в гірських екосистемах Болгарії показало більшу відмінність у поширенні коренів за ґрунтовими горизонтами, ніж у динаміці росту фізіологічних коренів впродовж року. Так, наприклад, маса коренів завтовшки <10 мм в діаметрі на глибині 0-45 см була значно вищою у бука, порівняно з дугласією. Корені хвойної породи знаходились переважно у верхньому мінеральному шарі ґрунту. Їхня кількість дуже різко зменшувалась з глибиною на відміну від коренів бука, де поширення коренів у глибину було рівномірнішим (Lozanova et al., 2019).

Таблиця 2
Кореляційна матриця орографічних показників і об'єму коренів

Показники	Висота над рівнем моря, м	Стрімкість схилу, град.	Об'єм провідних коренів, мл	Об'єм фізіологічно активних коренів, мл
Висота над рівнем моря, м	1,00			
Стрімкість схилу, град.	0,33	1,00		
Об'єм провідних коренів, мл	0,47	-0,19	1,00	
Об'єм фізіологічно активних коренів, мл	0,78	0,07	0,73	1,00

Однак, для досліджених ялинових насаджень, за даними кореляційної матриці (табл. 3) наявність у складі кількох одиниць бука не має зв'язку із розподілом фракцій коренів. Відсутній також статистично значущий зв'язок між показниками об'єму й площі поверхні коренів та віком. У той же час встановлено зв'язок між середньою висотою деревостану, абсолютною повнотою та запасом.

Як відомо, основну роль у поглинанні поживних речовин підземною частиною дерева відіграє фізіологічно активне коріння. Спостерігається природна конкуренція між корневими системами як у чистих, так і в мішаних насадженнях. Щільніше переплітання корневих систем спостерігається на багатих на поживні речовини ґрунтах. Проте існує думка, що висока щільність корененаселеності ґрунту зумовлена лімітом води та обмеженістю доступу коренів до поживних речовин. Пластичність фізіологічних коренів, його біомаса та щільність розташування вказують на рівень здатності до конкуренції за середовище існування (Schmid & Kazda, 2002).

Важливим показником залучення коренів до підвищення протиерозійної стійкості території є їхній об'єм і площа поверхні, що взаємодіє із ґрунтовим середовищем, які узагальнено на графіках у розрізі глибини відбору зразків кореневмісного шару ґрунту (рис. 2, 3).

Вертикальний розподіл корневих систем деревних порід визначає їхній потенціал щодо абсорбування поживних речовин із різних ґрунтових горизонтів. Здатність коренів різних фракцій проникати в різні горизонти у пошуках поживних речовин є одним із ключових чинників, що визначають ріст і продуктивність надземної частини деревних

видів (Li et al., 2020). Фізіологічно активне коріння підліску та його розповсюдження безпосередньо впливає на продуктивність всієї екосистеми (Finér, Ohashi, Noguchi, & Hirano, 2011). Фізичні властивості ґрунтів, наявність води та поживних речовин визначають стратегію екологічного розвитку рос-

лин (Ding et al., 2020). Тобто, дерева з поверхневим розповсюдженням кореневих систем в умовах недостатнього вмісту вологи у верхніх шарах ґрунту можуть поширювати своє коріння на більшу глибину (Freschet, Violle, Bourget, Scherer-Lorenzen, & Fort, 2018).

Таблиця 3

Кореляційна матриця таксаційних показників і коренів

Показники	A, років	Склад	H, м	D, см	G, м ² ·га ⁻¹	M, м ³ ·га ⁻¹	V _{пр.} , мл	V _{фз.} , мл	S _{пр.} , мл	S _{фз.} , мл
A, років	1,00									
Склад насадження	-0,02	1,00								
H _{сер.} , м	0,64	-0,14	1,00							
D _{сер.} , см	0,59	-0,32	0,81	1,00						
G, м ² ·га ⁻¹	0,38	-0,28	0,35	0,14	1,00					
M, м ³ ·га ⁻¹	0,48	-0,13	0,61	0,15	0,59	1,00				
V _{пр.}	-0,05	-0,12	-0,66	-0,40	-0,35	-0,46	1,00			
V _{фз.}	-0,02	0,18	-0,60	-0,29	-0,40	-0,66	0,73	1,00		
S _{пр.}	-0,10	0,02	-0,60	-0,21	-0,54	-0,68	0,82	0,78	1,00	
S _{фз.}	-0,01	0,14	-0,52	-0,16	-0,42	-0,65	0,61	0,94	0,70	1,00

Примітки. A – вік деревостану, H – середня висота деревостану, D – середній діаметр деревостану, G – абсолютна повнота, M – запас, V_{пр.} – об'єм провідних коренів; V_{фз.} – об'єм фізіологічно активних коренів, S_{пр.} – площа поверхні провідних коренів, S_{фз.} – площа поверхні фізіологічно активних коренів

Рис. 2. Поширення фракцій коренів ялини європейської за умов близького залягання материнської породи: а) за об'ємами фракцій, мл; б) за площею поверхні, см²

Враховуючи, що на розподіл кореневих систем ялини європейської у лісових фітоценозах впливає глибина залягання материнської породи, тимчасові пробні площі поділено на дві категорії: 1) із заляганням материнської породи на глибині до 30 см (ТПП № 1, 4, 5, 6, 7, 8, 10); 2) із заляганням материнської породи на глибині понад 30 см (ТПП №2, 3, 9, 11, 10, 13).

Висота над рівнем моря для тимчасових пробних площ першої категорії змінюється від 1040 до

1510 м. Насадження представлені переважно чистими ялиновими деревостанами. Квантилі коробкових графіків (див. рис. 2) містять в собі дані про значення медіани, середньоарифметичної вибірки на різних глибинах. Вуса діаграм вказують на найнижче та найвище значення даних у межах 1,5 IQR (міжквартильного інтервалу) вище верхнього та нижнього квантилів. У верхніх мінеральних шарах ґрунту за об'ємом переважає фракція провідних коренів, наявність якої з глибиною, в цьому конкрет-

ному випадку, збільшується, тобто зростає щільність населеності корінням ґрунту. За площами поверхні переважають фізіологічно активні корені на глибині 0-20 см, у той час, як на глибині 20-30 см спостережено перевагу провідних коренів. Загалом варто зазначити, що розподіл об'єму коренів з глибиною не є пропорційним розподілу площі їхньої поверхні.

Рис. 3. Поширення фракцій коренів ялини європейської за умов залягання материнської породи на глибині понад 30 см: а) за об'ємами фракцій, мл; б) за площею поверхні, см²

Для іншої категорії насаджень з потужнішим ґрунтовим профілем відбір зразків на глибину понад 40 см не здійснювали, що пов'язано з морфологічними особливостями кореневої системи ялини. За об'ємом у верхніх шарах (0-20 см) та на глибині 30-40 см переважає фракція провідних коренів, хоча на глибині 20-30 см ця тенденція зміню-

ється на користь фізіологічно активних коренів, що й ілюструє рис. 3.

Зворотну тенденцію спостережено для показника площі поверхонь фракцій коренів на відповідних ТПП. Перевага фізіологічно активних коренів представлена на всіх зазначених глибинах кореневмісного шару ґрунту. Незважаючи на відсутність пропорційності між об'ємами та площами коренів, спостережено тенденцію до зменшення об'єму і площі поверхні коренів із збільшенням глибини.

Для обох виокремлених категорій об'єктів дослідження присутні викиди, які знаходяться поза межами міжквартильного інтервалу 1,5 IQR, що є характерним як для об'ємів коренів, так і для їхніх площ. Варто зазначити, що статистичні викиди серед зразків, які були відібрані з глибини 0-40 см, трапляються частіше і можуть бути зумовлені помилками у вимірюванні або ж пояснюватись умовами об'єкту досліджень. Так, для досліджуваних насаджень характерною є висока повнота, що безпосередньо впливає на щільність переплітання корневих систем двох і більше рослин одного виду, що, своєю чергою, призводить до неможливості виокремлення коренів одного екземпляру ялини від іншого. З іншого боку, складність рельєфу та наявність кам'янистих включень і виступів материнської породи у різних горизонтах також має безпосередній вплив на розподіл та кількість коренів у товщі ґрунту. Враховуючи поверхневий характер корневих систем, ялина намагається зайняти максимально вигідну «нішу» в ґрунтовому середовищі, враховуючи при цьому виступи материнської породи та корені інших рослин.

Також встановлено, що основна маса коренів, не прив'язуючись до потужності ґрунтового профілю, знаходиться у верхніх мінеральних шарах на глибині до 10 см (табл. 4). Така особливість зумовлена сприятливими фізико-хімічними властивостями, що забезпечують необхідний ступінь аерації та зволоження від атмосферних опадів і наявністю легкодоступних для рослинного організму поживних речовин (Маурер та ін., 2019).

Таблиця 4

Поширення коренів ялини європейської у верхньому шарі ґрунту

Номер ТПП	Об'єм провідних коренів у 10-см шарі ґрунту, мл	Загальний об'єм провідних коренів, мл	Частка провідних коренів у 10-см шарі ґрунту, %	Об'єм фізіологічно активних коренів у 10-см шарі ґрунту, мл	Загальний об'єм фізіологічно активних коренів, мл	Частка фізіологічно активних коренів у 10-см шарі ґрунту, %
1	2	3	4	5	6	7
1	36,4	61,7	59,0	54,0	72,8	74,2
2	36,65	85,9	42,7	65,8	118,7	55,5
3	31,2	57,5	54,3	26,05	65,9	39,6
4	192,68	192,7	100,0	158,2	160,2	98,8
5	24,0	24,0	100,0	20,8	20,8	100,0

Продовж. табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
6	45,9	45,9	100,0	27,8	27,8	100,0
7	25,7	65,8	39,1	42,0	44,7	94,0
8	12,6	25,3	49,8	16,0	26,2	61,1
9	34,4	62,1	55,4	24,5	46,4	52,8
10	32,2	52,8	61,0	26,4	31,2	84,6
11	104,2	133,4	78,1	22,7	32,0	70,9
12	59,9	68,2	87,8	23,8	33,5	71,0
13	48,0	94,7	50,7	53,1	69,9	76,0

У середньому, на досліджуваних ділянках у верхньому 10-сантиметровому шарі ґрунту частка провідних коренів за об'ємом становить 67,5% від загального об'єму коренів фракції, а для фізіологічно активних коренів – відповідно 75,3%. Якщо взяти до уваги зразки із пробних площ, де поширення кореневих систем обмежене близьким заляганням гірської породи, то для таких насаджень частка у 10-сантиметровому кореневмісному шарі для провідних коренів становить 72,7, а фізіологічно активних – 87,5%.

Висновки. Встановлено тісний і середній зв'язок між гіпсометричною висотою та об'ємом фракції фізіологічно активних і провідних коренів, коефіцієнти кореляції яких становлять 0,78 і 0,47 відповідно.

Статистичний зв'язок показників розподілу коренів встановлено для середньої висоти деревостану, абсолютної повноти та запасу, а між віком та складом насадження статистично значущого зв'язку не виявлено.

На об'єктах природо-заповідного фонду основна частка коренів знаходиться у верхньому мінеральному шарі ґрунту на глибині до 10 см. Таке мілке розташування коренів зумовлює дуже високу чутливість ялини до рекреаційних навантажень у гірських умовах. Неглибоке розміщення коренів зумовлене сприятливими фізико-хімічними властивостями верхнього шару ґрунту, що забезпечує необхідний ступінь аерації та зволоження від атмосферних опадів і наявність легкодоступних для деревної рослини поживних речовин.

З цього погляду, особливу увагу щодо біотичної стійкості необхідно приділяти ялиновим лісостанам, що ростуть в умовах близького залягання материнської породи. Частка об'єму провідних і фізіологічно активних коренів від загального обсягу, в цьому шарі становить 67,5 і 75,3% відповідно, а в місцях із виходами гірських порід – 72,7 і 87,5 %.

Список літератури

- Брусак В.П., Малець В.Б. (2018). Рекреаційна дигресія на туристичному маршруті. «На гору Говерла» у Карпатському НПП. *Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони*: матеріали III міжнарод. наук. семінару, 58-63. м. Львів [Brusak, V.P., & Malets, V.B. (2018). Recreational digression on tourist routes «On Hoverla mount» in Carpathian National Nature Park. In *Natural resources of the region: problems of use, revitalization and protection. Materials of the 3rd scientific seminar*, 58-63. Lviv, Ukraine (in Ukrainian)]
- Дебринюк, Ю.М. (1990). О коренаселенности почвы в смешанных насаждениях дуба черешчатого и ели обыкновенной. *Лесной журнал*, 6, 13-16. [Debryniuk, Yu. M. (1990). On the root population of the soil in mixed plantations of pedunculate oak and common spruce. *Forest Journal*, 6, 13-16 (in Russian)]
- Дебринюк Ю.М. (2011). Всихання смерекових лісів: причини та наслідки. *Науковий вісник НЛТУ України «Урбанізаційні процеси в гірських ландшафтах і шляхи їхнього регулювання»*, 21.16, 32-38 [Debryniuk, Yu. M. (2011). Drying of spruce forests: causes and consequences. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University: Urbanization processes in mountain landscapes and ways of regulation*, 21 (16), 32-38 (in Ukrainian)]. Retrieved from http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2011/21_16/index21_16.htm
- Голубець, М.А. (1978). *Ельники Украинских Карпат*. Киев: Наукова думка [Golubets, M.A. (1978). *Spruce forests of the Ukrainian Carpathians*. Kyiv: Scientific thought (in Russian)]
- Іванюк І.Д., Фучило Я.Д. (2020). Вплив метеорологічних чинників на радіальний приріст дуба звичайного в умовах свіжих і вологих сугрудів Полісся України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 20, 57-63. [Ivanyuk, I., & Fuchylo, Y. (2020). Influence of meteorological factors on the radial increase of English oak trees in the fresh and moist fairly fertile forest types conditions of the Ukrainian Polissya. *Proceedings of the Forestry Academy of*

- Sciences of Ukraine*, 20, 57-63 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.15421/412005>
- Калінін, М.І., Гузь, М.М., Дебринюк, Ю.М. (1998). *Лісове коренезнавство*. Львів: Престиж-інформ [Kalinin, M.I., Guz, M.M., & Debryniuk, Yu. M. (1998). *Forest root science*. Lviv: Prestige-inform (in Ukrainian)]
- Калинин, М.И. (1983). *Формирование корневой системы деревьев*. Москва: Лесная промышленность [Kalinin, M.I. (1983). *Formation of the root system of trees*. Moscow: Timber industry (in Russian)]
- Карпатський національний природний парк. [Carpathian National Nature Park (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://cnnp.if.ua/>
- Крамарець В.О., Мацяк І.П. (2018). Роль біотичних чинників у всиханні ялиників Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 17, 121-132 [Kramarets, V., & Matsiakh, I. (2018). The role of biotic factors in spruce decline in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 121-132 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.15421/411827>
- Кравчинський Р.Л., Мотрук М.В., Стефурак О.М. (2018). Причини послаблення біотичної стійкості ялиників на території Карпатського НПП. *Сьогодення біологічної науки: матеріали міжнарод. наук. конф.*, 22-24. м. Суми [Kravchynskiy, R.L., Motruk, M.V., & Stefurak, O.M. (2018). The reasons for the weakening of the biotic stability of spruce trees in the Carpathian National Park. In *Today's of the biological science*, 22-24. Sumy, Ukraine (in Ukrainian)]
- Лавний В.В., Пелюх О.Р. (2019). Поширення та аналіз стану похідних ялинових деревостанів в Українських Карпатах. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 19, 60-67 [Lavnyi, V., & Pelukh, O. (2019). Distribution and analysis of the state of secondary spruce stands in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 19, 60-67 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.15421/411927>
- Лісотаксаційний довідник (2013). Затвердж. Держ. агентством лісових ресурсів України / за ред. С.М. Кашпора, А. А. Строчинського. Київ: Видавничий дім «Вініченко» [Forest Inventory Directory (2013): approved by the State Agency of Forest Resources of Ukraine. In S. Kashpor, A. Strochinskyi (Eds.). Kyiv: Vinichenko Publishing House (in Ukrainian)]
- Маурер В.М., Атаманюк В.Ю., Белеля С.О., Бобошко-Бардин І.М., ... Яцик Р.М. (2019). Відтворення лісів та лісова меліорація в Україні: витоки, сучасний стан, виклики сьогодення та перспективи в умовах антропоцену: монографія. Київ: РВД НУБіП України [Maurer, V., Atamaniuk, V., Belelia, S., Blystiv, V., Boboshko-Bardyn, I., Boiko, O., ... Yatsyk, R. (2019). *Forest restoration and forest melioration in Ukraine: beginning, current state, challenges of the present and prospects in the conditions of the anthropocene*. Kyiv: National University of Life and Environmental sciences of Ukraine (in Ukrainian)]
- Borden, K.A., Thomas, S.C., & Isaac, M.E. (2016). Interspecific variation of tree root architecture in a temperate agroforestry system characterized using ground-penetrating radar. *Plant and Soil*, 410 (1-2), 323-334. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3015-x>
- Ding, J., Kong, D., Zhang, Z., Cai, Q., Xiao, J., Liu, Q., & Yin, H. (2020) Climate and soil nutrients differentially drive multidimensional fine root traits in ectomycorrhizal-dominated alpine coniferous forests. *Journal of Ecology*, 108 (6), 2544-2556. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13407>
- Finér, L., Ohashi, M., Noguchi, K., & Hirano, Y. (2011) Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 261, 265-277. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.016>
- Freschet, G.T., Valverde-Barrantes, O.J., Tucker, C.M., Craine, J.M., McCormack, M.L., Violle, C., ... Roumet, C. (2017). Climate, soil and plant functional types as drivers of global fine-root trait variation. *Journal of Ecology*, 105 (5), 1182-1196. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12769>
- Freschet, G.T., Violle, C., Bourget, M.Y., Scherer-Lorenzen, M., & Fort, F. (2018) Allocation, morphology, physiology, architecture: the multiple facets of plant above- and below-ground responses to resource stress. *New Phytologist*, 219 (4), 1338-1352. <https://doi.org/10.1111/nph.15225>
- Li, F.L., McCormack, M.L., Liu, X., Hu, H., Feng, D.F., & Bao, W.K. (2020). Vertical fine-root distributions in five subalpine forest types shifts with soil properties across environmental gradients. *Plant and Soil*, 456, (1-2), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04706-x>
- Lozanova, L., Zhiyanski, M., Vangelova, E., Doncheva, S., Marinov, M., & Lazarova, S. (2019). Dynamics and Vertical Distribution of Roots in European Beech Forests and Douglas Fir Plantations in Bulgaria. *Forests*, 10 (12), 1123. <https://doi.org/10.3390/f10121123>
- Püttsepp, Ü., Lõhmus, K., Persson, H.Å., & Ahlström, K. (2006). Fine-root distribution and morphology in an acidic Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand in SW Sweden in relation to granulated wood ash application. *Forest Ecology and Management*, 221 (1-3), 291-298. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.012>
- Schmid, I. (2002). The influence of soil type and interspecific competition on the fine root system of Norway spruce and European beech. *Basic and Applied Ecology*, 3 (4), 339-346. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00116>
- Schmid, I., & Kazda, M. (2002). Root distribution of Norway spruce in monospecific and mixed stands on different soils. *Forest Ecology and Management*, 159 (1-2), 37-47. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00708-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00708-3)
- Schuurman, J.J., & Goedewaagen, M.A.J. (1971). *Methods for the Examination of Root Systems*

and *Roots*. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation.

Peculiarities of soil root population in spruce forests in the area of the mountain tourist network

V. Yukhnovskyi¹, Yu. Ivanenko²,
G. Lobchenko³

The role and features of the European spruce root systems structure in the conditions of recreational load in the tourist routes area of the Carpathian National Nature Park (NNP) are described. The aim of the study is to establish the ratio of the volume and surface area that interacts with the soil for conductive and physiologically active roots as a prerequisite for anti-erosion resistance of spruce phytocenoses under recreational load conditions.

To determine the silvicultural and biometric indicators of tree species at the forest stand 13 circular and semicircular temporary trial areas were laid down according to the method which had become well established and commonly used in forest measurement and forest management. The studied plantations are mostly pure in composition, less often mixed with the predominance of European spruce and 1-2 units' participation in the forest composition by beech (*Fagus sylvatica* L.) or single specimens of the genus *Salix* L. The age structure is dominated by medieval and pre-mature stands.

The root systems are the main anti-erosion element of forest phytocenosis on sloping lands, where the leading (skeletal) roots provide consolidation of trees in a vertical position, and physiologically active – provides soil consolidation, participates in the formation of waterproof aggregates, improving soil permeability and activation of soil-forming processes. An important indicator of the roots involvement in

the landscapes erosion resistance increasing is their volume and surface area, which interacts with the soil solution.

The main role in the absorption of nutrients by the underground part of the tree is played by physiologically active roots. There is a natural competition between the root systems in both pure and mixed stands. A denser interweaving of root systems is observed on nutrient-rich soils. However, the high density of root systems is due to the water limit on limited access to nutrients. The plasticity of the physiological root, its biomass and the density of distribution indicate the level of ability to compete for habitat.

136 samples of root-containing soil layer at a depth of 0-10 cm, 10-20, 20-30 and 30-40 cm were taken from the sample areas of stands growing in clean and with a small participation of medieval beech forest and ripening stands, from which the roots of European spruce were isolated from division into conductive and physiologically active roots. Also volumes and surface areas of these roots have been calculated.

Statistical correlations between altitude and the volume of the fraction of physiologically active and conductive roots were established, the correlation coefficients of which are 0.78 and 0.47, respectively. The distribution of the root systems of European spruce depending on the depth of the parent rock showed that in the upper mineral layers of the soil by volume the fraction of the leading root predominates.

In some cases, its volume increases with depth, which affects the density of the conductive root. The surface area of the roots is dominated by physiologically active roots at a depth of 0-20 cm, while at a depth of 20-30 there is a predominance of the leading root. In plantations with stronger soil profiles (over 30 cm) in the upper layers (0-20 cm) and at a depth of 30-40 cm the fraction of the leading root predominates, but at a depth of 20-30 cm this tendency changes in favor of physiologically active roots. The main part of the roots is located in the upper mineral layer of the soil at a depth of up to 10 cm on the objects of nature reserves, which are more sensitive to recreational loads in the mountain conditions. In this soil horizon the share of conducting and physiological roots of the total volume of each fraction is 67.5 and 75.3%, and in places with rock outcrops – 72.7 and 87.5%, respectively.

Key words: Carpathian National Natural Park; European spruce; root systems; conductive roots; physiologically active roots.

¹ *Vasyl Yukhnovskyi* – full Member of the Forest Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the department of forests restoration and forest meliorations. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, General Rodimtsev str., 19, Kyiv, 03041, Ukraine. Tel. + 38-067-720-32-16. E-mail: yukhnov@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3182-4347>

² *Yurii Ivanenko* – postgraduate student of the Department of forests restoration and forest meliorations. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, General Rodimtsev str., 19, Kyiv, 03041, Ukraine. Tel.: + 38-063-870-88-10. E-mail: ura1408280594@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3530-9206>

³ *Ganna Lobchenko* – Candidate of Agricultural Sciences (PhD), Associate Professor of the Department of Forests Restoration and Forest Meliorations. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, General Rodimtsev str., 19, Kyiv, 03041, Ukraine. Tel.: + 38-097-885-30-39. E-mail: lobchenko@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9281-1107>

Особенности корненаселенности почвы в еловых древостоях в зоне горной туристической сети

В. Ю. Юхновский¹, Ю. С. Иваненко²,
А. А. Лобченко³

Изучены особенности корненаселенности почвы под насаждениями ели европейской в условиях рекреационной нагрузки в зоне туристических маршрутов Карпатского национального природного парка. На 13 пробных площадях, заложенных в чистых и с небольшим участием бука лесного средневозрастных и приспевающих насаждениях, отобрано 136 образцов в корнеобитаемом слое почвы на глубине 0-10, 10-20, 20-30 и 30-40 см. Из отобранных образцов выделены корни ели

европейской с последующим разделением на проводящие и физиологически активные с последующим вычислением объемов и площадей поверхности этих корней. Установлены статистические связи между высотой над уровнем моря и объемом фракции физиологически активных и проводящих корней, коэффициенты корреляции которых составляют 0,78 и 0,47 соответственно. Распределение корней ели европейской в зависимости от глубины залегания материнской породы показало, что в верхних минеральных слоях почвы по объему преобладает фракция проводящих корней. В некоторых случаях ее объем возрастает с глубиной, что влияет на плотность распространения проводящих корней. По площади поверхности преобладают физиологически активные корни на глубине 0-20 см, в то время, как на глубине 20-30 см наблюдается преобладание проводящих корней. В насаждениях с более мощными грунтовыми профилями (более 30 см) в верхних слоях (0-20 см) и на глубине 30-40 см преобладает фракция проводящих корней, но на глубине 20-30 см эта тенденция меняется в пользу физиологически активных корней.

На объектах природно-заповедного фонда основная часть корней находится в верхнем минеральном слое почвы на глубине до 10 см, вследствие чего ель становится очень чувствительной к рекреационным нагрузкам в горных условиях. В этом горизонте почвы участие проводящих и физиологически активных корней от общего объема каждой фракции составляет 67,5 и 75,3%, а в местах с выходами горных пород – 72,7 и 87,5% соответственно.

Ключевые слова: Карпатский национальный природный парк; ель европейская; корневые системы; проводящие корни; физиологически активные корни.

¹ *Юхновский Василий Юрьевич* – академик Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры возобновления лесов и лесных мелиораций. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. генерала Родимцева, 19, г. Киев, 03041, Украина. Тел.: +38-067-720-32-16. E-mail: yukhnov@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3182-4347>

² *Иваненко Юрий Сергеевич* – аспирант кафедры воспроизводства лесов и лесных мелиораций. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Генерала Родимцева, 19, г. Киев, 03041, Украина. Тел.: + 38-063-870-88-10. E-mail: ura1408280594@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3530-9206>

³ *Лобченко Анна Александровна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры воспроизводства лесов и лесных мелиораций. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Генерала Родимцева, 19, г. Киев, 03041, Украина. тел.: +38-097-885-30-39. E-mail: lobchenko@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9281-1107>