

Ворон В. П., д.с.-г.н. (м. Харків, 52corvus@gmail.com); **Прищеп А. М., д.с.-г.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, a.m.pryshchepa@nuwm.edu.ua); **Івашинюта С. В., к.с.-г.н., старший викладач**; **Грицюк І. І., старший викладач** (Надслучанський інститут НУВГП, м. Березне, s.v.ivashyniuta@nuwm.edu.ua, i.i.hrytsiuk@nuwm.edu.ua); **Ткач О. М., к.с.-г.н., начальник** (Південне міжрегіональне управління лісового та мисливського господарства, м. Миколаїв, tkach_o_m@ukr.net)

ОСОБЛИВОСТІ АНТРОПОГЕННОГО ПОШКОДЖЕННЯ СОСНЯКІВ ПОЛІССЯ

Негативна трансформація лісів, що відбувається у результаті антропогенного навантаження, виражається не лише у погіршенні стану та продуктивності деревостанів, але й у зміні інших компонентів лісових екосистем.

Наведено результати досліджень впливу антропогенних чинників (забруднення, рекреаційного навантаження, лісових пожеж) на сосняки Полісся. Визначено основні показники антропогенної трансформації компонентів лісових екосистем. Методичні підходи можуть бути використані при діагностиці пошкодження лісових екосистем. Рівень і характер порушень лісових екосистем визначаються механізмом дії антропогенних чинників. Надходження токсикантів в атмосферу змінює хімізм опадів, підстилки та ґрунту, рекреаційне навантаження порушує водно-повітряний режим: зменшується пористість та абсолютна вологість верхніх шарів ґрунту. У результаті дії низових пожеж у верхньому гумусовому горизонті збільшується зольність, вміст лужних металів і у перші після пожежі роки рН. Найбільші негативні наслідки відзначено в соснових насадженнях після дії низових пожеж. Негативна синергічна дія забруднення, посух, пожеж і епіфітотії кореневої губки суттєво посилює всихання сосняків. При аеротехногенному та рекреаційному навантаженні відмічено хронічний тип усихання, що проявляється в передчасній дехромації та дефоліації дерев, посиленні природного відпаду дерев, вирівнюванні деревного намету внаслідок зменшення частки дерев І і ІІ класів Крафта.

Проведені комплексні дослідження дали змогу визначити основні показники антропогенної трансформації лісових екосистем. Зазначені закономірності мають бути враховані при проведенні лісгосподарських заходів щодо підвищення стійкості деревостанів.

Ключові слова: лісові екосистеми; аеротехногенне забруднення; рекреаційне навантаження; лісові пожежі; підстилка; ґрунт; біоциркуліція.

Постановка проблеми. В умовах техногенезу й урбанізації ліси є незамінним засобом стабілізації та збереження довкілля. Однак можливості виконання лісами зазначених функцій є обмеженими, оскільки вони піддаються впливу комплексу негативних чинників [1; 2]. Антропогенне перетворення ландшафтів суші досягло 80–85% її поверхні, а майже 40% поверхні суші перетворилися в антропогенні пустелі [1]. Негативні зміни фітоценозів, урбосфери і техносфери та зниження фотосинтетичної продуктивності екосистем створює в Україні прецедент недоотримання щороку в 280 млн т кисню і 150 млн т вуглекислого газу, що становить втраті до 80 млн т сухої речовини біогеоценозів [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У лісових екосистемах аеротехногенне забруднення призводить до змін хімізму лісового середовища, у тому числі аеротопу, едотопу і рослинних тканин, що порушує стан і структуру деревостанів [2; 4; 5]. У міру посилення урбанізації зростає інтенсивність рекреаційного навантаження на ліси [2; 6]. Домінуючим чинником трансформації лісових екосистем є зміни фізико-механічних властивостей і водного режиму ґрунтів, що викликані їхнім ущільненням. При перевищенні допустимого рівня цей фактор може призвести до деградації, структурних змін і навіть усихання лісів [2].

Особливо небезпечним чинником, дія якого призводить до найбільш катастрофічних наслідків для лісів України, є лісові пожежі [7; 8]. Частота виникнення й негативні наслідки пожеж різко зростають у посушливі періоди. Наслідки змін лісових екосистем, пошкоджених низовими пожежами, залежать від пори року, коли виникали пожежі (навесні, влітку, восени), маси й вологості підстилки, потужності й тривалості пожеж, типу перенесення тепла і типу пошкодження деревостану [7; 8; 9; 10; 11].

Мета, завдання та методика досліджень – встановити особливості зміни компонентів лісових екосистем Полісся при різних типах антропогенного пошкодження.

Дослідження антропогенного впливу на лісові екосистеми базувалися на методах порівняльної екології та містили аналіз змін лісових екосистем на закладених екологічних профілях за ступенем зростання навантажень [2; 4; 12]. Так, у зоні ПрАТ «Азот» (зараз приватне акціонерне товариство «РІВНЕАЗОТ»), надалі підприємство № 1 дослідження проведено на 25 постійних пробних площах (ППП), закладених ще в 1982–1987 рр., які склали три екологічні ряди та розміщені на відстані від 4 до 25 км від підприємства [2; 4]. Трансформацію лісів у зоні колишнього РВАТ «Волиньцемент» (зараз «Волинь-цемент» філія приватного акціонерного товариства «ДІКЕРГОФФ цемент України»), надалі підприємство № 2, вивчали на 5 тимчасових пробних площах (ТПП) [2; 5]. Дослідження рекреаційних змін сосняків проведено на 6 ППП, пошкодження сосняків низовими пожежами вивчали на 35 постійних і 24 тимчасових пробних площах.

Постійні пробні площі екорядів підібрано і закладено згідно із загальноприйнятими у лісівництві та лісовій таксації методиками в чистих сосняках, однорідних за лісорослинними умовами, але різних за ступенем антропогенного навантаження (забруднення атмосфери, рекреаційне навантаження, лісові пожежі [2; 5].

Проведено комплексне оцінювання антропогенно порушених лісових екосистем з урахуванням особливостей впливу різних факторів [14]. Стан дерев оцінювали за тривалістю життя хвої, рівнем дефоліації та дехромації, характером усихання [12; 13]. Стадії рекреаційної дигресії (СРД) сосняків визначали за часткою витоптування ґрунту з подальшим уточненням за іншими показниками [13].

Починаючи з 1980 року, ведуть дослідження [11] впливу аеротехногенного забруднення на лісові екосистеми в техногенній зоні:

- Підприємство № 1, у викидах якого домінують SO_2 , NO_x , NH_3 .
- Підприємство № 2 з викидами сильнолужного пилу (рН до 12).

Для цих типів антропогенного пошкодження розроблено методика комплексної оцінки стану лісів в основних природних зонах України [10; 13]. Вона дозволяє не лише вчасно виконати

просторово-часовий аналіз рівнів аеротехногенного забруднення довкілля, своєчасно виявити тенденції негативних змін лісових екосистем, але й прогнозувати їх подальший розвиток і забезпечити адекватне реагування лісівників щодо попередження дигресії лісів.

Виклад основного матеріалу дослідження АЕРОТЕХНОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛІСІВ Техногенна зона підприємства № 1

Із моменту свого пуску в 1969 р. став загрозою існуванню лісів в Українському Поліссі. Це підприємство, як і його аналоги в Пулавах (Польща), Іонаві (Литва), Новгороді (Росія), є прикладом непродуманого вибору місця потужного хімічного виробництва серед лісів, що спричинило катастрофічні наслідки. Аналіз динаміки стану сосняків у зоні підприємства № 1 засвідчив, що він залежить від рівня аеротехногенного навантаження. У 1970-ті роки обсяг викидів зростав і в 1978 р. досягнув максимуму – 75 тис. т. Кульмінацією стала катастрофа 1979 р., коли викид призвів до гострого пошкодження понад 500 га хвойних лісів.

У першій половині 1980-х років обсяг викидів зменшився до 20–25 тис. т на рік, але стрес від гострого пошкодження був таким сильним, що цього виявилось недостатньо для відновлення сосняків. Посухи 1983, 1987 та 1990 рр. також були тим поштовхом, який погіршив стан сосняків.

За 13 років площа пошкоджених лісів суттєво збільшилася: від 0,5 тис. га в 1979 р. до 2,5 тис. га в 1984 р., 4,7 тис. га в 1988 р. та 23,4 тис. га в 1991 р. У 1990 році майже всі сосняки ДП «Клеванське ЛГ» мали симптоми пошкодження фітотоксикантами. За 13 років площа пошкоджених лісів різко збільшилася: від 0,5 тис. га в 1979 р. до 2,5 в 1984 р., 4,7 – у 1988 р і 23,4 тис. га в 1991 р.

Хоча до середини 90-х років річний обсяг викидів знизився до 3–4 тис. т, істотного покращення стану хвойних насаджень не відбулося. Стан лісостанів відновлювався надзвичайно повільно, оскільки в них унаслідок дії забруднення відбулися значні негативні структурно-функціональні зміни, які призвели до передчасного старіння насаджень: в епіцентрі разового викиду форма крони змінювалася від широкоовальної до парасолькоподібної. Зменшення дефоліації та покращення стану насаджень були відмічені лише у другій половині 90-х років, а значні позитивні зміни – лише в 2001–2003 рр., коли обсяг викидів знизився до 2,4–3,2 тис. т /рік, проте навіть у 2013 р. більшість сосняків залишались ослабленими.

Унаслідок забруднення відбуваються суттєві зміни в

трофотоплах лісових екосистем. У першій половині 80-х років у радіусі до 11 км від підприємства № 1 кислотність зросла до екстремально кислої, що призвело до збільшення в ґрунтово-поглинальному комплексі вмісту іонів водню і вимивання лужних катіонів. При цьому в 7-кілометровій зоні від підприємства № 1 вміст сульфатів у 3,6 разу перевищував контроль. Рівень негативних змін зростав із наближенням до підприємства. Найвищий вміст сульфатів виявлено в сосняку на відстані 7 км від підприємства № 1, де поряд із накопиченням сульфатів у верхньому гумусовому горизонті ще вищий вміст їх (у 7–14 разів більший ніж на відстані 15 км) виявлено на глибині 0,70–1,3 м, тобто на висоті 60 см від щільного шару мергелю).

Унаслідок акумуляції забруднювачів у підстилці в техногенній зоні в ланці «опад – підстилка» гальмується інтенсивність біоциркуліції. Про це свідчать зменшення надходження опадів та зростання маси підстилки (табл. 1). Притаманний соснякам сповільнений біоциркуліційний процес стає загальмованим.

Таблиця 1

Маса підстилки, опадів і підстилко-опадівий коефіцієнт (ПОК) у соснових лісостанах зони підприємства № 1

Відстань, км	Маса за горизонтами, т/га			Загальна маса, т/га		ПОК
	L*	F	H	підстилки	опадів	
4	7,06	7,17	18,60	32,83	5,41	6,06
7	6,47	6,80	16,80	30,07	5,96	5,04
9	6,37	6,38	14,90	27,65	6,38	4,34
25	5,05	5,80	9,90	20,75	6,80	3,06

* Горизонти: опадів шар (L), шар ферментації (F), шар гуміфікації (H).

У результаті накопичення забруднювачів посилюється дефоліація: влітку, особливо в посушливі роки, кількість опалої хвої значно збільшується.

Природно як в опадів шарі, так і у ферментативному шарі підстилки сосняків Полісся переважають процеси розкладання мортмаси, а в шарі гуміфікації – накопичення. Проте в ослабленому сосняку у верхніх шарах підстилки процеси розкладання й накопичення мортмаси є збалансованими (табл. 2). У сильно пошкодженому сосняку накопичення фітодетриту повністю домінує в усіх шарах.

Пошкоджені сосняки мають менші розміри біогоризонту фотосинтезу деревного намету. Його товщина в техногенній зоні становить 13,4–15,0 м, а на контролі – 20 м.

Таблиця 2

Трансформація опаду та підстилки в сосняках зони підприємства №

Відстань, км	K_L^*	K_F	K_H	Вік опаду, рік	T_L	T_F	T_H	TM_L	TM_F	TM_H
4	1,30	1,33	3,44	0,50	0,65	0,66	1,72	1,15	1,82	3,53
7	1,09	1,14	2,82	0,55	0,60	0,63	1,55	1,15	1,77	3,32
9	1,00	1,00	2,34	0,53	0,53	0,53	1,24	1,06	1,59	2,83
25	0,74	0,85	1,46	0,58	0,43	0,49	0,84	1,01	1,51	2,35

1

* K_L ; K_F ; K_H – коефіцієнти нагромадження; T_L ; T_F ; T_H – термін перебування в шарі мінералізації; TM_L ; TM_F ; TM_H – термін існування.

На початку 1980-х років в епіцентрі гострого пошкодження сосняків найгіршим був стан надпанівних і панівних дерев. У сосняків при хронічному пошкодженні стан дерев погіршувався від верхньої до нижньої частини намету.

Відчутніший негативний вплив забруднення на дерева I–II класів Крафта виявляється у зменшенні не лише розмірів стовбура й крони, але й їхнього представництва в деревостані. У техногенній зоні збільшується відсоток панівних та співпанівних дерев і зменшується надпанівних і пригнічених дерев.

На контролі дерева мають середньоовальну крону, а відношення довжини крони до її ширини становить від 2 до 3. Унаслідок дії забруднення в зоні сильного пошкодження це відношення зменшується до 1,42. Водночас крона має вигляд парасольки (табл. 3), що є характерним для 100-річних дерев. Такі візуальні зміни крони є підтвердженням передчасного старіння дерев.

Таблиця 3

Розподіл дерев за вертикальною формою крони в сосняках у зоні підприємства № 1, %

Форма крони	Відстань підприємства № 1, км			
	4,5	7	9	25
вужькоконусоподібна	0,0	2,3	6,7	1,9
ширококонусоподібна	4,0	8,0	4,0	1,9

продовження табл. 3

овальна	9,0	19,3	13,3	22,3
яйцеподібна	8,0	28,4	10,7	13,6
оберненояйцеподібна	9,0	13,6	8,0	12,6
ромбоподібна	4,0	2,3	1,3	2,9
парасолькоподібна	29,0	9,1	25,3	15,5
кулеподібна	7,0	9,1	0,0	5,8
неправильна	20,0	8,0	30,7	23,3

Трансформація лісів у техногенній зоні підприємства № 2

Зміни хімізму ґрунтів у зоні ВАТ «Волиньцемент» мають інший характер. Кислотність світло-сірих ґрунтів є значно нижчою від фону. Так, рН верхнього горизонту сягає 7,55, коли ґрунти вже вважаються слаболужними. При цьому зростає сума поглинених основ і вміст різних форм кальцію, основної складової викидів пилу. Валовий вміст важких металів у досліджуваних ґрунтах вищий за фонові значення. Відповідно до величини сумарного техногенного забруднення, рівень забруднення у цьому районі є слабким ($Z_c < 16$). Найбільші перевищення фонового вмісту характерні для Cu – 1,5–4 рази; Ni – 1,7–2,2; Zn – 1,1–2,2; Cr – 1,1–2,1 разу.

Серед природних чинників, які, поряд із забрудненням, лімітують розвиток лісів, є наявність на глибині понад 1 м шару мергелю, який, з одного боку, перешкоджає проникненню кореневих систем, а з іншого – є потужним геохімічним бар'єром, вище від якого накопичуються лужні й важкі метали, сульфати й бікарбонати.

Найвища продуктивність у техногенній зоні характерна для хвойних деревостанів. Середня зміна приросту ялиників перевищує 6 м³/га на рік, а бонітет деревостанів – I^a. Інші породи мають значно гірші таксаційні показники. Однак на розвиток ялини негативно впливає сильне підлюговування й засолення шару ґрунту над шаром мергелю внаслідок забруднення доквілля. Тому індекс стану навіть у молодняків 2 класу віку свідчить про їх сильне ослаблення.

Дуб звичайний є середньостійким до забруднення атмосфери, однак його розвиток лімітується потужністю ґрунтів, оскільки дуб має потужну кореневу систему з глибоким стрижневим коренем. Саме цим пояснюється поганий стан чистих дубняків. Дещо кращим є стан насаджень інших листяних порід (клена гостролистого, клена

явора, а також граба). Ці породи, маючи поверхневу кореневу систему, можуть непогано переносити наявні складні ґрунтові умови. Однак при створенні лісових культур ці породи можна використовувати лише як другорядні.

Особливості рекреаційної дигресії соснових екосистем

Однією з основних причин рекреаційної дигресії соснових екосистем зеленої зони м. Рівне є ущільнення ґрунтів. Найчіткіше характеризують інтенсивність цього процесу об'ємна маса і твердість ґрунту (рис. 4). При цьому значне ущільнення поверхневих горизонтів ґрунтів (особливо на IV–V стадіях рекреаційної дигресії насаджень), де зосереджено від 70 до 95% загальної маси коренів, призводить до утворення умов, близьких до анаеробних, унаслідок чого погіршується стан лісостанів.

Естетичні властивості лісів істотно знижуються внаслідок нанесення рекреантами механічних пошкоджень деревам. Посилення деградації насаджень супроводжується збільшенням площі механічних пошкоджень стовбурів – від 0,0–0,1 м² на I–II стадіях дигресії насаджень до 0,6 м² на V стадії. Причому, якщо на I–II стадіях площа механічних пошкоджень ніколи не перевищує 0,1 м², то на IV–V стадіях пошкодження площею понад 0,5 м² становлять 37–50%, а площа майже третини з них перевищує 1 м².

Внаслідок інтенсивної рекреації погіршується стан дубово-соснових насаджень. Вони вже на III стадії рекреаційної дигресії є сильно ослабленими, а на V стадії наближаються до категорії всихаючих. Здорові дерева трапляються лише в насадженнях I–II стадій рекреаційної дигресії. У міру посилення рекреаційних навантажень погіршується стан дерев сосни звичайної II і III класів Крафта.

Рекреаційний вплив є перешкодою для формування у насадженнях повноцінного другого деревного ярусу. Він сформований лише в лісах I–II стадій рекреаційної дигресії. Уже в насадженнях III стадії деградації ярус має зрідження з тенденцією до мозаїчного розташування дерев. На IV стадії цей ярус можна виділити лише умовно, а на V стадії навіть будь-які залишки другого ярусу відсутні. Розташування дерев мозаїчне, у вигляді окремих біогруп. Загалом це призводить до спрощення структури деревостану – формуються однарусні чисті біологічно нестійкі сосняки.

Статистично доведено наявність зрідження деревних ярусів, зниження повноти і середнього приросту за запасом досліджуваних

деревостанів при збільшенні рекреаційного навантаження.

Збільшення рекреаційного навантаження на деревостани негативно впливає на виконання ними екологічних функцій: зменшуються продукування кисню та депонування вуглецю. На основі дендрохронологічних досліджень виділено три періоди росту деревостанів. Особливо значне зниження радіального приросту характерне для останнього періоду (1996–2003 рр.), коли особливо посилилося рекреаційне використання насаджень. У сосняку II стадії дигресії радіальний приріст знизився на 20%, на III і IV стадіях – на 42 та 40% відповідно.

Показники загального біорізноманіття надґрунтового покриву варіюють у межах 4,095–5,077 і не пов'язані лінійною залежністю із стадіями рекреаційної дигресії. Динаміка індексів Шеннона – Уівера (I_H) складніша: їхні значення збільшуються від мінімуму на I стадії дигресії до максимуму на III стадії і поступово знижуються майже до вихідних значень на IV–V стадіях.

Очевидно, що заміна одних рослинних угруповань на інші на початку деградації відбувається переважно внаслідок механічного впливу витоптування.

У загальному біорізноманітті надґрунтового покриву із зростанням стадії рекреаційної дигресії збільшується частка малорічних і зменшується – багаторічних рослин. Це дає змогу використовувати відсоткові індекси біорізноманіття біоморф різної тривалості життєвого циклу для визначення особливостей рекреаційної сукцесії дубово-соснових лісів (C_2) Полісся.

Дослідження трав'яного ярусу сосняків із дубовим ярусом свіжої грабової судіброви зеленої зони м. Рівне свідчать, що внаслідок ущільнення ґрунту, пошкодження лісової підстилки, порушення режимів освітлення, водозабезпечення та аерації, а також безпосереднього механічного впливу рекреантів відбуваються негативні зміни загального біорізноманіття рослинних угруповань, які залежать від ступеня рекреаційних навантажень.

Антропогенна деструкція лісових екосистем може супроводжуватися збільшенням кількості видів за рахунок інвазії чужорідних ценоелементів унаслідок ослаблення природного «імунітету» лісового ценозу та виникнення вільних ніш.

Дигресивні зміни біорізноманіття лісових екосистем характеризуються задернінням, зменшенням різноманіття папоротеподібних і хвощеподібних на користь покритонасінних, які

абсолютно переважають на IV стадії рекреаційної дигресії. При цьому достовірно збільшуються як абсолютні значення індексів Шеннона – Уівера класу дводольних, так і показники їхнього відсоткового внеску до загального біорізноманіття. Водночас зменшуються відповідні показники в однодольних рослин; збільшується різноманіття родин *Рoaceae*, *Lamiaceae* і *Asteraceae*, постійна багаторічна рослинність частково замінюється на тимчасову однодворічну; відбуваються десильватизація, олущення й рудеризація.

Результати проведених досліджень рекреаційних змін середньовікових дубово-соснових лісів зеленої зони м. Рівне дали змогу встановити діапазон значень показників для визначення ступеня рекреаційної дигресії дубово-соснових насаджень Рівненського Полісся (табл. 4). Ці показники рекомендується використовувати для визначення відповідних тенденцій у розвитку лісових екосистем в умовах рекреаційного лісокористування та прогнозу стану насаджень.

Таблиця 4

Основні характеристики рекреаційних змін соснових насаджень зони м. Рівне (С₂ ГС, дерново-опідзолені ґрунти)

Показники		Стадії рекреаційної дигресії				
		I	II	III	IV	V
Частка витопаної площі, %		0–5	6–20	21–50	51–80	< 80
Твердість ґрунту, кг/см ²		> 11,0	11,1–12,5	12,6–14,0	14,1–15,5	< 15,5
Індекс санітарного стану (Ic)		1,01–1,5	1,51–2,50	2,51–3,0		< 3,0
Частка дерев з механічними пошкодженнями, %		> 2	3–10	11–30	31–60	< 61
Частка запасу від контролю, %		100	83–95		< 83	
Приріст деревостану за запасом, м ³ /га на рік		> 6,3		5,9–6,3	4,8–5,8	< 4,8
Середня повнота		> 0,75		0,68–0,74	0,58–0,67	< 0,58
Зменшення, %	радіального приросту	0	20	21–40		< 40
	депонування CO ₂	–	> 8	9–18	19–30	< 30
	продукування O ₂	–	> 5	5–7,5	7,6–25	< 25

Пірогенне пошкодження соснових лісів в Поліссі

Особливо небезпечним антропогенним чинником, дія якого призводить до найбільш катастрофічних наслідків для лісів України, є лісові пожежі.

У лісовому фонді державних підприємств Рівненського ОУЛМГ за період 2002–2017 рр. зафіксовано 455 пожеж із площею пошкодження лісів 353,7 га. Пошкодження сосняків пожежами у лісах Полісся пов'язане з підвищенням в температури повітря та кількістю спекотних і посушливих днів. На основі критеріїв аномальності охарактеризовано погодні умови впродовж 2000–2016 рр. За кількістю опадів аномально сухими були 2011 та 2015 рр., сухими – 2009 та 2016 рр., а за температурою повітря аномально теплими – 2008, 2012, 2014, 2015 рр.

Зростання частоти років із аномальним підвищенням температури повітря й кількості посушливих днів суттєво загостило пірологічну ситуацію у Волинському Поліссі, для якого характерна значна частка пожежонебезпечних сосняків. Так, за період 2002–2016 рр. зафіксовано чотири роки, а саме 2002 (169 пожеж), 2009 (44 пожежі), 2011 (38 пожеж) та 2015 (30 пожеж), коли погодні умови були посушливими. За ці роки зафіксовано 281 випадок пожеж або 56% від загальної кількості за 15-річний період.

Сила пошкодження та інтенсивність відпаду після пожеж залежать від типів розповсюдження тепла. З тепла, що виділяється при пожежі, на конвективний тепловий потік припадає 80–82%, теплове випромінювання – 14–17%, теплопровідність – 3–4% [29; 30]. При цьому конвективний тепловий потік пошкоджує бруньки і хвою в кроні; теплове випромінювання – стовбур, а теплопровідність ґрунту – коріння дерев. Інтенсивність, тривалість і величина післяпожежного відпаду залежать від цих типів розповсюдження тепла й викликаних ними пошкоджень, які мають особливості в різних регіонах. Домінування типу пошкодження залежить від виду й сезону пожежі та едатопу.

Особливу пірогенну загрозу для соснових лісів Полісся становить накопичення значних запасів підстилки (від 117 до 862 ц/га), товщина її сягає 17 см як основного компонента лісових горючих матеріалів. У сухі та аномально сухі роки навіть у вологих і мокрих гігротопах, де найвищі запаси підстилки, виникає надзвичайно висока пожежна небезпека.

Під час горіння повітряно сухої підстилки в свіжому борі температура може сягати 300° С. У міру висихання підстилки швидкість і температура її горіння зростають. Тривалість і температура горіння збільшуються зі зростанням запасів лісової підстилки. Углиб профілю швидкість і температура горіння лісової підстилки зменшуються внаслідок збільшення безструктурної мортмаси. Збільшенню температури й швидкості горіння підстилки також сприяє посилення потоків повітря.

При низовій пожежі нагрівання ґрунтів має поверхневий характер. Найвища температура відмічена на поверхні ґрунту, а по мірі заглиблення вниз по профілю воно падає. В дерново слаборозвинених ґрунтах різниця температур на поверхні і на глибині 10 см складає 240–300° С, а сірих лісових – 260–400° С.

Піщані ґрунти прогріваються сильніше й глибше ніж суглинисті, а сухі – сильніше ніж вологі. В сухих ґрунтах на глибині 4 см зафіксовано температуру 186° С, у вологих – лише 76° С; на глибині 6 см у сухих ґрунтах температура становила 120° С проти 67° С у вологих. Такий рівень нагріву є летальним [9; 13].

Пошкодження стовбура тепловим випромінюванням

В мокрі і нормальні роки у сосняках сухих і свіжих гігротопів домінує пошкодження стовбура тепловипромінюванням. За різних умов горіння кромка пожежі проходить протягом 2–3 хвилин, що для дорослих дерев не представляє небезпеки, оскільки при великих діаметрах (18 см і більш) вони мають достатню товсту кору, щоб протистояти тепловій дії пожежі [7; 9; 13]. Товщина кори в комлевій частині дерев сосни старшого віку на потовщеннях досягає 40. Із збільшенням висоти на стовбурі її товщина зменшується, але захисна здатність від всихання дерев при низових пожежах не втрачається. Однак локальні опіки можливі в тріщинах кори. Товщина кори в тріщинах коливається від 1,5 до 5,8 мм, що в 10–15 разів менше ніж в окоренковій частині. Пошкодження камбію та провідної флоєми у тріщинах кори сосни дослідники відзначали навіть після пожежі низької інтенсивності (висота нагару до 0,5 м).

Стан сосняків, в яких переважало пошкодження стовбура, залежав від висоти нагару на стовбурах, а точніше від ступеня опіку тонкої кори, тобто від перевищення висота нагару над висотою грубої кори. Встановлено, що коли висота нагару не перевищує висоту грубої кори і вогнем не пошкоджена тонка кора, частка всихаючих і сухостійних дерев не перевищує 30%, але при її пошкодженні зростає від 48 до 100%. В зоні переходу грубої кори в

тонку товщина кори коливалася в межах 0,5–1,6 мм, а на відстані 1 м до переходу грубої кори в тонку 2–4 мм, що недостатньо для запобігання пошкодженню камбію вогнем.

Найбільше всихання сосняків після пошкодження пожежею відмічено для відсталих у розвитку та пригнічених деревах, які всихають при найменшому пошкодженні. Краще витримують наслідки пошкодження стовбура дерева 1 та 2 класу Крафта, для яких до висоти нагару в 3 м частка всихаючих дерев не перевищує 11%, а критичною є висота 4 м та більше.

Пошкодження корневих систем в результаті теплопровідності ґрунту

У вологих і сирих гігротопах особливу небезпеку становила теплопровідність ґрунту, оскільки саме в цих умовах сосна формує поверхневу кореневу систему та інтенсивно заселяє корінням нижній шар підстилки. При пошкодженні кореневої системи дерево гине навіть при незначному пошкодженні стовбура.

Проникнення температури у шар ґрунту в результаті теплопровідності залежить від виду й інтенсивності пожежі, виду ґрунту, початкової температури, вмісту вологи, об'ємної щільності, питомої теплоємності. Пошкодження кореневої системи залежить від її розташування. Оскільки на різних типах ґрунтів коренева система розвивається по-різному. Так, наприклад, на болотистих, щербенистих ґрунтах, а також при високому рівні ґрунтових вод у сосни може формуватися поверхнева коренева система, при цьому пошкодження дерева може суттєво зростати.

В більшості випадків згорає верхній опадовий шар і частково середній. Середній та нижній лише частково підсихають і довго тліючи створюють умови для теплопередачі, що призводить до пошкодження корневих систем.

Для вологих гігротопів основна питома вага пошкоджень припадає на пошкодження корневих систем в ході теплопровідності ґрунту та вигорання верхнього його шару. В Поліссі на вологих гідротопах у сосни після 20–30 років кореневі системи можуть утворювати кореневі лапи, тобто щось схоже на повітряне коріння, пошкодження яких вогнем є особливо небезпечним [7]. Тому у гігротопах 3 і 4 особливу увагу звертають на ступінь вигорання підстилки та оголення корневих лап. Сильне вигорання підстилки призводить до повної загибелі насадження.

Пошкодження дерев конвективним тепловим потоком

Особливо загострюється ситуація в аномально сухі роки. При цьому всі шари підстилки висихають до абсолютно сухого стану, а температура горіння підстилки в свіжому суборі зростає до 525° С, а в сухому борі – до 655° С. У вологому суборі температура горіння мортмаси в листопадному і верхній частині гуміфікованого шару досягала 586° С, а у ферментативному шарі – 686–703°.

При згоранні значних запасів підстилки конвективними потоками гарячого повітря пошкоджується хвоя в кроні на значній висоті. Для пошкодження бруньок і хвої в кроні дерева достатньо декількох десятків секунд (близько хвилини) дії конвективного потоку з температурою від 60 до 120° С. Відмічається значна дехромація й дефоліація крони. Колір хвої змінювався вже через кілька днів після пожежі.

Летальним для розвитку сосняків є пошкодження:

- конвективними потоками – 2/3 крони дерев;
- тепловипромінюванням – стовбура за товщини кори менше ніж 3 мм;
- теплопровідністю – поверхневої кореневої системи й корневих лап.

У більшості пошкоджених низовою пожежею дерев всихання відмічається вже через 3–4 місяці після пожежі у рік пожежі, але під дією додаткових чинників цей процес може не тільки продовжуватись, але навіть посилюватися. Фактори, від яких залежать зміни в насадженні після впливу пожежі, можна розділити на 3 групи:

- сила пошкодження пожежею;
- чутливість дерев до дії вогню;
- зовнішні фактори, які активізують процеси всихання.

Негативні зміни стану пошкоджених пожежами сосняків призводять до суттєвих втрат товарності деревини – знижується вихід ділової деревини. Так, якщо у 60–80-річних сосняках частка ділової деревини коливається від 67 до 78%, то вже через декілька місяців після пожежі в результаті погіршення стану дерев вона знижується до 40–55%, через 1–2 роки – 30–41%, а через 3–4 роки – до 13–17%. Кількість і частка ділової деревини в сосняках, пошкоджених лісовими пожежами, мають тісний зворотний достовірний кореляційний зв'язок з індексом санітарного стану деревостану, середній зворотний – з тривалістю післяпожежного

періоду та слабкий кореляційний зв'язок з висотою підняття нагару по стовбуру дерев. Виявлені тенденції мають бути враховані при призначенні лісогосподарських заходів.

Висновки. У результаті негативного антропогенного впливу відбувається трансформація лісів, що виражається не лише у погіршенні стану і продуктивності деревостанів, але й у зміні інших компонентів лісових екосистем.

Рівень і характер порушень лісових екосистем визначаються механізмом дії антропогенних чинників. Надходження токсикантів в атмосферу змінює хімізм опадів, підстилки та ґрунту, рекреаційне навантаження порушує водно-повітряний режим: зменшується пористість та абсолютна вологість верхніх шарів ґрунту. У результаті дії низових пожеж у верхньому гумусовому горизонті збільшується зольність, вміст лужних металів і у перші після пожежі роки рН.

Найбільші негативні наслідки відзначено в соснових насадженнях після дії низових пожеж. Негативна синергічна дія забруднення, посух, пожеж і епіфітотії кореневої губки суттєво посилюють всихання сосняків. При аеротехногенному та рекреаційному навантаженнях відмічено хронічний тип усихання, що проявляється в передчасній дехромації та дефоліації дерев, посиленні природного відпаду дерев, вирівнюванні деревного намету внаслідок зменшення частки дерев I і II класів Крафта.

Проведені комплексні дослідження дали змогу визначити основні показники антропогенної трансформації лісових екосистем. Зазначені закономірності мають бути враховані при проведенні лісогосподарських заходів щодо підвищення стійкості деревостанів.

1. Голубець М. А. Вступ до геосоціосистемології. Львів : Поллі, 2005. 199 с.
2. Ворон В. П., Івашинюта С. В., Коваль І. М., Бондарук М. А. Ліси зеленої зони м. Рівне та їх еколого-захисні функції. Харків : Нове слово, 2008. 224 с.
3. Дегодюк Е. Г., Дегодюк С. Е., Гуральчук С. З. Порушення і відновлення біосферних функцій педосфери як інтегральні показники антропогенезу. *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвідомчий тематичний науковий збірник. Спеціальний випуск до VII з'їзду УТГА. Ґрунти – основа добробуту держави, турбота кожного. Книга 3. Харків, 2006. С. 214–216.
4. Ворон В. П. Аеротехногенна трансформація лісів України. Ч. 1. *Забруднення атмосфери викидами сірки та азот утримуючих фітотоксикантів та важких металів*. Х. : Нове слово, 2021. 257 с.
5. Ворон В. П., Івашинюта С. В. Аеротехногенні зміни довкілля та трансформація лісів техногенної зони РВАТ «Волиньцемент». *Науковий вісник УДЛТУ*. Львів, 2004. Вип. 14.5. С. 162–171.

6. Бондарук М. А., Целіщев О. Г. Оцінка антропогенної трав'яно-мохового ярусу соснових лісів зеленої зони Харкова. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Х. : С.А.М., 2003. Вип. 104. С. 39–49.
7. Пірогенна трансформація сосняків України / Ворон В. П., Коваль І. М., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Ткач О. М., Борисенко В. Г., Тимошук І. В., Бологов О. Ю. Х. : Нове слово, 2021. 224 с.
8. Кузик А. Д. Еколого-лісівничі основи пожежної безпеки лісів Малої Полісся. Львів : Сполом, 2019. 493 с.
9. Смотр О. О. Структурний аналіз лісових пожеж, динаміка їхнього розвитку та поширення. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturniy-analiz-lisovih-pozhezh-dinamika-yihnego-rozvitku-ta-poshirennya> (дата звернення: 10.02.2023).
10. Sungheetha A., Sharma R. R. Real Time Monitoring and Fire Detection using Internet of Things and Cloud based Drones. *Journal of Soft Computing Paradigm*. 2020. Vol. 2(3). P. 168–174. DOI: <https://doi.org/10.36548/jscp.2020.3.004>.
11. Ворон В. П., Лавров В. В., Леман О. В., Целіщев О. Г. Зміни просторової структури соснових деревостанів внаслідок забруднення атмосфери викидами Рівненського ВО «Азот». *Наук. вісник Укр. держ. лісотех. ун-ту : зб. наук. техн. праць*. 2000. Вип. 10.2. С. 47–52.
12. Діагностика та зонування пошкодження лісів України аеротехногенним забрудненням : методичні рекомендації. *Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів : зб. рекомендацій УкрНДІЛГА*. Х. : Нове слово, 2011. С. 113–164.
13. Рекомендації щодо комплексної оцінки стійкості рекреаційно-оздоровчих лісів, організації їх моніторингу та оптимізації рекреаційного лісокористування в них / Ворон В. П., Бондарук М. А., Коваль І. М., Целіщев О. Г. *Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів : зб. рекомендацій УкрНДІЛГА*. Х. : Нове слово, 2011. С. 10–112.

REFERENCES:

1. Holubets M. A. *Vstup do ekosystemologiyi*. Lviv : Polli, 2005. 199 s.
2. Voron V. P., Ivashyniuta S. V., Koval I. M., Bondaruk M. A. *Lisy zelenoi zony m. Rivne ta yikh ekoloho-zakhysni funktsii*. Kharkiv : Nove slovo, 2008. 224 s.
3. Dehodiuk E. H., Dehodiuk S. E., Huralchuk S. Z. *Porushennia i vidnovlennia biosfernykh funktsii pedosfery yak intehralni pokaznyky antropohenezu. Ahrokhimiia i gruntoznavstvo : mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk. Spetsialnyi vypusk do VII zizdu UTHA. Grunty – osnova dobrobutu derzhavy, turbota kozhnoho*. Knyha 3. Kharkiv, 2006. S. 214–216.
4. Voron V. P. *Aerotekhnohenna transformatsiia lisiv Ukrainy. Ch. 1. Zabrudnennia atmosfery vykydamy sirko ta azot utrymuiuchykh fitotoksykantiv ta vazhkykh metaliv*. Kh. : Nove slovo, 2021. 257 s.
5. Voron V. P., Ivashyniuta S. V. *Aerotekhnohenni zminy dovkillia ta transformatsiia lisiv tekhnohennoi zony RVAT «Volynntsement»*. *Naukovyi visnyk UDLTU*. Lviv, 2004. Vyp. 14.5. S. 162–171.
6. Bondaruk M. A., Tselishchev O. H. *Otsinka antropotolerantnosti traviano-*

mokhovoho yarusu osnovnykh lisiv zelenoi zony Kharkova. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia*. Kh. : S.A.M., 2003. Vyp. 104. S. 39–49. **7.** Pirohenna transformatsiia sosniakiv Ukrainy / Voron V. P., Koval I. M., Sydorenko S. H., Melnyk Ye. Ye., Tkach O. M., Borysenko V. H., Tymoshchuk I. V., Bolohov O. Yu. Kh. : Nove slovo, 2021. 224 s. **8.** Kuzyk A. D. Ekoloho-lisivnychi osnovy pozhezhnoi bezpeky lisiv Maloho Polissia. Lviv : Spolom, 2019. 493 s. **9.** Smotr O. O. Strukturnyi analiz lisovykh pozhezh, dynamika yikhnoho rozvytku ta poshyrennia. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2010. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturniy-analiz-lisovih-pozhezh-dynamika-yihnogo-rozvitku-ta-poshirennya>. (data zvernennia: 10.022023). **10.** Sungheetha A., Sharma R. R. Real Time Monitoring and Fire Detection using Internet of Things and Cloud based Drones. *Journal of Soft Computing Paradigm*. 2020. Vol. 2(3). P. 168–174. DOI: <https://doi.org/10.36548/jscp.2020.3.004>. **11.** Voron V. P., Lavrov V. V., Leman O. V., Tselishchev O. H. Zminy prostorovoi struktury sosnovykh derevostaniv vnaslidok zabrudnennia atmosfery vykydamy Rivnenskoho VO «Azot». *Nauk. visnyk Ukr. derzh. lisotekh. un-tu* : zb. nauk. tekhn. prats. 2000. Vyp. 10.2. C. 47–52. **12.** Diahnostyka ta zonuvannia poshkodzhennia lisiv Ukrainy aerotekhnohennym zabrudnenniam : metodychni rekomendatsii. *Monitorynh ta pidvyshchennia stiikosti antropohenno porushenykh lisiv* : zb. rekomendatsii UkrNDILHA. Kh. : Nove slovo, 2011. S. 113–164. **13.** Rekomendatsii shchodo kompleksnoi otsinky stiikosti rekreatsiino-ozdorovchykh lisiv, orhanizatsii yikh monitorynhu ta optymizatsii rekreatsiinoho lisokorystuvannia v nykh / Voron V. P., Bondaruk M. A., Koval I. M., Tselishchev O. H. *Monitorynh ta pidvyshchennia stiikosti antropohenno porushenykh lisiv* : zb. rekomendatsii UkrNDILHA. Kh. : Nove slovo, 2011. S. 10–112.

Voron V. P., Doctor of Agricultural Sciences (Kharkiv); Pryshchepa A. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne); Ivashyniuta S. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Lecturer; Hrytsiuk I. I., Senior Lecturer (Nadsluchansky Institute the National University of Water and Environmental Engineering, Berezne); Tkach O. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Head (Southern Interregional Department of Forestry and Hunting, Mykolaiv)

FEATURES OF ANTHROPOGENIC DAMAGE ON POLISSIA PINE FORESTS

The results of studies of the influence of anthropogenic factors (pollution, recreational load, forest fires) on the pine forests of

Polissia are presented. The main indicators of anthropogenic transformation of components of forest ecosystems have been determined. Methodical approaches can be used in the diagnosis of damage to forest ecosystems.

As a result of negative anthropogenic influence, the transformation of forests is taking place, which is expressed not only in the deterioration of the condition and productivity of stands, but also in the change of other components of forest ecosystems.

The level and nature of forest ecosystem disturbances are determined by the mechanism of action of anthropogenic factors. The release of toxicants into the atmosphere changes the chemistry of precipitation, litter and soil, the recreational load disrupts the water-air regime: the porosity and absolute humidity of the upper layers of the soil decreases. As a result of grass fires in the upper humus horizon, the ash content, the content of alkali metals, and the pH increase in the first years after the fire.

The greatest negative consequences were noted in pine plantations after the action of grass fires. The negative synergistic effect of pollution, droughts, fires, and epiphytphyte of the root sponge significantly increases the drying of pine trees. With aerotechnological and recreational loads, a chronic type of drying was noted, which manifests itself in premature dechromation and defoliation of trees, increased natural tree fall, leveling of the tree canopy due to a decrease in the proportion of trees of the 1st and 2nd classes of Kraft.

The conducted complex studies made it possible to determine the main indicators of anthropogenic transformation of forest ecosystems. The specified regularities should be taken into account when carrying out forestry measures to increase the stability of stands

***Keywords:* forest ecosystems; aerogenic pollution; recreational load; forest fires; litter; soil; biocycle.**