

Запаси підстилки та її морфолого-фракційний склад у насадженнях *Pinus pallasiana* D. Don на залізорудному відвалі Криворіжжя

Наталія Ю. Шевчук✉, Іван І. Коршиков

Криворізький ботанічний сад НАН України, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область, e-mail: natkasa@meta.ua; ivivkor@gmail.com

ORCID ID0000-0001-5683-1530

✉ natkasa@meta.ua

Реферат.

Мета. Встановити морфолого-фракційний склад та запаси підстилки соснових насаджень *Pinus pallasiana* D. Don на залізорудному відвалі Криворіжжя в залежності від умов рельєфу (різна експозиція і крутизна схилів берм відвалу). **Методи.** Потужність, запаси та фракційний склад підстилки вивчалися за загальноприйнятими методиками (Vorobeyschik, 1997; Rodin & Bazilevich, 1965). Підстилка відбиралася на п'яти ділянках у 10-кратній повторності (в цілому 50 зразків). Згідно рекомендацій Л. О. Карпачевського (1968) виділялася активна та неактивна фракції підстилки. Величину опадо-підстилкового коефіцієнту та інтенсивність кругообігу визначали згідно з методичними вказівками Н. І. Базилевич, Л. Є. Родіна (1965). Потужність підстилки встановлювали за класифікацією Л. Г. Богатирьова (1990). **Результати.** Встановлено, що підстилка соснових насаджень на відвалі характеризується різним ступенем потужності. Накопичення мортмаси в соснових насадженнях відбувається з різною інтенсивністю – найбільше на плато II та III берм – 6216,7 і 4748,1 г/м² відповідно, а найменша – на схилі II берми – 1913,5 г/м². Підстилка в 40-річних соснових насадженнях на відвалі має тришарову будову і тільки на схилі III берми двошарова, характеризується різним ступенем потужності: від 7,8 см на плато II та III бермах до 3,9 см на схилі II берми. З'ясовано, що у формуванні підстилки найбільший вклад вносять фрагменти розміром від 0,5 до 5 мм, доля яких може становити 78,5%. Основну частину запасів усіх досліджува-

них підстилок в насадженнях *P. pallasiana* складає активна фракція – від 74% до 98,7%. **Висновки.** Насадження *P. pallasiana* на залізорудному відвалі Криворіжжя формують значні запаси підстилки, а таким чином і органічної речовини, тим самим істотно поліпшуючи еколого-едафічні умови для розвитку біогеоценотичних процесів в цих докорінно змінених техногенних екотопах.

Ключові слова: соснові насадження, підстилка, *Pinus pallasiana*, потужність, відвал, морфологічні показники, фракційний склад, Криворіжжя.

Stocks of litter and its morphological and fractional composition in *Pinus pallasiana* D. Don plantations at the Kryvyi Rih iron ore dump

Nataliia Yu. Shevchuk¹✉, Ivan I. Korshykov

Kryvyi Rih Botanical Garden of NAS of Ukraine, Kryvyi Rih, Dnipropetrovsk region, Ukraine, e-mail: natkasa@meta.ua; ivivkor@gmail.com

ORCID ID0000-0001-5683-1530

✉ natkasa@meta.ua

Abstract.

Aim. The article aims to establish the morphological and fractional composition and stocks of a litter of pine plantations of *Pinus pallasiana* D. Don on the Kryvyi Rih iron ore dump depending on the relief conditions (different exposition and steepness of the slopes of the dump berms). **Methods.** The thickness, stocks and fractional composition of the litter were studied according to generally accepted methods (Vorobeychik, 1997; Rodin & Bazilevich, 1965). The litter was collected at five sites in 10 replicates (a total of 50 samples). According to the recommendations of L. O. Karpachevskiy (1968) active and inactive fractions of litter had been distinguished. The magnitude of the fall-litter coefficient and the intensity of the cycle were determined by the guidelines of L. Ye. Rodin, N. I. Bazilevich (1965). The thickness of the litter was ascertained according to the classification of L. G. Bogatyriov (1990). **Results.** We confirmed that the litter of pine plantations on the dump is characterized by different degrees of thickness. The accumulation of mortmass in pine stands varies in intensity – the most considerable rates was noted on the plateaus of the second and third berms – 6216.7 and 4748.1 g/m², respectively, and the smallest ones – on the slope of the second berm – 1913.5 g/m². The litter in 40-year-old pine plantations on the dump has a three-layer structure and only on the slope of the third berm is two-layered;

it is characterized by different degrees of thickness: from 7.8 cm on the plateaus of the second and third berms to 3.9 cm on the slope of the second berm. It was found that an enormous contribution to the formation of litter was made by fragments ranging in size from 0.5 to 5 mm, the share of which could be 78.5%. The central part of the stocks of all studied litters in *P. pallasiana* plantations is the active fraction – from 74% to 98.7%. **Conclusions.** Plantations of *P. pallasiana* on the iron ore dump of Kryvyi Rih form significant stocks of litter. Thus, organic matter, thereby significantly improving the ecological and edaphic conditions for the development of biogeocenotic processes in these radically changed human-made ecotopes.

Key words: pine stands, litter, *Pinus pallasiana*, thickness, dump, morphological indicators, fractional composition, Kryvyi Rih.

Вступ/Introduction. Лісова підстилка утворюється в процесі формування деревостанів унаслідок опадання відмерлих частин деревних і чагарникових видів: листя і хвої, пагонів, плодів, кори тощо. Залежно від породного складу деревостанів формуються різні типи лісових підстилок, які відрізняються потужністю та швидкістю мінералізації (Lukaniuk, 2013). Вона виконує низку різних важливих функцій (Hordiienko & Karpenko, 1996; Krylov, 2013; Pylypenko et al., 2010; Svyrydenko et al., 2005; Sehed, 2017; Kovalenko, 1968), зокрема істотно впливає на водний режим ґрунтів, затримує і утримує значну частину опадів, запобігає виникненню поверхневого стоку та випаровуванню води із ґрунту і таким чином впливає на водний, повітряний, температурний, окисно-відновний, кислотно-основний режими ґрунтів (Zhytska, 2009). Очевидно не менша її терморегуляційна роль для лісових ґрунтів і для кругообігу елементів мінерального живлення. У процесі її розкладання та мінералізації верхні горизонти ґрунту збагачуються поживними речовинами (Hordiienko & Karpenko, 1996; Lukaniuk, 2013; Svyrydenko et al., 2005), а тому є постійним джерелом надходження до ґрунтів видозмінених органічних сполук, які утворюють гумус – основну частину органічних сполук, які і визначають рівень трофності лісових ґрунтів. Процеси розкладання органічних решток у лісовій підстилці і поверхневому шарі ґрунту тісно зв'язані з процесами їх гуміфікації: у різних екологічних умовах утворення гумусових речовин відбувається з різною інтенсивністю і в різних рослинних зонах має свою специфіку.

Підстилка відіграє важливу роль не тільки в процесах кругообігу речовин в екосистемах, але й у процесах ґрунтоутворення і відбиває зональні особливості місцеіснування насаджень. Особливо багатогранна лісомеліоративна роль лісової підстилки, яка визначає водорегулювальні, водозатримувальні, водоочисні,

грунтозахисні, протиерозійні та інші функції (Pylypenko et al., 2004; Yukhnovs'kyu et al., 2012).

Потужність підстилки, швидкість її розкладання та вивільнення хімічних елементів залежить від типу лісу, його віку, повноти деревостану, кліматичних умов, особливостей едафотопу (грунтові умови, водний і тепловий режим і т.д.), участі у складі деревостану, крім хвойних, листяних порід, наявності або відсутності трав'яного чи мохового покриву, кількості річного опаду (Vysotskiy, 1950). Запаси органічної речовини, сконцентрованої у підстилці, може виступати одним з інтегральних параметрів загальної стійкості лісових екосистем, оскільки відображає інтенсивність деструкційних процесів у лісових ценозах. Підстилка є важливим структурно-функціональним компонентом лісового біогеоценозу, який зв'язує абіотичні й біотичні його складові в цілісну систему. На відміну від листяних лісів, характерною особливістю ритміки накопичення підстилки у хвойних лісах є її цілорічне і рівномірніше поповнення протягом року за рахунок опаду. При цьому, за даними Ю. М. Чернобая (Chornobay, 2000), зимовий опад може становити від 39 до 82% від загальнорічної його маси. Опад і формування підстилки – ключові ланки системи кругообігу речовини в лісовій екосистемі (Lukina & Nikonov, 1998; Meentmeyer, 1982). Кількість опаду залежить передусім від видового складу деревостану, бонітету, щільності й зімкненості крон та фізико-хімічних властивостей ґрунту (Gorshenin & Shvidenko, 1977).

Всі ці функції підстилки, які були вище перераховані, відіграють важливу роль у насадженнях на промислових відвалах, наприклад, на таких як залізорудні на Криворіжжі. На одному із них близько 40 років тому були висадженні у голу породу саджанці *Pinus pallasiana* D Don, більшість з яких не тільки тут прижились, але і дають насіннєве відновлення. В окремих соснових куртинах, які ростуть як на плоских утвореннях, так і на схилах відвалу накопичується підстилка (Korshikov & Krasnoshtan, 2012). Меліоративна, протиерозійна і водозахисна функція соснових насаджень, а вони є не на одному відвалі, більш ніж очевидна, вона забезпечує водозбір з прилеглих схилів, переводячи поверхневий стік у глибинний, а найголовніше – є первинним етапом ґрунтоутворюючих процесів. І ще близько 10 років тому в підстилці соснових насаджень на залізорудному відвалі знайдено детрит (Korshikov & Krasnoshtan, 2012).

У природних соснових лісах підстилка розкладається дуже повільно – впродовж 7 років (Didukh, 2005). Показником, який дає уявлення про інтенсивність розкладання підстилки, можна вважати коефіцієнт утилізації органічної речовини – опадо-підстилковий коефіцієнт (ОПК=підстилка/опад). Чим вище значення цього показника, тим слабша інтенсивність біологічного кругообігу

(Rozhak & Kozlovskiy, 2013). Швидкість розкладу мортмаси визначається трьома групами чинників: фізико-хімічними особливостями середовища, в якому протікає розклад, складом опаду та активністю організмів-деструкторів (Swift et al., 1979). При цьому деструкція може лімітуватися як одним фактором, так і їх комплексом. Надмірне накопичення мортмаси свідчить про незавершеність біогеохімічних циклів, що супроводжується суттєвим зниженням продуктивності та стійкості лісів внаслідок гальмування біогеохімічного кругообігу (Chornoba, 2000). Дослідження темпів кругообігу через ОПК є потенційним способом оцінки змін у екосистемах, пріоритетним засобом з точки зору можливості аналізувати хід кругообігу, визначати зміни в окремих ланках, і впливати на його перебіг практичними заходами (Sizer, 2000). Одним з основних показників лісової підстилки є її потужність, пошаровий аналіз якої дозволяє оцінювати швидкість накопичення або розкладання рослинного опаду.

Мета роботи – встановлення морфолого-фракційного складу та запасів підстилки соснових насаджень *Pinus pallasiana* D. Don на залізородному відвалі Криворіжжя.

Матеріали і методи/Materials and Methods. Дослідження підстилки проводилося в 40-річних насадженнях *P. pallasiana* на автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру ПрАТ «ПівнГЗК». За контроль були використані дуже близькі за віком насадження *P. pallasiana* в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС НАНУ). Відвал сформований у 1968–1973 рр. із залізистих кварцитів, сланців, суглинків та частково глин і має 3 берми. Мікрорельєф відвалу представлений складним комплексом пагорбів, западин, схилів та плато. Кут нахилу мезосхилів становить 32–35°, мікросхилів – сильно варіює (Smetana et al., 2012). Перші посадки *P. pallasiana* на відвалі були проведені у 1974 р. дворічними сіянцями з розсадників Дніпропетровської і Херсонської областей під керівництвом В. Е. Чайки (Korshikov & Krasnoshtan, 2012). Через 30 років на різних ділянках відвала збереглося від 10 до 25 рослин на 100 м², що складає 38,5–96,0% від спочатку висаджених сіянців. Максимальна площа насаджень *P. pallasiana* на відвалі складає ~1 га. Життєвий стан соснових деревостанів добрий – відсутні суховершинні дерева, так і загиблі з природних причин.

Морфологічні закономірності розкладу підстилки в соснових насадженнях вивчали за такими показниками як: потужність, запаси та фракційний склад підстилки за загальноприйнятими методиками (Vorobeyschik, 1997; Rodin & Vazilevich, 1965). Для відбору підстилки в 10-кратній повторності, використовували шаблон розміром 0,5×0,5 м. Підстилка відбиралася за шарами мінералізації: Н₀₋₁ (опадовий), Н₀₋₂ (ферментативний) та Н₀₋₃ (шар гуміфікації). Всього відібрано 50 зразків. У лабораторних умовах отримані зразки підстилки

висушували до повітряно-сухого стану і розбиралися на фракційні групи: нерозкладена хвоя, кора, гілки, шишки, напіврозкладена хвоя, яка не втратила форму шпильок, великі, середні, малі фрагменти та детрит. До складу великих, середніх і малих фрагментів було віднесено рослинні рештки, які відокремлювали просіюванням крізь сито із отворами діаметром 5, 2 і 1 мм відповідно. Детритовий шар представлений у значній мірі гуміфікованим опадам змішаним з мінеральною речовиною субстрату. Він має бурий колір, ознаки анатомічної будови хвої не простежуються. У подальшому проводився відбір зразків із фракцій для визначення абсолютно сухої маси з перерахунком на всю масу підстилки. У підстилці було виділено активну та неактивну фракції, згідно рекомендацій Л. О. Карпачевського (Karpachevskiy & Kiseleva, 1968). До активної частки ввійшли такі фракції підстилки: нерозкладена хвоя, напіврозкладена хвоя, великі, середні, малі фрагменти та детрит; до неактивної (інертної) – гілки, шишки, кора. Оцінювалося співвідношення активної та неактивної фракцій підстилки.

Величину опадо-підстилкового коефіцієнту (ОПК), як показника інтенсивності біокругообігу, визначали згідно з методичними вказівками Л. Є. Родіна, Н. І. Базилевич (Rodin & Bazilevich, 1965). Інтенсивність кругообігу встановлювали за 10-ти бальною шкалою (Rodin & Bazilevich, 1965). Потужність підстилки досліджуваних насаджень *P. pallasiana* визначали за класифікацією Л. Г. Богатирьова (Bogatir'ova, 1990). При оцінюванні отриманих результатів було використано методи багатовимірного статистичного аналізу (Shmidt, 1984; Zaytsev, 1990). Розрахунки проводили за допомогою пакету програм MS Excel.

Результати та обговорення/Results and Discussion. Морфологічні характеристики підстилок соснових насаджень на відвалі Першотравневого кар'єру свідчать, що підстилки мають тришарову будову, і тільки на схилі III берми відвалу – двошарову. Верхній шар на різних ділянках (потужність від 1,1 до 2,3 см) утворений свіжим опадам хвої жовтуватого-коричневого кольору, шишок і відпадом дрібних гілок (табл. 1). Другий шар потужністю від 0,6 до 4,4 см утворений бурою та чорнувато-бурою хвою, яка не втратила форму шпильок. Третій шар, потужність якого варіює в межах від 2,0 до 3,6 см, представлений деструктованими рештками хвої, які «склеєні» гіфами грибів, рештки хвої розпадаються на фрагменти розміром 0,5–5,0 см.

Едафічні умови росту *P. pallasiana* на відвалі характеризуються широкою амплітудою, що позначається на морфологічних характеристиках підстилок. Ступінь вкриття відвального субстрату підстилкою дещо варіює і залежить від зімкненості і щільності крон дерев, різної експозиції і крутизни схилів берм. Так, у соснових насадженнях на плато II і III берм відвалу та в дендрарії КБС відзначається суцільне вкриття – понад 90% поверхні субстрату. На схилах II і

III берм залізорудного відвалу потужність підстилки значно менша, покриття субстрату переривчасте, що зумовлено особливостями мікрорельєфу і зімкненістю крон насаджень на цих ділянках.

Таблиця 1. Інтенсивність біологічного кругообігу речовин у насадженнях *Pinus pallasiana* D. Don
Table 1. Intensity of biological cycle of substances in *Pinus pallasiana* D. Don plantations

Показник/ Index	Ділянки/Sites				
	Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру ПрАТ «ПівнГЗК»/ Car dump of the Pershotravnevyi quarry of PJSC "Pivnichnyi OPC"				Криворізький ботанічний сад НАНУ (контроль)/ Kryvyi Rih Botanical Garden of NASU (control)
	плато II берми plateau of II berm	схил II берми slope of II berm	плато III берми plateau of III berm	схил III берми slope of III berm	
Опадопідстилковий коефіцієнт/ Fall-litter co-efficient	3,7	10,6	3,8	13,1	3,4
Бал інтенсивності/ Intensity score	6	5	6	5	6
Тип кругообігу/ Type of cycle	загальмований/ inhibited	дуже загальмований/ very inhibited	загальмований/ inhibited	дуже загальмований/ very inhibited	загальмований/ inhibited

Результати досліджень свідчать, що в соснових насадженнях на схилах II та III берм відвалу мають дуже загальмований тип кругообігу з балом інтенсивності 5. Значення ОПК на усіх інших дослідних ділянках варіює в межах від 3,4 до 3,8, тому даний тип кругообігу віднесено до загальмованого (бал інтенсивності 6) (див. табл. 1).

Підстилка соснових насаджень на відвалі характеризується різним ступенем потужності (табл. 2). Найбільший цей показник відмічено в деревостані, що росте на плато II та III берм, а найменший – на схилі II берми, відповідно, її товщина сягає 7,8 см; 7,8 см та 3,9 см, що за класифікацією

(Bogatir'ova, 1990) належать до категорій «малопотужні» та «дуже малопотужні» відповідно. Доволі високі показники даного параметру пояснюються нерозвиненим деструктивним комплексом на ділянках. Потужність підстилки в контрольному насадженні *P. pallasiana* дендрарія КБС належить до категорії «дуже малопотужні» (4,2 см).

Таблиця 2. Потужність окремих горизонтів підстилок насаджень *Pinus pallasiana* D. Don, (см)
Table 2. The rating of individual litter horizons of *Pinus pallasiana* D. Don plantations, (cm)

Горизонт підстилки/ Litter horizon	Ділянки/Sites				
	Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру ПрАТ «ПівнГЗК»/ Car dump of the Pershotravnevyi quarry of PJSC "Pivnichnyi OPC"				Криворізький ботанічний сад НАНУ (контроль)/ Kryvyi Rih Botanical Garden of NASU (control)
	плато II берми/ plateau of II berm	схил II берми/ slope of II berm	плато III берми/ plateau of III berm	схил III берми/ slope of III berm	
	M ± m				
H ₀₋₁	2,3±0,08	1,1±0,09	2,1±0,07	1,8±0,08	1,6±0,04
H ₀₋₂	1,9±0,10	0,6±0,06	2,4±0,17	4,4±0,31	0,6±0,04
H ₀₋₃	3,6±0,27	2,2±0,16	3,3±0,26	–	2,0±0,06
H ₀₋₁ + H ₀₋₂ + H ₀₋₃	7,8±0,45	3,9±0,31	7,8±0,50	6,2±0,39	4,2±0,14

Примітка. M – середнє арифметичне, ±m – похибка середньої арифметичної, CV, % – коефіцієнт відхилення; «–» – означає відсутність даного горизонту на ділянці
 Note. M – average, ±m – arithmetic mean error, CV, % – coefficient of variation; "–" – means the absence of this horizon on the site

Співвідношення між прошарками підстилки є досить різними, але найбільшого розвитку в усіх досліджуваних підстилках досягає горизонт H₀₋₃ (див. табл. 2). Особливо максимальна потужність даного горизонту відмічена в підстилці на плато II і III берм відвалу (рис. 1). Саме цей трухоподібний детритний горизонт відіграє найбільшу роль для процесів ґрунтоутворення, оскільки продукти розкладу органіки, сконцентровані в ньому, здатні найшвидше включитися в кругообіг речовин. Чим більше розвинений цей горизонт, тим краще проходять процеси мінералізації у підстилці (Belova & Travleev, 1999). Найменшу потужність (2,2±0,16) третього горизонту (H₀₋₃) має підстилка на схилі II берми відвалу (рис. 1в).



Рисунок 1. Потужність горизонту H_{0-3} у підстилці *Pinus pallasiana* D. Don на автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру ПрАТ «ПівніГЗК»: А – на плато II берми, В – на плато III берми, С – на схилі II берми

Figure 1. Rating of the H_{0-3} horizon in the litter of *Pinus pallasiana* D. Don on the car dump of the Pershotravnevyy quarry of PJSC "Pivnichnyi OPC": А – on the plateau of the second berm, В – on the plateau of the third berm, С – on the slope of the second berm

Аналіз загальних запасів мортмаси (табл. 3) в досліджуваних соснових насадженнях показав, що найбільші її показники відмічені на плато II та III берм – 6216,7 і 4748,1 г/м² відповідно, а найменші – на схилі III берми відвалу – 1913,5 г/м². Проміжне положення займає насадження дендрарію КБС НАНУ, в якому запас підстилки сягає 3263,1 г/м².

Результати аналізу статистичних показників фракційного складу підстилок насаджень *P. pallasiana* залізорудного відвалу та дендрарію КБС вказують на присутність трьох шарів мінералізації: опадовий (H_{0-1}), ферментативний (H_{0-2}) і гуміфікаційний (H_{0-3}) (табл. 3). Виняток становить підстилка на схилі III берми відвалу, де взагалі відсутній третій шар. В усіх шарах мінералізації підстилки нагромадження мортмаси домінує над процесами розкладу, а період його деструкції значно зростає. Особливо сильно виражені ці процеси в нижньому шарі (H_{0-3}) мінералізації підстилки.

В опаді на схилі II берми відвалу домінує активна фракція хвої – 296,8±33,2 г/м², але у зіставленні з іншими дослідними підстилками, має найменший показник за цим параметром. Частки фракцій гілок і кори порівняно однакові – 14,1±6,3 і 10,1±3,6 г/м² відповідно (див. табл. 3). Аналіз фракційного складу підстилки в насадженнях *P. pallasiana* на плато II берми відвалу Першотравневого кар'єру показує, що в опаді відмічаються найвищі біомасові показники, порівняно з іншими ділянками, фракцій хвої та шишок – 633,2±41,3 і 550,2±76,5 г/м² відповідно (табл. 3).

Висока маса переддетритної фракції та детриту в умовах техногенезу свідчить про пригнічення деструкційних процесів та порушення балансу надходження і розкладання органічної речовини. У компонентному складі опадку на схилі III берми відвалу основна маса припадає на фракції не розкладена хвоя (426,3±46,8 г/м²) і гілки (50,8±16,2 г/м²).

Таблиця 3. Склад підстилки в насадженнях *Pinus pallasiana* D. Don на автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру ПрАТ «ПівнГЗК» (абсолютно суха речовина, г/м²)

Table 3. Litter composition in *Pinus pallasiana* D. Don plantations on the car dump of Pershotravnevyyi quarry of PJSC “Pivnichnyi OPC” quarry (absolutely dry matter, g/m²)

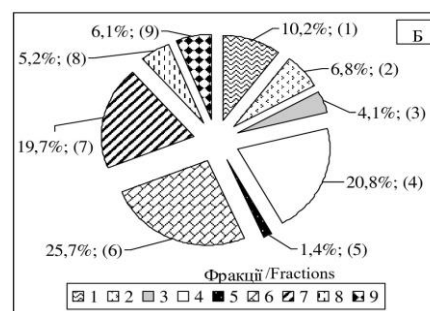
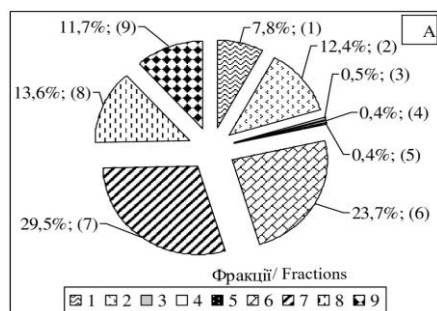
Фракційний склад підстилки Fractional composition of litter	Горизонт Horizon	Схил II берми slope of II berm		Плато II берми plateau of II berm		Плато III берми plateau of III berm		Схил III берми slope of III berm		КБС НАН України (контроль)/KVG of the NASU (control)	
		M ± m	CV, %	M ± m	CV, %	M ± m	CV, %	M ± m	CV, %	M ± m	CV, %
Хвоя (нерозкладена)/ Needles (undecomposed)	H ₀₋₁	296,8±33,2	35,3	633,2±41,3	20,6	561,6±53,3	30,0	426,3±46,8	34,8	510,2±32,0	19,8
Гілки/Branches		14,1±6,3	141,6	126,8±25,6	63,8	45,4±11,3	78,7	50,8±16,2	100,9	91,4±18,6	64,3
Шишки/Cones		8,9±5,8	204,1	550,2±76,5	44,0	371,7±106,2	90,4	26,7±10,9	128,8	107,7±28,2	82,7
Кора/Bark		10,1±3,6	112,7	19,9±5,8	92,3	20,1±5,3	84,3	25,2±6,9	86,2	25,5±5,6	69,6
Напіврозкладена хвоя/ Semi-decomposed needles	H ₀₋₂	475,1±93,9	62,5	423,1±42,3	31,6	691,9±137,0	62,6	1187,3±140,6	37,5	357,9±22,6	20,0
Гілки/Branches		4,5±2,1	147,6	55,3±23,0	131,6	36,5±12,4	107,4	68,5±19,7	91,0	35,7±10,1	89,2
Шишки/Cones		5,1±4,4	275,7	248,4±70,0	89,1	214,8±57,5	84,7	43,0±16,8	123,3	22,6±6,4	89,5
Кора/Bark		4,0±1,4	106,2	26,3±6,5	77,8	18,2±7,6	131,8	85,7±25,1	92,5	41,8±6,6	50,1
Гілки/Branches	H ₀₋₃	2,3±1,1	149,1	72,0±27,2	119,4	30,0±9,7	102,5	–	–	37,4±9,7	82,3
Шишки/Cones		0,3±0,2	212,1	496,4±103,1	65,7	124,8±53,1	134,5	–	–	68,3±17,3	80,3
Кора/Bark		2,1±1,1	170,8	38,8±6,8	55,0	20,2±4,0	63,1	–	–	42,5±9,8	72,8
Великі фрагменти/ Large fragments		904,1±228,6	79,9	1599,0±262,2	51,9	869,2±156,2	56,8	–	–	481,1±98,4	64,7
Середні фрагменти/ Medium fragments		1124,9±245,4	68,9	1221,6±78,2	20,2	1038,4±109,6	33,4	–	–	1131,9±176,0	49,2
Малі фрагменти/ Small fragments		517,7±117,4	71,7	325,2±68,6	66,7	322,2±62,5	61,3	–	–	184,8±27,2	46,6
Дерит/Detritus		446,8±79,8	56,5	380,5±25,5	21,5	383,1±76,1	62,8	–	–	124,3±21,6	54,9
Загальна мортмаса/ Total mortmass		3816,8		6216,7		4748,1		1913,5		3263,1	

Примітка. M – середнє арифметичне, ±m – похибка середньої арифметичної, CV, % – коефіцієнт відхилення

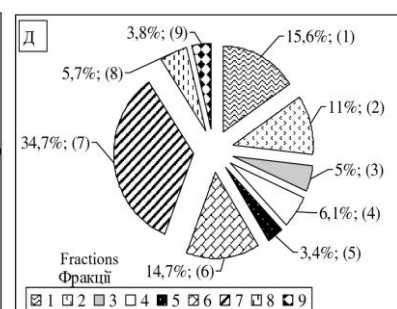
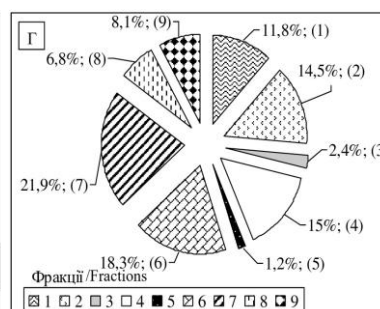
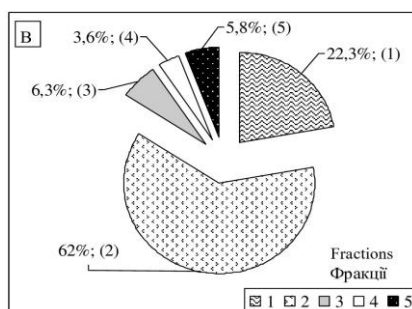
Note. M – average, ±m – arithmetic mean error, CV,% – variation coefficient

Цифрові величини і відсоткова участь таких фракцій, як шишки і кора у формуванні підстилки є дуже близькими: $26,7 \pm 10,9$ г/м² (1,4%) і $25,2 \pm 6,9$ г/м² (1,3%) відповідно. Оскільки, як було вище відмічено, у підстилці цієї ділянки відсутній найнижчий шар Н₀₋₃, тому фракція напіврозкладеної хвої має максимальні значення серед усіх інших дослідних ділянок і становить $1187,3 \pm 140,6$ г/м² (див. табл. 3). В соснових насадженнях на плато III берми залізородного відвалу основну частку опадів становлять фракції не розкладеної хвої і шишок – відповідно $561,6 \pm 53,3$ та $371,7 \pm 106,2$ г/м², що становить % від загальної маси. Доволі високі значення фракції напіврозкладеної хвої в горизонті Н₀₋₂ – $691,9 \pm 137,0$ г/м². На умовно контрольній ділянці (дендрарій КБС) найбільший вклад у фракційний склад опадів створюють фракції хвої (510,2±32,0 г/м²), шишок (107,7±28,2 г/м²) і гілок (91,4±18,6 г/м²) (див. табл. 3).

Вивчення фракційного складу підстилки за допомогою сита показало, що в ній переважають фрагменти розміром від 0,5 до 5 см, участь яких найбільша у підстилці на схилі II берми відвалу – 78,5% (рис. 2, А).



Схил II берми
плато II берми
автомобільного відвалу Першотравневого кар'єру ПрАТ «ПівнГЗК»



Схил III берми
Плато III берми
КБС НАНУ (контроль)
автомобільного відвалу Першотравневого
кар'єру ПрАТ «ПівнГЗК»

Рисунок 2. Фракційний склад підстилок насаджень *Pinus pallasiana* D. Don, участь, %, фракції: 1 – нерозкладена хвоя, 2 – напіврозкладена хвоя, 3 – гілки, 4 – шишки, 5 – кора, 6 – великі фрагменти, 7 – середні фрагменти, 8 – малі фрагменти, 9 – детрит

Figure 2. Fractional composition of *Pinus pallasiana* D. Don plantings, participation, %, fractions: 1 – undecomposed needles, 2 – semi-decomposed needles, 3 – branches, 4 – cones, 5 – bark, 6 – large fragments, 7 – medium fragments, 8 – small fragments, 9 – detritus

Фракція нерозкладеної хвої максимальною є на схилі III берми відвалу – 22,3%, а мінімальною – на схилі II берми (7,8%). Частки відпаду гілок, опадів хвої і шишок в загальній мортмасі помітно варіювали в насадженнях. Найменшою була частка кори, яка в деревостанах на відвалі варіювала від 0,4 до 5,8%. Участь відпаду гілок змінювалася в цих насадженнях у межах від 0,5 до 6,3%. Показники для опадів хвої і шишок варіювали в межах від 7,8 до 22,3% та від 0,4 до 20,8% відповідно. У соснових насадженнях дендрарію розподіл мортмаси був наступним: відпад гілок – 5,0%, опад хвої і шишок – 15,6% та 6,1% відповідно (див. рис. 2).

У структурі всіх досліджуваних підстилок більшу питому вагу складає її активна фракція – від 74% до 98,7% (рис. 3). Відповідно, на неактивну фракцію підстилки припадає від 1,3% до 26% від загальних запасів мортмаси підстилки досліджуваних ділянок. У структурі опадів природних лісів переважає активна фракція, яка становить понад 65% від загальної маси (Bobkova, 2000). За іншими літературними даними (Didukh, 2005), листовий опад становить 30–35 ц/га, а в окремих місцях досягає до 60 ц/га, що складає 30–60% від повного опадів в лісах. Разом з тим, активна фракція характеризується різною інтенсивністю розкладу.

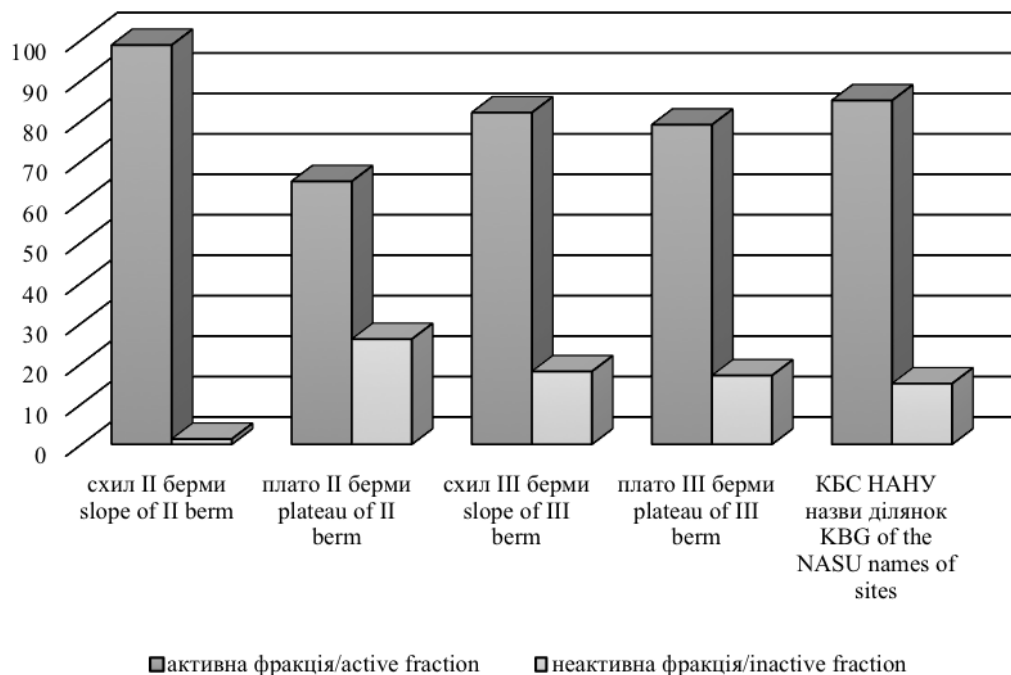


Рисунок 3. Співвідношення активної та неактивної фракцій підстилки насаджень *Pinus pallasiana* D. Don, % від загальних запасів мортмаси

Figure 3. The ratio of active and inactive fractions of litter of *Pinus pallasiana* D. Don, % of total mortmass stocks

Кількість підстилки, як і опаду, в лісових екосистемах змінюється в широких межах. Так, у бореальних лісах запаси підстилки становлять від 15 до 78 т/га (Bienkovskiy et al., 2003), у хвойних лісах Євразії – 10–70 т/га (Rodin & Vazilevich, 1965). В Українських Карпатах у поясі смерекових лісів Чорногори запаси підстилки становлять 10–30 т/га, в окремих угрупованнях сягаючи 50 т/га і більше (Chornobay, 2000). За літературними даними М. І. Гордієнка (Hordiienko et al., 2002), у чистих насадженнях сосни звичайної в рівнинних умовах запас підстилки становить 25,0 т/га⁻¹. За даними В. В. Міндера (Minder, 2016), середня та нижня частини схилу стрімкістю 10° мають приблизно однакові показники запасу підстилки із рівнинними умовами (відповідно 25,2 і 24,9 т/га⁻¹), а у верхній частині схилу встановлено менший запас підстилки – 20,9 т/га⁻¹. Окрім того, запас підстилки залежить від кліматичних факторів, мікробіологічного та зоологічного компонентів. Запас підстилки в певний момент є результатом балансу двох протилежно спрямованих процесів – накопичення кількості органічних решток на поверхні ґрунту за рахунок опадання та деструкції фітомаси з подальшим переходом органічних та мінеральних речовин до складу ґрунту (Vyshenska et al., 2009). За рахунок опаду відбувається цілорічне збагачення верхніх шарів ґрунту зольними елементами, а його зольна частина підсилює потенційну стабільність підстилки (Shchenina, 1989). У формуванні запасів підстилки в соснових насадженнях на залізородному відвалі відіграє вік, повнота, щільність зростання, місце-знаходження та продуктивність.

Відправним моментом оцінювання швидкості біоциркуляції є свіжий опад, з якого починається процес детритної трансформації. Накопичення і розкладання органічної речовини на поверхні ґрунту – основні процеси, що визначають гумусоаккумуляцію, надходження і міграцію мінеральних речовин у соснових насадженнях. Причому кожна наступна взаємодія неможлива без попередніх процесів. Специфікою є те, що попередні етапи трансформації відбуваються у вище розташованих структурах підстилкового профілю (Grishina, 1983; Chornobay, 2000). Кожен із шарів підстилки є дискретним утворенням із повними фізичними, хімічними й біотичними властивостями (Chornobay, 2000). Це відбувається із підстилкою в соснових насадженнях на залізородному відвалі. Наявність детриту свідчить, що в умовах відвалу підстилка відіграє важливу роль в первинних ґрунтоутворюючих процесах.

Висновки/Conclusions. Насадження *P. pallasiana* на залізородному відвалі Криворіжжя формують значні запаси підстилки, а таким чином і органічної речовини, тим самим істотно поліпшуючи еколого-едафічні умови для розвитку біогеоценологічних процесів в цих докорінно змінених техногенних екотопах.

Накопичення мортмаси в соснових насадженнях відбувається з різною інтенсивністю – найбільше на плато II та III берм – 6216,7 і 4748,1 г/м² відповідно, а найменша – на схилі II берми – 1913,5 г/м². Підстилка в 40-річних соснових насадженнях на відвалі має тришарову будову і тільки на схилі III берми двошарова, характеризується різним ступенем потужності: від 7,8 см на плато II та III бермах до 3,9 см на схилі II берми. У формуванні підстилки найбільший вклад вносять фрагменти розміром від 0,5 до 5 мм, доля яких може становити 78,5%. Фракція нерозкладеної хвої варіює від 7,8% до 22,3%, а доля гілок, шишок і кори становить: 0,5%, 0,4% і 0,4% відповідно. Основну частину запасів усіх досліджуваних підстилок в насадженнях *P. pallasiana* складає активна фракція – від 74% до 98,7%.

Список посилань/References

- Chornobay, Yu. M. (2000). *Transformatsiia roslynnoho detrytu v pryrodnykh ekosystemakh*. L'viv: vyd-vo DPM NAN Ukrainy. 352 p. (in Ukrainian).
- Belova, N. A. & Travleev, A. P. (1999). *Estestvennye lesa i stepnye pochvy*. Izd. Dnepr. un-ta. 344 p. (in Russian).
- Bienkovskiy, P., Titlianova, A. A. & Shibareva, S. V. (2003). Transformatsionnye protsessy v podstilkakh boreal'nykh lesov. *Siberian Journal of Ecology*. Vol. 10, No 6. P. 707–713. (in Russian).
- Bobkova, K. S. (2000). Rol' lesnoy podstilki v funktsionirovanii khvoynykh ekosistem Evropeyskogo Severa. *NIA-Priroda Natsional'nyy portal «Priroda Rossii»*. 4 p. (in Russian).
- Bogatyrev, L. G. (1990). O klassifikatsii lesnykh podstilk. *Pochvovedenie*. Vyp. 3. P. 118–127. (in Russian).
- Didukh, Ya. P. (2005). Theoretical approaches for the creation of ecosystems' classification. *Ukrainian Phytosociological Collection*, Ser. C. Vyp. 1(23). P. 3–15. (in Ukrainian with English abstract).
- Gorshenin, N. M., & Shvidenko, A. I. (1977). *Lesovodstvo*. L'vov: Vishcha shkola. 304 p. (in Russian).
- Grishina, L. A. (1983). Rol' podstilki kak geneticheskogo gorizonta. *Rol' podstilki v lesnykh biogeotsenozakh*. Moskva: Nauka. P. 47–48. (in Russian).
- Hordiienko, M. I. & Karpenko, V. I. (1996). *Lypa dribnolysta ta kul'tury za ii uchastiu*. Kyiv: Sil'hosposvita. 224 p. (in Ukrainian).
- Hordiienko, M. I., Shlapak, V. P., Hoychuk, A. F., Rybak, V. O., Maurer, V. M., Kovalevs'kyu, S. B. & Hordiienko, N. M. (2002). *Kul'tury sosny zvychaynoi v Ukraini*. Kyiv: Vyd-vo IAE UAAN. P. 669–673. (in Ukrainian).
- Karpachevskiy, L. O. & Kiseleva, N. K. (1968). O metodike ucheta opada i lesnoy podstilki v smeshannykh lesakh. *Lesovedenie*. No 3. P. 73–79. (in Russian).
- Korshikov, I. I. & Krasnoshtan, O. V. (2012). *Zhiznesposobnost' drevesnykh rasteniy na zhelezorudnykh otvalakh Krivorozh'ia*. Donetsk. 280 p. (in Russian).
- Kovalenko, A. I. (1968). *Pochvozashchitnye svoystva i rost dubrav «Chernogo lesa» na chernozemnykh pochvakh: diss. kand. s.-kh. nauk: spets. 28.02*. Kiev. 283 p. (in Russian).
- Krylov, Ya. I. (2013). Meliorative characteristics of forest litter of oak erosion stands. *Scientific Bulletin of UNFU*. Vol. 23.17. P. 43–48. (in Ukrainian with English abstract).
- Lukaniuk, M. I. (2013). *Farmakohnostychnе doslidzhennia roslyn rodu Tilia L.: avtoref. dys. ... kand. farmats. nauk: 15.00.02. Kh. 26 p.* (in Ukrainian).

- Lukina, N. V. & Nikonov, V. V. (1998). *Pitatel'nyy rezhim lesov severnoy taygi: prirodnye i tekhnogennyye aspekty*. Apatity: KNTs RAN. 316 p. (in Russian).
- Meentmeyer, V., Box, E. & Thompson, R. (1982). World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. *BioScience*. Vol. 32. P. 125–128.
- Minder, V. V. (2016). Anti-erosion litter properties of park plants in complex terrain. *Scientific Bulletin of UNFU*. Vol. 26.5. P. 92–97. DOI: 10.15421/40260513. (in Ukrainian with English abstract).
- Rodin, L. E. & Bazilevich, N. I. (1965). *Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskyy krugovorot zol'nykh elementov i azota v osnovnykh tipakh rastitel'nosti zemnogo shara*. Moskva-Leningrad: Nauka. 253 p. (in Russian).
- Rozhak, V. & Kozlovskiy, V. (2013). The amount and metals content of litter and litterfall in forest ecosystems of the Carpathians (Ukrainian Carpathians). *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*. Issue 62. P. 160–169. (in Ukrainian with English abstract).
- Pylypenko, O. I., Yukhnovskyy, V. Yu. & Vedmid', M. M. (2004). *Systemy zakhystu gruntiv vid erozii: pidruch.* Kyiv: Zlatoiar. 434 p. (in Ukrainian).
- Pylypenko, O. I., Yukhnovskyy, V. Yu., Dudarets', S. M., & Maliuha, V. M. (2010). *Lisovi melioratsii: pidruchnyk*. Kyiv: Ahrarna osvita. 283 p. (in Ukrainian).
- Seheda, Yu. Yu. (2017). Morphological and fractional composition and stocks of oak forest litter in the forest fund of Smila state forestry enterprise. *Scientific Bulletin of UNFU*. Vol. 27.4. P. 75–78. DOI: 10.15421/40270416. (in Ukrainian with English abstract).
- Shchenina, T. G. (1989). *Geneticheskie osobennosti lesnykh podstilok v el'nikakh iuzhnoy i sredney taygi Evropeyskoy territorii Soiuza: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk*. Moskva. 17 p. (in Russian).
- Shmidt, V. M. (1980). *Statisticheskie metody v sravnitel'noy floristike*. Leningrad: Izd-vo Leningr. gos. un-ta. 175 p. (in Russian).
- Sizer, N. C., Tanner, E. V. J. & Kossman, I. D. (2000). Ferraz Edge effects on litterfall mass and nutrient concentrations in forest fragments in central Amazonia. *J. Tropical Ecol.* Vol. 16. P. 853–863.
- Smetana, A. N., Jarotchuk, J. V., Dolina, A. A., & Mykhailenko I. L. (2012). Spatial differentiation of post-industrial landscape ecological potential (waste dump of “Pershotravnevyi” quarry of JSC “Northern Mining Combine Plant”). *Problems of bioindications and ecology*. Vol. 17. No 1. P. 35–55. (in Ukrainian with English abstract).
- Svyrydenko, V. Ie., Babich, O. H. & Kyrychok, L. S. (2005). *Lisivnytstvo: pidruchnyk*. 2-e vyd. Za red. V. Ie. Svyrydenka. Kyiv: Aristey. 544 p. (in Ukrainian).
- Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M. (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystem*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 372 p.
- Vorobeychik, E. L. (1997). K metodike izmereniia moshchnosti lesnoy podstilki dlia tseyly diagnostiki tekhnogennykh narusheniy ekosistem. *Ekologiya*. No 4. P. 263–267. (in Russian).
- Vyshenska, I. G., Didukh, Ya. P., Skidanova, A. A., & Alioshkina U. M. (2009). Comparative study of the forest bedding energy storage of coniferous and deciduous phytocenosis. *NaUKMA Research Papers. Biology and Ecology*. Vol. 93. P. 40–44. (in Ukrainian with English abstract).
- Vysotskiy, G. N. (1950). *Uchenie o vliianii lesa na izmenenie sredy ego proizrastaniia i na okruzhaiushchee prostranstvo. Ch. 3: (Uchenie o lesn. pertinentsii)*. Moskva-Leningrad: Izd-vo «Goslesbumizdat». 104 p. (in Russian).
- Yukhnovskyy, V. Yu., Dudarets', S. M. & Maliuha, V. M. (2012). *Ahrolisomelioratsiia: pidruch.* Kyiv: Kondor-Vydavnytstvo. 372 p. (in Ukrainian).
- Zaytsev, G. N. (1990). *Matematika v eksperimental'noy botanike*. Moskva: Nauka. 296 p. (in Russian).
- Zhytska, N. V. (2009). Seasonal dynamics of chemical elements in the ground litters of natural forests. *“Gruntoznavstvo” (Soil Science)*. Vol. 10. No 3–4. P. 50–57. (in Ukrainian with English abstract).