

**С. Г. Сидоренко<sup>1</sup>, В. О. Корсовецький<sup>1</sup>, П.П. Яворовський<sup>2</sup>,  
Р. В. Гуржій<sup>2</sup>, С. В. Сидоренко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Український ордена "Знак пошани" науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

## **ФОРМУВАННЯ КОМПЛЕКСІВ НАЗЕМНИХ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ У СОСНОВИХ ЛІСАХ БАЙРАЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

Охарактеризовано основні елементи та закономірності формування комплексів лісових горючих матеріалів у соснових насадженнях Байрачного Степу. Дослідження проведено у чистих одновікових сосняках різного віку, що ростуть у сухих та свіжих борах на території ДП «Лиманське ЛГ» та «ДП Кремінське ЛГ». Під час дослідження оцінено запаси наступних компонентів комплексу горючих матеріалів: лісової підстилки за шарами мінералізації (опадовий, ферментативний, гуміфікований), деревної ламані за фракціями товщини (1hr, 10hr, 100hr, 1000hr); живих (вегетуючих) та відмерлих горючих матеріалів (надгрунтового покриву, підросту та підліску). Встановлено, що у соснових насадженнях, накопичуються значні запаси підстилки – від 12,28 до 60,68 т/га. Товщина підстилки варіює від 3 до 9 см. За допомогою алгоритму XGBoost виявлено, що на варіацію запасів лісової підстилки найбільший вплив має санітарний стан насадження, вік, повнота та середньозважений клас Крафта. Виявлено, що гігротоп (сухі та свіжі типи умов) не мав суттєвого впливу на загальні запаси лісової підстилки, ключову роль відігравали лісівничо-таксаційні показники. З'ясовано, що запаси деревної ламані (FWD) варіюють – від 1,4 до 6,6 т/га. Запаси FWD у соснових лісостанах коливалися у межах 1,4 – 6,6 т/га. Запас шишок у складі опаду варіював у межах 0,10-6,45 т/га. Запас валіжника був не рівномірним і зустрічався лише у деяких насадженнях, його запас не перевищував 2,9 т/га. Встановлено, що на варіацію FWD найбільший вплив має повнота насадження, запас та санітарний стан. Так, запаси FWD збільшуються із збільшенням запасу насадження, підвищенням повноти та погіршенням санітарного стану насадження. Виявлено, що у соснових насадженнях зі зниженням повноти та зімкнутості насадження накопичуються значні запаси ЖНП – від 0 до 3,7 т/га. Висота ЖНП сягає 0,6 м та коливається у межах 10-60 см. Проективне покриття трав'яної рослинності у низькоповнотних насадженнях сягає 70%, у насадженнях з повною понад 0,8 трав'яна рослинність відсутня. Запас трав'яної рослинності має прямий негативний кореляційний зв'язок з повнотою насадження ( $r = -0,3$ ), запасом насадження ( $r = -0,56$ ). Отже, запаси трав'яної рослинності збільшуються у низькоповнотних та низькопродуктивних насадженнях. Запаси підросту та підліску мають схожу тенденцію – прямий негативний зв'язок з повнотою насадження ( $r = -0,74$ ), середньозваженим класом Крафта ( $r = -0,48$ ) та прямий кореляційний зв'язок із віком насадження ( $r = 0,71$ ).

<sup>1</sup>Сидоренко Сергій Григорович, канд. с.-г. наук, старший дослідник, завідувач сектору екології лісу. E-mail: [serhii88sido@gmail.com](mailto:serhii88sido@gmail.com); orcid: 0000-0002-5972-0067;

<sup>1</sup>Корсовецький Володимир Олександрович, аспірант. E-mail: [Ratamonw@gmail.com](mailto:Ratamonw@gmail.com);

<sup>2</sup>Яворовський Петро Петрович, д-р. с.-г. наук, професор, професор кафедри лісівництва. E-mail: [p.p.iavorovskiy@nubip.edu.ua](mailto:p.p.iavorovskiy@nubip.edu.ua);

<sup>2</sup>Гуржій Роман Віталійович, здобувач. E-mail: [Hurzii@i.ua](mailto:Hurzii@i.ua); orcid: 0000-0003-3777-749X;

<sup>1</sup>Сидоренко Світлана Вікторівна, канд. с.-г. наук, с. н. с. E-mail: [svit23sydorenko@gmail.com](mailto:svit23sydorenko@gmail.com); orcid: 0000-0003-1426-7614

*Встановлені особливості комплексу ЛГМ сосняків Байрачного Степу будуть використані для розробки регіональних моделей горючих матеріалів та регіональних мап ЛГМ.*

**Ключові слова:** лісові горючі матеріали; лісова підстилка; пожежна небезпека лісу; деревна ламань.

**Вступ.** У зв'язку з наростаючим тиском комплексу кліматичних та соціально-економічних чинників у світі спостерігається суттєве підвищення пожежних ризиків, що актуалізує проведення глибоких пірологічних досліджень. Лісова пірологія в Україні все ще знаходиться на стадії формування. Наявні лише фрагментарні дослідження щодо пожежних режимів, оцінювання наслідків пожеж та пожежних ризиків. Моделювання поведінки пожеж опирається на дані про кількісні та якісні характеристики ЛГМ, рельєф і кліматичні умови. В Україні дослідження ЛГМ мають обмежений характер (різні лісорослинні умови, використання різних методик тощо). Дослідження особливостей формування комплексів наземних ЛГМ (лісова підстилка, опад, деревна ламань, надґрунтовий покрив, підріст та підлісок) дасть змогу більш вичерпно оцінити пожежну небезпеку ділянок лісового фонду; створити набори моделей ЛГМ та прогнозувати поведінку пожеж і потенційні післяпожежні ризики (інтенсивність відпаду дерев, імовірність заселення стовбуровими шкідниками тощо).

*Об'єкт дослідження:* кількісні та якісні показники лісових горючих матеріалів наземною групи у соснових лісах Байрачного Степу.

*Предмет дослідження:* особливості формування комплексів лісових горючих матеріалів у соснових лісах.

*Завдання дослідження* – виявити тенденції у накопиченні запасів лісових горючих матеріалів залежно від лісорослинних умов та віку сосняків.

Мета роботи – дослідити особливості формування комплексів наземних горючих матеріалів у соснових лісах Байрачного Степу України.

**Матеріали і методи.** Дослідження проведено у чистих одновікових сосняках різного віку, що ростуть у сухих та свіжих борах та суборах на 16 постійних пробних площах, закладених у Ямпільському лісництві ДП «Лиманське ЛГ» та Борівському лісництві «ДП Кремінське ЛГ» (табл. 1).

Облік підстилки на кожній пробній площі проводили на 9 площадках площею 1 м<sup>2</sup>, адже відомо, що розподіл лісової підстилки у насадженні є дуже нерівномірним та залежить від мікрорельєфу, віддаленості від стовбура тощо (Voron et al., 2019; Voron et al., 2018a; Voron et al., 2018b; Sydorenko, 2019).

Зібрану підстилку розподіляли за шарами мінералізації. Запаси підстилки визначали за методикою Л. Є. Родіна (Rodin & Bazilevich, 1965).

## Характеристика чистих сосняків на ПП

ПП	Вік, років	Едактоп	d, см	Висота, м	Повнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Клас Крафта	Висота початку крони, м
2	60	A1	17	18,5	0,45	78	2,0	10,9
3	60	A1	26,1	19,4	0,65	130	2,1	15,3
4	72	A1	28,2	18,6	0,7	170	2,8	9,0
8	101	A1	22,5	21,7	0,8	290	2,1	16,0
1	135	A1	51,2	23,5	0,5	210	1,9	12,6
14	20	A2	9,6	10,8	0,8	50	2,6	3,6
16К	28	A2	18	13,5	0,8	135	2,3	6,9
9	40	A2	12,9	13,1	0,7	110	2,4	7,0
10	55	A2	21,1	17,7	0,8	140	2,3	11,7
11	55	A2	20	15,5	0,8	150	2,3	10,3
12	70	A2	20,7	21,1	0,85	335	2,3	15,1
15К	83	A2	26,6	23	0,8	256	2,2	9,4
13	115	A2	33,8	24	0,7	280	2,2	13,2
6	120	A2	40,8	22,2	0,5	210	2,0	13,2
7	120	A2	36,1	24,5	0,6	250	2,0	16,1
5	135	A2	38,1	29,3	0,45	190	1,4	19,6

Вологість і щільність підстилки за шарами може сильно відрізнятись, тому відібрані зразки розподіляли за шарами мінералізації: опадовим – *L*; ферментативним – *F*; та гуміфікованим – *H* [Chornobay, 2000]. З кожної пробної площі відібрано середні зразки за шарами, висушено до повітряно-сухого стану та вилучено пісок. Після камерально-лабораторних робіт обраховані запаси лісової підстилки у перерахунку на 1 га площі. Облік та оцінювання запасів живого надґрунтового покриву, підросту та підліску, а також деревної ламані за фракціями: *1hr*, *10hr*, *100hr*, *1000hr* проводили за методикою *FIREMON* [Lutes et al., 2006].

Під час аналізу даних використано стандартні методи варіаційної статистики, регресійного та кореляційного аналізу. Для встановлення значимості окремих чинників на зміну запасів ЛГМ використано *XGBoost* алгоритм (екстремальний градієнтний бустинг) реалізований на мові програмування *R*.

**Аналіз літературних джерел.** За М. П. Курбатським (Kurbatskiy, 1970) лісовими горючими матеріалами є рослини та їхні залишки різного ступеня розкладання, які можуть горіти під час пожеж. У чистих сосняках основним та найбільш легкозаймистим горючим матеріалом є лісова підстилка та відмерла трав'яна рослинність (Levchenko et al., 2015). Температурний режим горіння лісової підстилки залежить від її товщини, маси, вологості, щільності (об'ємна маса) та безперервності її покриву (Levchenko et al., 2015). Найбільш важливими якісними характеристиками, що впливають на режим горіння лісових горючих матеріалів є їх вологість (Nesterov, 1945), щільність (Kurbatskiy, 1970) та запас. Нині в Україні активно досліджують різні групи лісових горючих матеріалів. Лабораторією екології лісу досліджено тенденції у накопиченні наземних ЛГМ

у вологих борах та суборах Українського Полісся [Voron et al., 2018] та Лівобережного Лісостепу (Sydorenko, 2019). Науковцями Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіПУ) проведено аналогічні дослідження у поліських соснових лісах (Zibtsev et al., 2018). Лабораторією лісової пірології Національного університету біоресурсів і природокористування України (Hurzhii & Yavorovsky, 2018) розпочато створення комплексного пірологічного геопорталу для лісів українського Полісся з ціллю моделювання поведінки пожеж, попереднього оцінювання наслідків пожеж і визначення природної пожежної небезпеки. Одним із основних наборів вхідних даних є актуальна інформація щодо стану ЛГМ на конкретній лісовій ділянці. З огляду на це, отримання інформації щодо ЛГМ у лісах, що ростуть в інших природних зонах (Лісостепу та Степу), та в подальшому створення на базі досліджень регіональних моделей рослинних горючих матеріалів є актуальною проблемою, вирішення якої дасть змогу у майбутньому прогнозувати поведінку пожеж на всій території України.

**Результати досліджень та їх обговорення.** У результаті проведеного аналізу абсолютно-сухих зразків лісової підстилки встановлено, що у соснових насадженнях (табл. 2), накопичуються значні запаси підстилки – від 12,28 до 60,68 т/га. Товщина підстилки варіювала від 3 до 9 см. Запас підстилки збільшувався з віком насадження ( $r=0,6$ ;  $p=0,05$ ) (табл. 2).

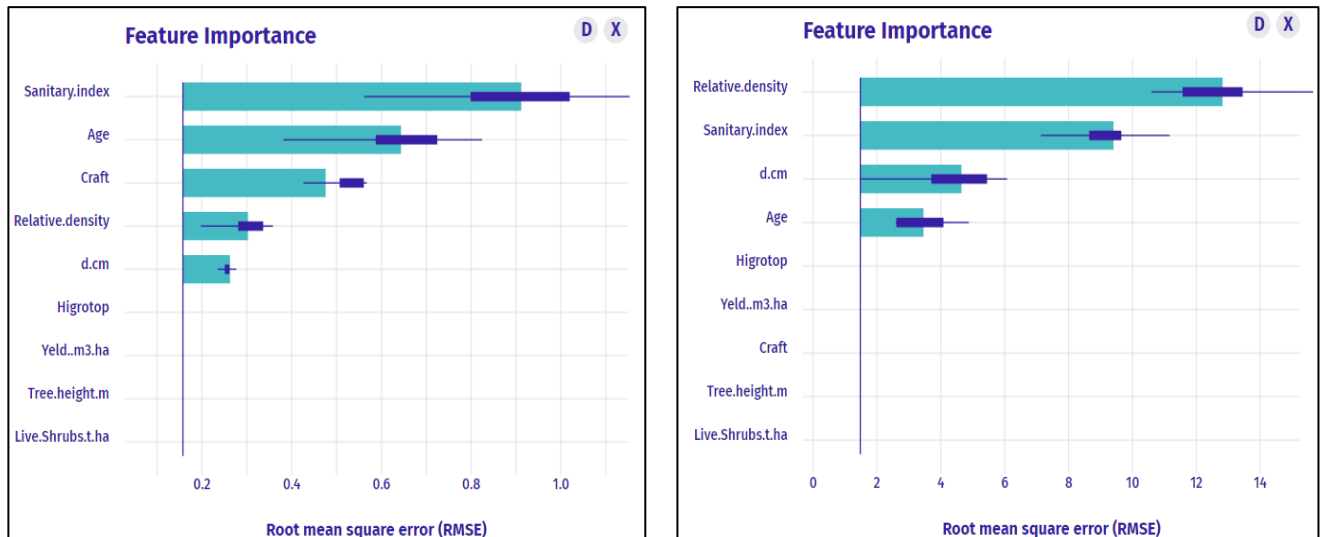
Таблиця 2

**Запас і потужність лісової підстилки у чистих сосняках свіжих та сухих борів ДП «Лиманське ЛГ» та ДП «Кремінське ЛГ»**

ПП	Вік, років	Товщина, см					Запас, т/га				
		L	F	H	F+H	Загалом	L	F	H	F+H	Загалом
1	135	1,24	1,34	3,50	4,85	6,09	2,15	5,35	18,46	23,80	25,95
2	60	1,00	0,80	1,20	2,00	3,00	1,77	4,19	6,32	10,51	12,28
3	60	2,33	2,60	4,07	6,67	9,00	2,02	9,49	25,07	34,56	36,58
4	72	1,00	2,17	3,17	5,33	6,33	5,31	15,26	40,10	55,37	60,68
5	135	1,73	1,83	2,90	4,73	6,47	4,20	11,15	33,42	44,56	48,76
6	120	0,70	1,50	2,50	4,00	4,70	4,28	10,17	48,27	58,43	62,71
7	120	0,50	1,00	2,50	3,50	4,00	5,20	7,81	27,12	34,93	40,14
8	101	1,00	1,50	3,00	4,50	5,50	5,14	7,76	36,95	44,71	49,85
9	40	2,00	1,50	1,50	3,00	5,00	3,73	8,35	21,39	29,74	33,47
10	55	0,80	1,50	2,50	4,00	4,80	5,30	11,25	24,29	35,54	40,84
11	55	0,90	1,50	2,40	3,90	4,80	2,74	11,86	22,71	34,58	37,32
12	70	0,88	1,38	2,25	3,63	4,50	4,37	7,71	37,21	44,92	49,29
13	115	0,83	1,67	2,50	4,17	5,00	4,77	13,83	34,22	48,05	52,82
14	20	0,70	2,20	0,58	2,78	3,48	1,74	16,97	6,33	23,30	25,04
1ЛГМ	83	0,80	1,60	2,00	3,60	4,40	3,39	9,54	13,39	22,94	26,32
2ЛГМ	28	0,90	3,10	0,50	3,60	4,50	4,20	15,80	1,80	17,60	21,80

Для встановлення значимості окремих чинників на зміну запасів лісової підстилки використано *XGBoost* алгоритм виявлено, що на варіацію запасів опадового шару найбільший вплив має санітарний стан насадження, вік, повнота та середній клас Крафта. На варіацію запасів нижніх шарів підстилки найбільший мали повнота насадження, санітарний стан, середній діаметр насадження та вік (рис. 1). Гігротоп (сухі та свіжі типи умов) не мав суттєвого

впливу на загальні запаси лісової підстилки, ключову роль відігравали лісівничо-таксаційні показники.



**Рис. 1. Результати роботи алгоритму XGBoost з пошуку найбільш значимих змінних, що мають вплив на варіацію запасів підстилки (ліворуч – опадового шару; праворуч – ферментативного та гуміфікованого)**

У результаті проведеного аналізу польових даних встановлено, що у соснових насадженнях (табл. 3), запаси деревної ламані варіюють – від 1,4 до 6,6 т/га. Запаси FWD у сухих умовах коливалися у межах 1,4 – 6,6 т/га; свіжих 1,4-5,6 т/га. Запас шишок у складі опаду варіював у межах 0,1-6,45 т/га. Запас валіжника був не рівномірним і зустрічався лише у деяких насадженнях, його запас не перевищував 2,9 т/га.

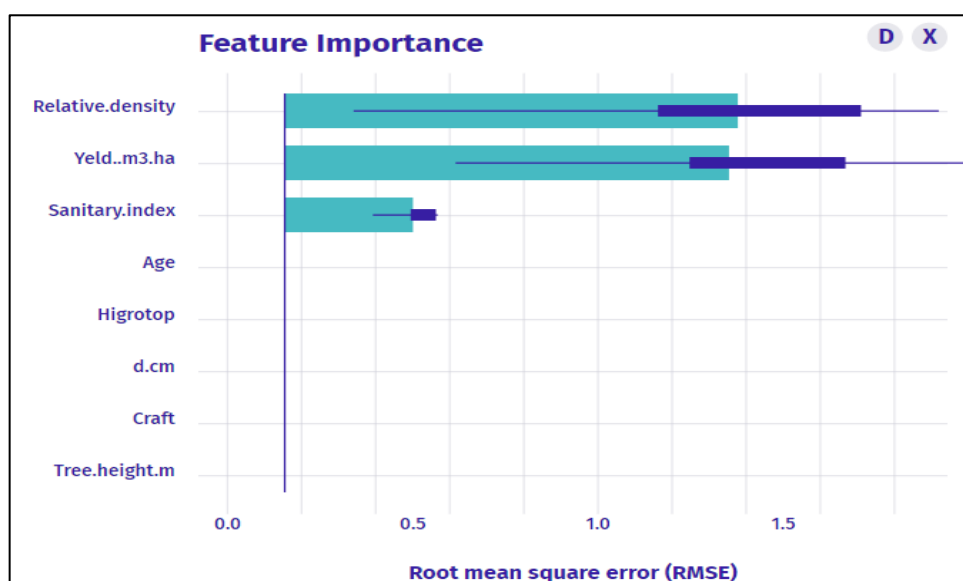
Виявлено, що на варіацію FWD найбільший вплив має повнота насадження, запас та санітарний стан. Так, запаси FWD збільшувалися із збільшенням запасу насадження, повноти та погіршенням санітарного стану насадження.

Вік, гігротоп, усереднений клас Крафта не мають суттєвого впливу на запас FWD (рис. 2).

Виявлено, що у соснових насадженнях (табл. 4) зі зниженням повноти та зімкнутості насадження накопичуються значні запаси ЖНП – від 0 до 3,7 т/га.

**Запас деревної ламані у чистих сосняках свіжих та сухих борів  
ДП «Лиманське ЛГ» та ДП «Кремінське ЛГ»**

ПП	Вік, років	Гігротоп	Деревна ламань за фракціями, т/га					Шишки, т/га
			1hr	10hr	100hr	1000hr	FWD	
2	60	1	1,6	3,6	1,4	0,5	6,6	0,10
3	60	1	0,6	1,5	1,6	0,6	3,6	0,09
4	72	1	1,3	1,5	1,8	1,6	4,6	0,31
8	101	1	0,8	0,7	0,0	0,0	1,5	0,51
1	135	1	0,6	1,0	0,0	0,0	1,7	6,45
14	20	2	0,4	0,9	0,0	0,0	1,4	1,78
16K	28	2	0,8	2,3	1,5	0,0	4,6	1,82
9	40	2	1,1	3,0	0,6	0,0	4,6	0,55
10	55	2	1,0	2,8	1,2	1,6	4,9	0,41
11	55	2	0,7	3,7	1,2	0,0	5,6	1,03
12	70	2	0,9	1,1	0,6	2,9	2,6	1,92
15K	83	2	0,4	1,8	2,4	0,0	4,5	0,96
13	115	2	0,7	1,9	0,6	1,4	3,2	0,69
6	120	2	0,4	0,9	0,0	1,1	1,4	0,65
7	120	2	1,0	0,4	0,6	0,0	2,0	0,41
5	135	2	0,8	0,9	0,0	2,4	1,7	0,86



**Рис. 2** Найбільш значимі змінні, що мають вплив на варіацію запасів деревної ламані (ліворуч – опадового шару; праворуч – ферментативного та гуміфікованого)

Висота ЖНП сягає 0,6 м та коливається у межах 10-60 см. Проективне покриття трав'яної рослинності у низькоповнотних насадженнях сягає 70%, у насадженнях з повною понад 0,8 трав'яна рослинність відсутня.

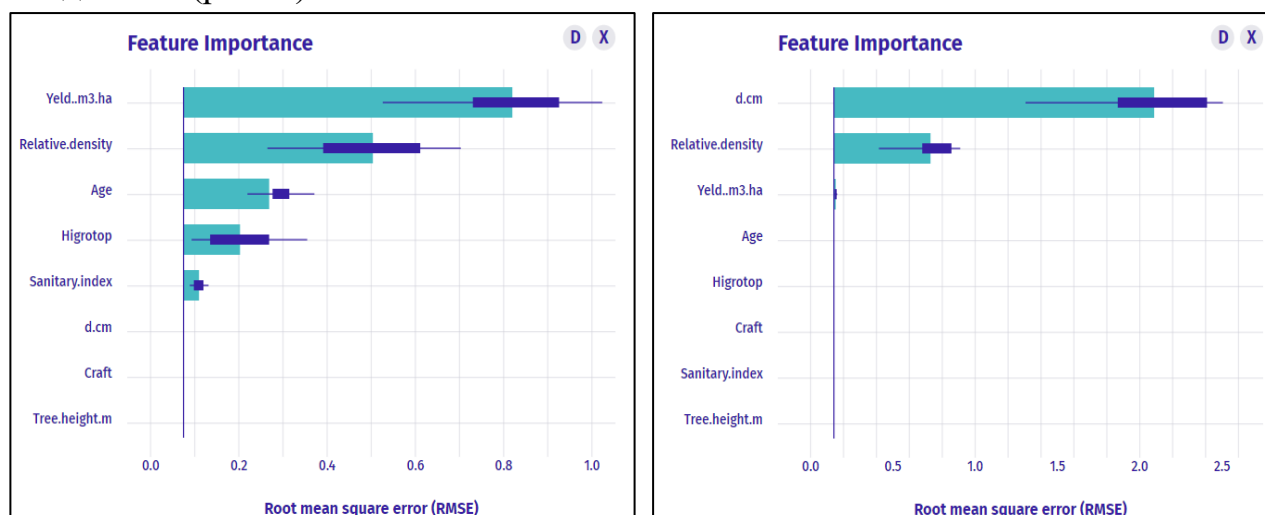
На варіацію запасів трав'яної рослинності найбільший вплив має запас насадження, повнота, вік та гігротоп (у сухих гігротопах виявлено більші запаси трав'яної рослинності, що пояснюється нижчою зімкнутістю досліджуваних насаджень).

Таблиця 4

**Запас трав'яної рослинності, підросту та підліску у чистих сосняках свіжих та сухих борів ДП «Лиманське ЛГ» та ДП «Кремінське ЛГ»**

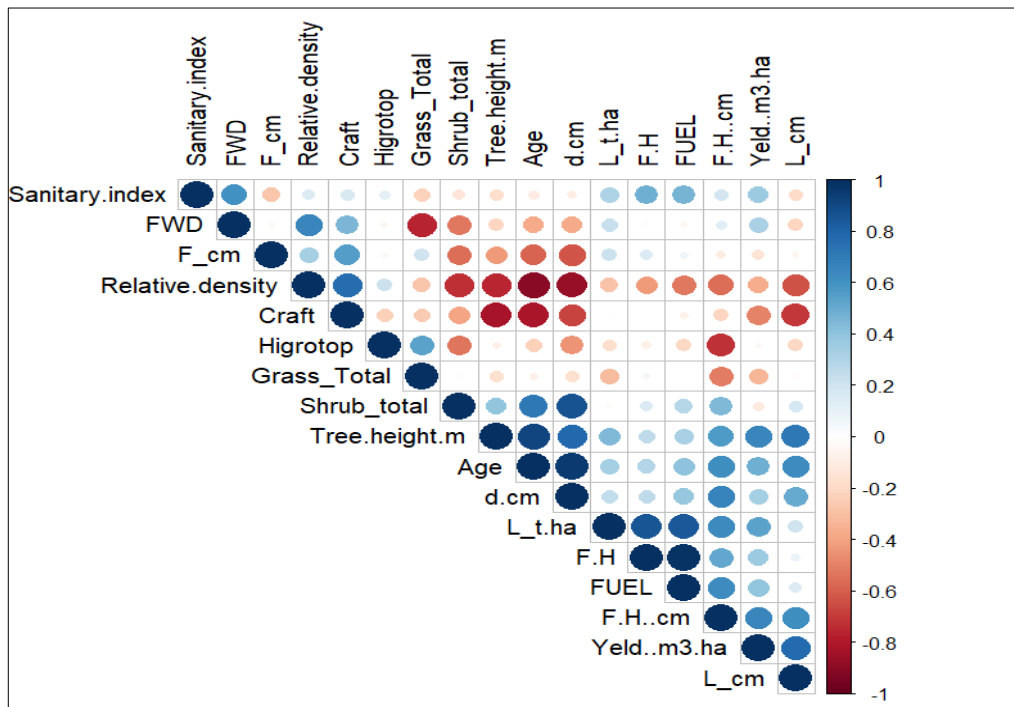
ПП	Вік, р	Повнота	Проективне покриття, %		Висота, м		Запас трав'яної рослинності, т/га			Запас підросту та підліску, т/га
			Живі	Відмерлі	Живі	Відмерлі	Живі	Відмерлі	Загалом	
1	135	0,5	10,75	21,8	0,4	0,2	0,4	0,3	0,7	4,7
2	60	0,45	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	60	0,65	70	30,0	0,6	0,1	3,3	0,3	3,7	0,0
4	72	0,7	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
5	135	0,45	10	45,0	0,4	0,4	0,3	1,4	1,7	0,9
6	120	0,5	35	25,0	0,4	0,4	1,1	0,8	1,9	3,2
7	120	0,6	25	20,0	0,3	0,3	0,6	0,4	1,0	0,3
8	101	0,8	35	40,0	0,4	0,3	1,1	1,0	2,1	0,6
9	40	0,7	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	55	0,8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	55	0,65	35	7,5	0,2	0,2	0,6	0,1	0,7	0,0
12	70	0,85	10	5,0	0,4	0,3	0,3	0,1	0,4	0,0
13	115	0,7	20	2,0	0,3	0,4	0,5	0,1	0,5	0,0
14	20	0,8	50	25,0	0,4	0,4	1,6	0,8	2,4	0,0
1К	83	0,8	5	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
2К	28	0,8	40	0,0	0,2	0,0	0,6	0,0	0,6	0,0

Так, запаси трав'яної рослинності збільшувалися із зниженням повноти та погіршенням санітарного стану насадження та зі збільшенням віку насадження (рис. 3).



**Рис. 3. Найбільш значимі змінні, що мають вплив на варіацію запасів трав'яної рослинності (ліворуч) та підросту з підліском (праворуч)**

Для характеристики існуючих зав'язків між змінними, що характеризують елементи комплексу лісових горючих матеріалів та лісівничо-таксаційними показниками, побудовано кореляційну матрицю (рис.4).



**Рис. 4 Кореляційна матриця характеристики зв'язків між елементами комплексу ЛГМ та лісівничо-таксаційними показниками сосняків Байрачного Степу**

Виявлено, що запас опадового шару (L) лісової підстилки має прямий помірний кореляційний зв'язок (зі збільшенням значень показника простежується збільшення запасу опадового шару підстилки) із санітарним станом насадження (0,31), його віком (0,34), запасом (0,42) та середньою висотою (0,44). Негативний зв'язок виявлено при аналізі запасу опадового шару з повнотою насадження (-0,31), тобто зі зниженням повноти насадження знижується також і запас опадового шару.

Запас ферментативного та гуміфікованого шарів (F+H) лісової підстилки має схожі кореляційні зв'язки, що і опадовий шар: прямий помірний кореляційний зв'язок із санітарним станом насадження (0,49), його віком (0,31) та негативний зв'язок з повнотою насадження (-0,43).

Запас деревної ламані (FWD) лісової підстилки має прямий помірний кореляційний зв'язок із санітарним станом насадження (0,6) та середньозваженим класом Крафта (0,46) та негативний зв'язок з віком насадження (-0,4). Тобто запаси деревної ламані збільшуються у періоди розвитку насаджень, які характеризуються найбільш інтенсивними темпами природнього зрідження або ж за рахунок погіршення санітарного стану насаджень, коли надходження відмерлих гілок з опадом збільшується.

Запас трав'яної рослинності має прямий негативний зв'язок з повнотою насадження (-0,3), запасом насадження (-0,56). Отже, запаси трав'яної рослинності збільшуються у низькоповнотних та низькопродуктивних насадженнях. Запаси підросту та підліску мають схожу тенденцію прямий



негативний зв'язок з повнотою насадження ( $-0,74$ ), середньозваженим класом Крафта ( $-0,48$ ) та прямий кореляційний зв'язок із віком насадження ( $0,71$ ).

**Обговорення отриманих результатів.** За даними досліджень лабораторії екології лісу у соснових лісостанах Полісся запас підстилки варіює у межах від 15,5 до 104 т/га (Voron et al., 2019; Voron et al., 2018a; Voron et al., 2018b), що значно перевищує обсяги, встановлені іншими авторами, для сосняків, що зростають у більш посушливих умовах Лісостепу України, де запаси лісової підстилки коливаються у межах 17,2 до 67,5 т/га (Sydorenko, 2019). У сосняках Байрачного Степу нами встановлені дещо менші запаси лісової підстилки, яка є основним горючим матеріалом, так запаси варіювали у межах 12,28 - 60,68 т/га. Тобто запаси підстилки у Байрачному Степу є близькими до запасів у Лівобережному лісостепу, разом із цим у роботах (Voron et al., 2019; Voron et al., 2018a; Voron et al., 2018b) наводяться дані про те, що відмінності запасів підстилки у свіжих та вологих умовах можуть перевищувати 50%. Таким чином тип лісорослинних умов може виступати основним чинником, що визначає спрямованість процесів акумуляції лісової підстилки. Зважаючи на це, варто провести додаткові дослідження з порівняння комплексів ЛГМ окремо для сухих та свіжих гігротопів та окремо для вологих та мокрих.

Відмінності також виявлено у товщині шарів лісової підстилки: 3,4 – 16,8 см на Поліссі та 1,4 – 10,4 см у Лісостепу України (Sydorenko, 2019), натомість у Байрачному Степу товщина підстилки варіює від 3 до 9 см. Зважаючи на такі розбіжності як у запасах ЛГМ так і кліматичних показниках цих природних зон, лісові горючі матеріали у типових соснових лісах Полісся (що ростуть переважно у вологих умовах) будуть висихати до горимого стану значно довше, але досягнувши стану пірологічної стиглості (готовність ЛГМ до займання) саме у лісах Полісся пожежі матимуть катастрофічні наслідки, натомість.

Аналіз запасів FWD різних фракцій у насадженнях різного віку та у різних умовах зволоженості не виявив суттєвих відмінностей. Основним фактором який впливає на збільшення запасу FWD (фракцій 10-hr та 100-hr) є запасом насадження ( $r=0,9$   $p=0,05$ ). У такий спосіб акумуляція FWD більшою мірою залежить від продуктивності насадження і практично не залежить від трюфності насадження, зволоженості ділянки та віку насадження.

**Висновок.** Запаси підстилки в соснових лісостанах Байрачного Степу збільшуються з віком (від 12,28 до 60,68 т/га), і практично не залежать від лісорослинних умов (дослідження проведено у межах сухого та свіжого борів). Запас лісової підстилки збільшується з віком і сягає піку у 70-120 річних сосняках (60,68 т/га). Значною мірою на запас лісової підстилки мають повнота насадження (запаси підстилки знижуються із зниженням повноти насадження та зниженням його загальної продуктивності – запасом насадження).

Запас FWD варіює у межах від 1,4 до 6,6 т/га та залежить від віку насадження, повноти, розподілу дерев у насадженні за класом Крафта, стану

насадження. Виявлено, що запаси деревної ламані збільшуються у періоди розвитку насаджень, які характеризуються найбільш інтенсивними темпами природнього зрідження або ж за рахунок погіршення санітарного стану насаджень, коли надходження відмерлих гілок з опадом збільшується.

Зниження повноти та зімкнутості насадження провокує накопичення значних запасів ЖНП – від 0 до 3,7 т/га. Висота ЖНП у сосняках Байрачного Степу сягає 0,6 м та коливається у межах 10-60 см. Проективне покриття трав'яної рослинності у низькоповнотних насадженнях сягає 70%, у насадженнях з повною понад 0,8 трав'яна рослинність відсутня.

Встановлені особливості комплексу ЛГМ сосняків Байрачного Степу будуть використані для розробки регіональних моделей горючих матеріалів та регіональних мап ЛГМ.

## References

1. Voron V, Sydorenko S, Melnyk E, Koval I. 2019. Forest litter reserves in the suburban for-ests of Kharkiv region as a main forest fuel in pure pine forests. Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy. Vol. 1, p. 27-34. Access mode: <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2019/01/05.pdf>
2. Voron V. P., Sydorenko S. H., Tkach O. M. 2018a. Litter structure as an indicator of potential fire risk in the Polissya pine forests. Silviculture and forest melioration. Vol. 132. P. 115–123.
3. Voron V. P., Tkach O. M., Sydorenko S. H., Melnyk Ye. Ye. 2018b. Load of forest litter and ground vegetation as an indicator of fire risk in the Polissya pine forests. Proceedings of the Forestry Academy of sciences of Ukraine. P. 9–16.
4. Sydorenko S. (2019). The estimation of litter mortmass as the basic fire fuel of pinewood forests in the Left-bank Forest Steppe. Forestry and horticulture. 2019. Issue 14. 10 p. Access mode: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lis/article/view/12601>
5. Lutes D. C., Keane R. E., Caratti J. F., Key C.H., Benson N. C., Sutherland S., Gangi L. J. (2006). FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Rocky Mountain Research Station, Natural Resources Research Center. Missoula. Montana. 398 p.
6. Hurzhii, R. V., & Yavorovsky, P. P. (2018). The stocks of surface forest fuels in the forests of Kyiv Polissya zone, Ukraine. Forestry and Forest Melioration, (132), 124–130. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.124>
7. Voron V., Tkach O., Sydorenko S., Melnyk Ye. (2018). Stock of forest litter and ground vegetation as an indicator of fire risk in the pine forests of Polissya Proceedings of the Forestry Academy of sciences of Ukraine, 16. P. 9–16. <https://doi.org/10.15421/411807>
8. Zibtsev S. V., Myroniuk V. V., Bohomolov V. V., Soshenskyi O. M., Humeniuk V. V., Koren V. A. (2018). Switching from a fire prevention project to a decision support system within the integrated fire management system. Problems of forest tax development, forest management and inventory of forests. Kyiv. P. 58–60.
9. Kurbatskiy, N. P. (1970). Investigation of the quantity and properties of forest fuel. In: Issues of forest pyrology. Krasnoyarsk: Institute of Forest of the Siberian Division of the Russian Academy of Sciences, 5-58.
10. Levchenko, V. V., Borsuk, O. A., Borsuk, A. A. (2015). Forest combustible materials. Kyiv, NUBIP of Ukraine, 237 p.
11. Nesterov V. H. (1945). Fire protection of the forest: monograph. Moscow: Goslestekhzdat, 175 p.
12. Rodin, L. E., & Bazilevich, N. I. (1965). Dynamics of organic matter and biological cycling in the main types of vegetation. Moscow: Science. 254 p.

13. Chornobay, Yu. M. (2000). Transformation of plant detritus in natural ecosystems. Lviv: State Natural History Museum of the National Academy of Sciences of Ukraine (in Ukrainian). 352 p.

**S.H. Sydorenko<sup>1</sup>, V.O. Korsovetskyi<sup>1</sup>, P.P. Yavorovskyi<sup>2</sup>, R.V. Hurzhii<sup>2</sup>,  
S.V. Sydorenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

## **TERRESTRIAL FOREST FUEL COMPLEXES IN THE PINE STANDS OF THE BAYRACH STEPPE OF UKRAINE**

*In connection with the growing pressure of a complex of climatic and socio-economic factors fire managers all around the globe faced a significant increase in fire risks, which makes the deep pyrological research more urgent. The article describes the main elements and trends of the formation of fuel complexes in the pine plantations of the Bayrachny Steppe. The research was carried out in pure pine stands of different ages growing in dry and fresh forest types on the territory of Lymanske and Kreminske forest enterprises. During the study, following components of the fuel complex were estimated: forest litter by layers of mineralization (L, F, H), fine (FWD) and coarse (CWD) woody debris by thickness classes (1hr, 10hr, 100hr, 1000hr); live (vegetating) and dead fuel (plant in ground cover, trees undergrowth). It was established that in pine plantations, significant load of litter accumulated - from 12.28 to 60.68 t/ha. Litter thickness varies from 3 to 9 cm. With the help of the XGBoost algorithm, it was found that the greatest influence on the variation of forest litter load have the sanitary condition of the stand, age, relative density and weighted average Kraft class. It was found that the hygrotop (dry and fresh types of conditions) did not have a significant influence on the total stocks of forest litter, the key role was played by forestry indicators. We found that stocks fine woody debris (FWD) vary from 1.4 to 6.6 t/ha. Stocks of FWD in pine forests ranged from 1.4 to 6.6 t/ha. The supply of cones in the fall varied within 0.10-6.45 t/ha. The stock of the CWD was not uniform and was found only in some plantations, its stock did not exceed 2.9 t/ha. It was found that the FWD variation is most influenced by the relative density of the tree stand, the stock and the sanitary condition. Thus, FWD stocks increase as stand stock increases, completeness increases, and stand health deteriorates. It was found that in pine plantations, with a decrease in the relative density and crown coverage of the plantation, significant reserves of grasses accumulates - from 0 to 3.7 t/ha. The height of the grasses reaches 0.6 m and ranges from 0.10 to 0.60 m. The projective coverage of grass in low-density stands reaches 70%, in stands with a relative density of more than 0.8 there is no grass vegetation. The stock of grasses has a direct negative correlation with the relative density of planting ( $r = -0.3$ ), the stock of pine stand ( $r = -0.56$ ). In this way, reserves of herbaceous vegetation increase in open stands and low-productivity plantations. Stocks of undergrowth and understory have a similar trend, a direct negative relationship with the completeness of the stand ( $r = -0.74$ ), weighted average Kraft class ( $r = -0.48$ ) and a direct correlation with the age of the stand ( $r = 0.71$ ). The established features of the fuel complex in pine forests of the Bayrachny Steppe will be used for the development of regional fuel models set as well as for regional fuel maps.*

**Key words:** forest fuel; forest litter; fire hazard; fine and coarse woody debris.