

УДК 630.43:630.561.24

В. П. ВОРОН¹, В. Г. БОРИСЕНКО², О. М. ТКАЧ³, В. К. МУНТЯН², І. О. БАРАБАШ^{2*}

**ПАРАМЕТРИ ГОРІННЯ ПІДСТИЛКИ СОСНОВИХ ЛІСІВ
УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ**

1. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького
2. Національний університет цивільного захисту України
3. Рівненське обласне управління лісового та мисливського господарства

Важливу роль у розумінні процесу виникнення й розвитку лісових пожеж відіграє знання структури, запасу та температури горіння підстилки як одного з основних об'єктів загорання в лісі. Особливо важливим це є для сосняків Українського Полісся, для яких характерні значні запаси підстилки. Їхнє згоряння може суттєво посилити вплив високої температури на кореневі системи, що розташовані близько до поверхні ґрунту. Об'єктом дослідження в лабораторних умовах були температурні режими горіння лісової підстилки соснових насаджень Українського Полісся. Зміну температури під час спалювання монолітів лісової підстилки фіксували пошарово встановленими термопарами. Виявлено особливості зміни температури в різних шарах лісової підстилки як у повітряно-сухому, так і в абсолютно сухому стані під час проходження через них фронту горіння. Встановлено особливості динаміки параметрів горіння для монолітів підстилки з різних едотопів. Якісно оцінено вплив вітру на параметри горіння.
Ключові слова: низові пожежі, сосняки, лісова підстилка, параметри горіння, температура фронту горіння (тління), швидкість руху фронту горіння.

Вступ. Пожежі є одним із найбільш небезпечних для лісів України екологічних факторів, що завдають катастрофічних збитків. За період із 2003 по 2015 рр. в Україні сталося 44,6 тис. лісових пожеж, при цьому площа пошкодження лісів становила 69,9 тис. га, а загальна вартість заподіяних збитків – 455 млн грн. [8]. І хоча середньорічна кількість пожеж за період із 2010 по 2015 рр. у порівнянні з періодом із 2003 по 2009 рр. зменшилася в 1,71 разу, а заподіяні збитки – в 1,59 разу, площа пошкодження лісів зросла в 1,3 разу.

В основу вивчення пошкодження сосняків низовими пожежами мають бути покладені процеси теплообміну. Як відомо, конвективним потоком (80–82 %) вивільненого від пожежі тепла пошкоджуються бруньки та хвоя, тепловим випромінюванням (14–17 %) – стовбур, внаслідок теплопровідності ґрунту (3–4 %) – коріння дерев [3–5]. Останні два фактори особливо небезпечні для соснових лісів Полісся, що мають значні запаси підстилки та близьку до поверхні кореневу систему, для якої є характерним утворення корневих лап у вологих та сирих типах умов росту [1].

Важливу роль для розуміння процесу виникнення та розвитку лісових пожеж, для розроблення засобів і способів боротьби з ними відіграє знання основних характеристик лісових паливних матеріалів (їхньої структури, запасу, вологості, температури горіння, зміни температури підстилки в часі під час проходження фронту горіння) [1–3, 9]. Але якщо загальні теплофізичні процеси під час пожежі є відомими [3–5], то температурний режим горіння підстилки і вплив теплопровідності на ґрунт та кореневу систему вивчено недостатньо. Відомі поодинокі закордонні роботи з дослідження результатів горіння підстилки в натурних експериментах із підпалом лісових ділянок [10], експериментального дослідження низових пожеж [7], вивчення горіння мульчі та впливу її горіння на ґрунт у лабораторних умовах [2]. Інформація щодо проведення подібних досліджень в Україні взагалі відсутня.

Мета дослідження – визначити параметри, динаміку та фактори, що впливають на температурний режим горіння підстилки соснових насаджень Українського Полісся.

Об'єкти та методика. Об'єктом дослідження були температурні режими горіння підстилки соснових лісів Українського Полісся за примусового підпалу.

Моноліти лісової підстилки прямокутної форми розміром 20 × 30 см було відібрано в соснових насадженнях ДП «Остківське ЛГ» Рівненського обласного управління лісового та мисливського господарства (табл. 1).

Таксаційна характеристика соснових насаджень, в яких відібрано моноліти підстилки

№ пробної площі (ПП)	Лісництво	Кв.	Вид.	Вік	ТЛУ	Склад	D, см	H, м	Бонітет	Повнота	Запас, м ³ ·га ⁻¹
Повітряно сухий стан											
1	Біловізьке	50	16	45	A ₂	10Сз	14,4	8,1	4	0,8	160
2	Біловізьке	61	11	58	A ₂	10Сз	20,4	17,2	2	0,8	256
3	Біловізьке	54	24	41	A ₃	8Сз2Бп	16,5	15,3	1	0,7	167
4	Мушнянське	50	7	76	B ₂	10Сз	32,6	26,3	1А	0,9	401
5	Мушнянське	52	28	40	B ₃	9Сз1Бп	20,6	17,4	1	0,8	261
6	Мушнянське	50	10	76	B ₃	8Сз2Бп	32,6	26,2	1	0,8	358
Абсолютно сухий стан											
7	Дубнівське	53	16	49	A ₁₋₂	10Сз	20,5	18,3	1	0,7	229
8	Мушнянське	52	33	45	B ₂	8Сз2Бп	22,6	18,3	1	0,7	229
Абсолютно сухий стан + вітер											
9	Біловізьке	54	24	41	A ₃	8Сз2Бп	16,5	15,3	1	0,7	167
10	Біловізьке	46	6	40	B ₃	8Сз2Бп	26,8	17,4	1	0,8	208
11	Дубнівське	64	14	52	B ₃	9Сз1Бп	20,5	19,3	1	0,7	216
12	Біловізьке	54	3	41	A ₄	10Сз	12,4	7,2	4	0,8	210

У відібраних монолітах підстилки виділяють три шари мінералізації:

– верхній (до 1 см) опадовий (L) – складається зі свіжого опаду, що зберіг початкову форму, морфологію та міцність побурілих рослинних залишків рихлого складення;

– середній (до 2–3 см) ферментативний (F) – органічні залишки бурого (коричнево-бурого) кольору, що напіврозклалися та втратили свою початкову форму та міцність, більш ущільненого складення, зв'язаний тонким корінням наземного покриву;

– нижній (> 3 см) гуміфікаційний (H) – гомогенний, темно забарвлений (темно-бурий, чорний), що повністю розклався, часто порошкоподібної структури із включеннями шматків кори та плодів, густо пронизаний корінням трав'яного покриву, підросту та деревно-чагарникових ярусів, із домішкою мінеральних часток ґрунту.

Моноліти відбирали у соснових насадженнях у трюфотобах А і В. Фото (рис. 1) демонструють різницю у формуванні підстилки в двох типах умов росту. У бідному, сухому борі (А₁) вона менш потужна, має лишайниковий покрив (рис. 1, а), а у вологому суборі (В₃) вона може мати потужний моховий та трав'яний покрив із чорниці, а її товщина перевищувати 10 см (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1 – Профіль підстилки в сухому борі (а) та у вологому суборі (б)

У лабораторії моноліти встановлювали на шар вогнетривкої тканини, викладеної на сітку випробувального стенду (рис. 2, *а*). Для вимірювання температури знизу, з інтервалом в 1 см по горизонталі, у моноліт вставляли та фіксували термопари (рис. 2, *б*), які через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) з'єднували з комп'ютером. Залежно від товщини моноліту використовували від 3 до 5 термопар, розміщених на різній глибині.

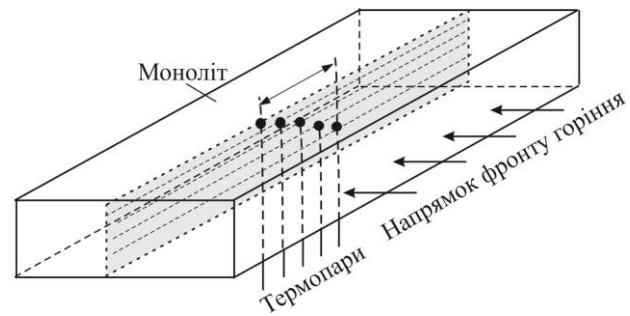
*а**б*

Рис. 2 – Спалювання моноліту підстилки на випробувальному стенді (*а*) та схема розміщення термопар (*б*)

У лабораторних умовах моноліти підпалювали з одного боку, а дві перпендикулярні бокові грані для зменшення крайових ефектів були захищені вогнетривкими бар'єрами. Протягом дослідів для видалення диму здійснювали вентиляцію приміщення, яке створювало рух повітря зі швидкістю від 0 до $0,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Моноліти підстилки досліджували як у повітряно-сухому, так і в абсолютно сухому стані. Загалом було спалено 6 зразків підстилки в повітряно-сухому (відповідно по три з борів і суборів) та 5 в абсолютно сухому стані. Два абсолютно сухі зразки (по одному з бору та субору) було спалено звичайним способом, а три – з імітацією вітрового потоку швидкістю $1\text{--}1,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Оскільки потік повітря був неоднорідний і неупорядкований, то результати мають пошуковий характер. Швидкість вітру (v_v) вимірювали анемометром.

Під час спалювання фіксували зміну температури лісової підстилки за часом у місцях поширеного встановлення термопар, починаючи з моменту підпалу ($t = 0$). З наближенням фронту горіння до місця знаходження термопари температура її зростала, досягала максимуму в момент проходження та спадала з віддаленням фронту. За температуру горіння (за наявності тління або полум'я) приймали температуру максимуму залежності.

Сигнал від АЦП обробляли програмою OWENProcessManager, а результати вимірювань протягом експерименту контролювали візуально та фіксували в табличному й графічному вигляді. Для чисельного та графічного аналізу результати, одержані в табличному вигляді, обробляли у системі *MS Excel*.

Результати та обговорення.

Моноліти повітряно-сухої підстилки з трюфотопу А. Із монолітів підстилки в повітряно-сухому стані два (ПП 1 і 2) були відібрані зі свіжого (A_2) і один (ПП 3) – із вологого (A_3) бору. Типову для монолітів ПП 1–3 зміну температури підстилки під час проходження фронту горіння, отриману при дослідженні моноліту ПП 2 (A_2), наведено на рис. 3, де h – відстань до термопари від поверхні рівня мінералізації ($h = 0$).

Для монолітів із ПП 1, 2 (A_2) товщина підстилки становила 4–5 см, а максимальна температура за шарами змінювалася в інтервалі $131\text{--}295^\circ\text{C}$. Найменшу температуру зафіксовано в нижньому гуміфікованому (Н) шарі підстилки. У моноліті ПП 1 максимальну температуру (від 265 до 295°C) відзначено в середньому ферментативному (F) шарі, а в



Рис. 4 – Межа проходження фронту тління підстилки

Моноліти підстилки в повітряно-сухому стані з трофотопу субір (В) були відібрані один із свіжого (моноліт ПП 4, В₂) субору та два (ПП 5–6) – із волого (В₃). Температура їхнього горіння була вищою, ніж у борах (рис. 5).

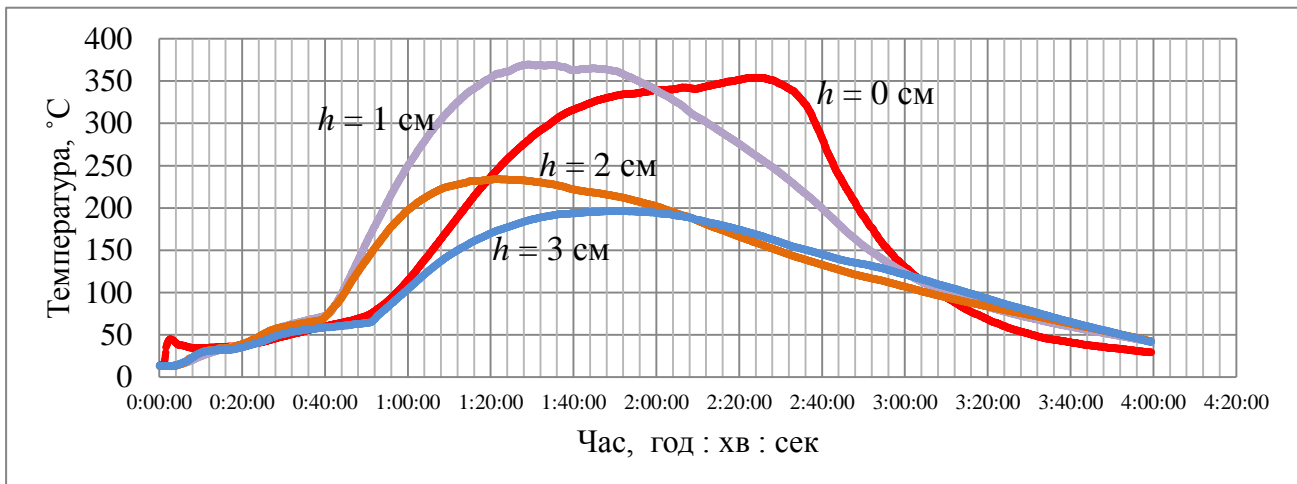


Рис. 5 – Динаміка температури горіння повітряно-сухого моноліту підстилки зі свіжого субору (ПП4)

Діапазон температур горіння у цих зразках був різним. У моноліті ПП 4 (із В₂) максимальна температура перебувала в межах від 197 до 370°C, а в монолітах із В₃ – від 198 до 450°C (ПП 5) і від 302 до 502°C (ПП 6). Однозначною є тенденція зменшення температури горіння вниз по профілю моноліта. Найнижчу температуру відзначено в шарі Н – на глибині $h > 3$ см – 200–300°C. Зниження температур у цьому шарі пов'язане зі щільною структурою мортмаси та значною домішкою пилу й піску.

Максимальні значення температур горіння зареєстровано в середньому ферментативному (F) шарі (глибина 1–2 см) – 370–513 °C. Для нього характерний значний запас палива та рихла структура, що сприяє доступу повітря і збільшенню температури горіння. Температура верхнього листопадного шару досягала 354–444 °C, що пов'язане з невеликою його товщиною.

Загалом, аналіз графічних залежностей і візуального спостереження демонструє, що основні закономірності процесів, відзначені вище в пунктах 1–3 для монолітів із бору, характерні й для підстилки із суборів. Різниця полягає в збільшенні температури максимумів

другому (ПП 2) такий діапазон температур зафіксовано як у листопадному (L), так і у ферментативному (F) шарах підстилки.

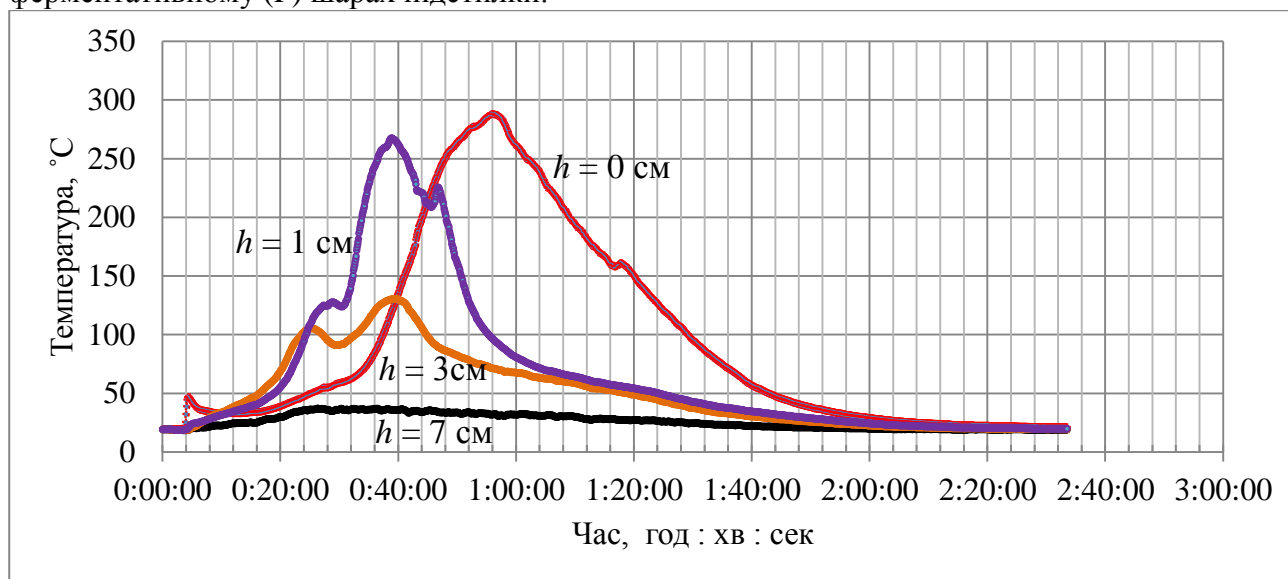


Рис. 3 – Динаміка температури горіння повітряно-сухої підстилки (ПП 2, А₂)

Товщина підстилки третього моноліту (ПП 3) з вологого бору сягала 6,5 см. Максимальна температура в товщині 0–3 см була більшою, ніж у монолітів із А₂, і становила 320–370 °С із максимумом у листопадному та гуміфікованому шарах, що пов'язане з більшим запасом підстилки.

Зважаючи на графіки та візуальне спостереження за процесом горіння монолітів, можна відзначити такі загальні особливості горіння:

1. На поверхні (крива $h = 0$) на початку процесу горіння температура не перевищувала 50 °С, що пояснюється швидким переміщенням поверхневого фронту полум'я в напрямку до датчика температури. Це зумовлено невеликою густиною палива на поверхні разом із умовами доброго доступу кисню. Після проходження фронту полум'я температура на поверхні моноліту в місці знаходження датчиків знижується внаслідок малої кількості паливного матеріалу на поверхні. З одного боку, зменшення кількості кисню в заповненому попелом поверхневому шарі впливає на зменшення темпу зростання температури, а з другого боку, також сприяє створенню умов для безполум'яного горіння (тління).

Подальше повільне наростання температури зумовлене масовим потоком тепла від фронту тліючого горіння, що рухається з малою швидкістю як по поверхні, так і по перерізу моноліту. Для демонстрації описаного процесу на рис. 4 наведене фото зразка збоку, на якому видно межу проходження фронту тління.

2. Шари на глибині $h = 1\div 2$ см, які здебільшого відповідають F шарам, мають більше мікрооб'ємів, що містять кисень, і є кращими провідниками парогазу, який утворюється під час тління. Тому темп зростання температури в цих шарах був вищим. У разі збільшення товщини підстилки товщина цих шарів може зростати (як, наприклад, в А₃), що призводить до росту значень температури горіння внаслідок збільшення паливного матеріалу.

3. У міру зростання глибини підстилки відбувається ущільнення паливного матеріалу та зменшення вмісту кисню в ньому. Тому зростання температури в цих шарах відбувається з меншою швидкістю, ніж в описаних вище випадках, і значення температур горіння будуть нижчими.

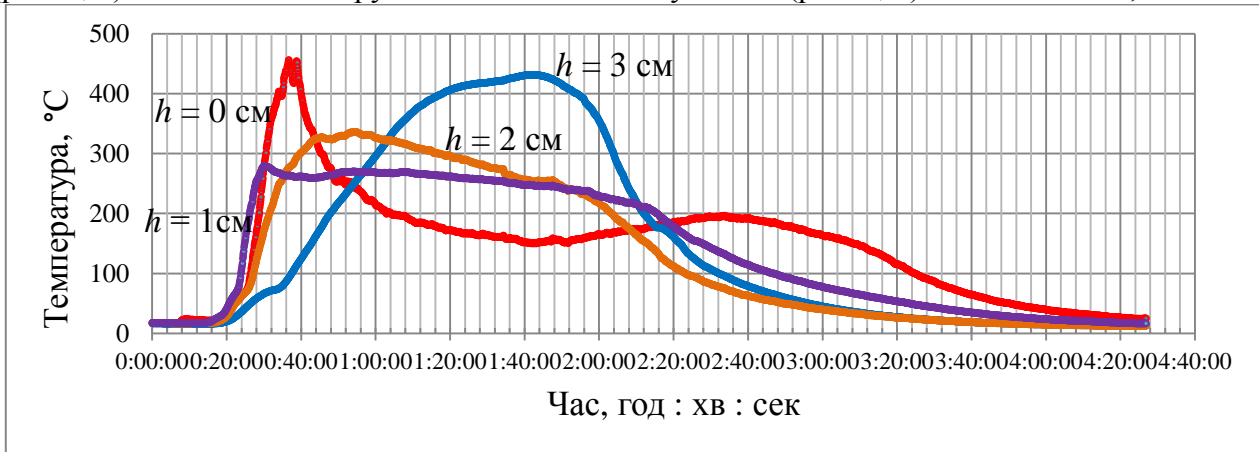
Зауважимо, що криві температурних залежностей можуть містити декілька максимумів. Додаткові локальні максимуми зумовлені неоднорідністю підстилки, тобто нерівномірним розподілом лісового паливного матеріалу з різною теплотвірною здатністю. Наявність кількох максимумів спостерігалась не тільки в лабораторних, але й у натурних експериментах під час підпалів лісових ділянок [6].

(на 50–100 °С), що є природним, оскільки підстилки в типі В мають більший запас паливного матеріалу.

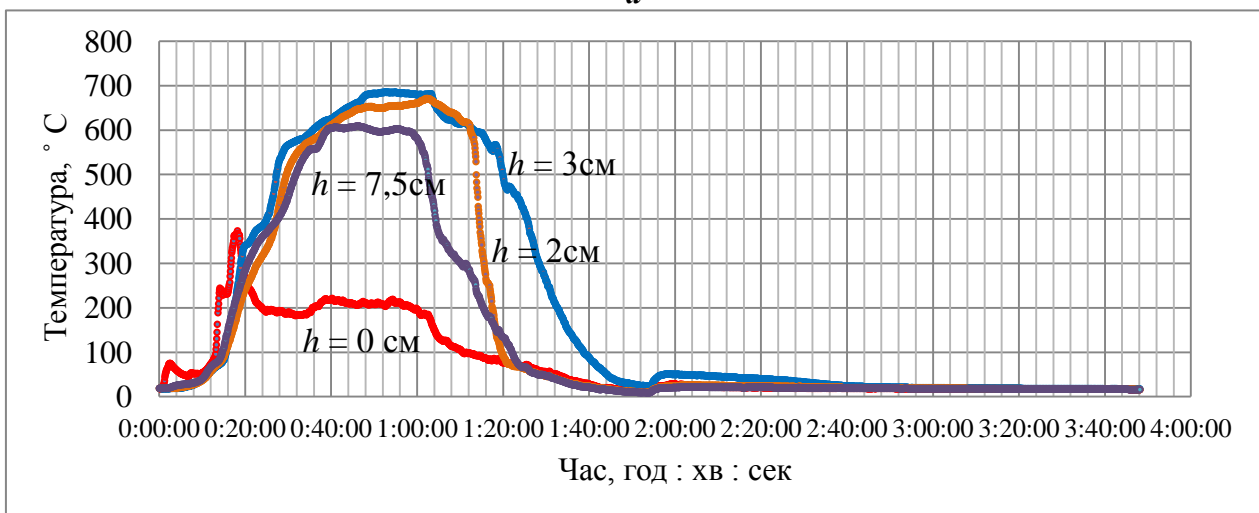
Окрім цього, для підстилки із суборів характерна значно менша швидкість горіння по всіх шарах, якщо порівняти з підстилкою борів. Результати порівняння значень середньої швидкості руху фронту горіння за шарами для підстилок із трофотопів А і В за відсутності вітру ($v_B = 0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) наведені в табл. 2. Причиною такої різниці в швидкості є, очевидно, відмінність щільності паливного матеріалу лісових підстилок різних типів умов росту. Так, у монолітах із трофотопу В щільність матеріалу є більшою, у той час як кількість кисню в її порах – менша, тому швидкість переміщення фронту горіння є меншою.

Моноліти абсолютно сухої підстилки. Було досліджено два моноліти: один (ПП 7) – із сухого бору (A_1), інший (ПП 8) – зі свіжого субору (B_2). Температура горіння підстилки в монолітів в абсолютно-сухому стані значно зростає. Так, температура горіння підстилки в моноліті ПП 7 з товщиною до 4 см коливалася від 333 до 655 °С, а в моноліті ПП 8 – від 347 до 525 °С. Найнижчу температуру горіння зафіксовано на глибині понад 3 см у гуміфікованому шарі – 333–347 °С, а найвищу – у ферментативному – 525–655 °С.

Моноліти абсолютно сухої підстилки за наявності вітру. З імітацією вітру було спалено один моноліт (ПП 9) із сухого бору та два (ПП 10, 11) із волого субору. Зміну температури підстилки під час проходження фронту горіння наведено на рис. 6: для моноліту ПП 9 (рис. 6, а) за швидкості вітру $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і для моноліту ПП 11 (рис. 6, б) за швидкості $1,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.



а



б

Рис. 6 – Зміна температури горіння моноліту ПП 9, A_3 (а) за швидкості вітру $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і ПП 11, B_3 (б) за швидкості вітру $1,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$

Графіки свідчать, що посилення повітряних потоків призводить до значного збільшення температури горіння підстилки, оскільки завдяки цьому в ній збільшується вміст кисню. Так, температура горіння підстилки із соснового насадження сухого бору (ПП 9) сягала 279–456 °С (рис. 6, а). При цьому найвищі значення температур зареєстровано у листопадному та верхній частині гуміфікованого шару, 456 і 432 °С відповідно. Ще більше зростання температури відбувається під час горіння абсолютно сухої підстилки з вологого субору (ПП 10 і 11, рис. 6). За товщини підстилки 7,5–8,0 см температура горіння мортмаси у ферментативному шарі сягала 686–703 °С, а у листопадному (L) і верхній частині гуміфікованого (H) шару – 586 °С. У нижній частині шару H вона дорівнювала 270 °С.

Унаслідок відсутності необхідної кількості зразків говорити про кількісну залежність швидкості руху фронту горіння від швидкості вітру не є коректним. Тому можна провести лише порівняльний аналіз. Як впливає з характеру залежностей на рис. 6, наявність вітру призводить до збільшення максимумів температур для всіх шарів підстилки. Але якщо до глибини 1 см температура підвищується на 10–50°С, то для більш глибоких шарів вона сягає 200–250°С. Збільшення значень максимумів температури шарів зумовлене збільшенням притоку кисню до них. Невелике підвищення температури поверхневих шарів пояснюється посиленням конвективних потоків на поверхні за наявності вітру. Значне зростання температури глибинних шарів свідчить про їхню незначну конвекцію та інтенсивне збагачення киснем.

Порівняння швидкості руху фронту горіння за шарами підстилки для монолітів із борів і суборів за відсутності та наявності вітру наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Середня швидкість руху фронту горіння v , м·год⁻¹

Трофотоп	Середня швидкість руху фронту горіння v , м·год ⁻¹			
	Глибина шарів зразка, см			
	0	1	2	3
А	$v_B = 0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$			
	0,119	0,132	0,109	0,075
	$v_B = 1,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$			
	0,153	0,199	0,110	0,090
В	$v_B = 0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$			
	0,075	0,047	0,052	0,050
	$v_B = 1,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$			
	0,242	0,129	0,106	0,075

Висновки.

1. Експериментально виявлено особливості зміни температури в різних шарах лісової підстилки в повітряно-сухому та в абсолютно сухому стані під час проходження через них фронту горіння. Для повітряно-сухих монолітів підстилки зі свіжого бору максимальна температура від нижніх до верхніх шарів змінювалась в інтервалі 131–295°С. Найменшою вона була в нижньому гуміфікованому та в середньому ферментативному (F) шарі підстилки. Температура горіння підстилки в монолітів у абсолютно сухому стані значно зростає. Зокрема, температура горіння абсолютно сухих монолітів підстилки із сухого бору та свіжого субору змінювалась від 333 до 655°С. Найменшу температуру горіння зафіксовано на глибині понад 3 см у гуміфікованому шарі, а найвищу – у ферментативному.
2. Встановлено особливості динаміки параметрів горіння для монолітів підстилки з різною трофністю. Внаслідок більшого запасу підстилки в трофотопі В, якщо порівняти його з А, режими її горіння характеризується більш високими температурами. Водночас швидкість розповсюдження фронту горіння є меншою через більшу щільність паливного матеріалу.
3. Порівняльний пошаровий аналіз температур горіння підстилки свідчить, що у разі збільшення глибини підстилки швидкість фронту горіння зменшується. Винятком є

поверхня монолітів, на якій, окрім виділенням тепла, під час горіння відбувається й одночасне охолодження конвективними потоками повітря.

4. Посилення повітряних потоків призводить до зростання температури та швидкості горіння підстилки. Це відбувається завдяки зростанню конвекції в поверхневих шарах підстилки та збільшенню доступу кисню в глибинні шари підстилки, що посилює інтенсивність горіння і підвищує температуру в цих шарах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ворон В. П.* Тенденції у післяпожежному розвитку сосняків Рівненщини / В. П. Ворон, О. М. Ткач, С. Г. Сидоренко // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2014. – Вип. 125. – С. 181–187.
2. *Гришин А. М.* Об экспериментальном исследовании низовых лесных пожаров в лабораторных условиях / А. М. Гришин, В. П. Зима // Сопряженные задачи физической механики и экология : тезисы междунар. совещания-семинара. – Томск, 1994.
3. *Гришин А. М.* Теплофизика лесных пожаров / А. М. Гришин. – Томск : Изд-во ТГУ, 1994. – 207 с.
4. *Конев Э. В.* Физические основы горения растительных материалов / Э. В. Конев. – Новосибирск : Наука, 1977. – 239 с.
5. *Косов И. В.* Устойчивость хвойных пород к воздействию лесных пожаров : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. с-г. наук : 06.03.03 / И. В. Косов. – Красноярск, 2006. – 22 с.
6. *Краснощекова Е. Н.* Воздействие высоких температур на микроартропод почв при пожарах в лиственниках Нижнего Приангарья / Е. Н. Краснощекова, И. В. Косов, Г. А. Иванова // Хвойные бореальные зоны. – 2008. – XXV. – № 3–4. – С. 250–256.
7. *Курбатский Н. П.* Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1970. – С. 5–58.
8. Національні доповіді «Про стан техногенної та природної безпеки в Україні 2004 -2015 роках» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html.
9. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края / И. Н. Бескорвайная, Г. А. Иванова, П. А. Тарасов и др. // Сибирский экологический журнал. – 2003. – № 1. – С. 143–152.
10. Lethal soil temperatures during burning of nasctated forest residues / M. D. Busse, K. R. Hubbert, G. O. Fiddler et al. // International Journal of Wildland Fire. – 2005. – Vol. 14. – P. 267–276.

Voron V. P.¹, Borysenko V. G.², Tkach O. M.³, Muntian V. K.², Barabash I. O.²

BURNING PARAMETERS OF LITTER FROM UKRAINIAN POLISSYA PINE FORESTS

1. *Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky*

2. *National University of Civil Protection of Ukraine*

3. *Rivne Regional Department of Forestry and Hunting*

The study of the conditions of the forest debris combustion and burning is important for solving the problem of preventing forest fires and also for using effective fire-fighting methods and means. In particular, the pine forests of Ukrainian Polissya have the root system placed close to the earth surface, and it is the litter to be the most important object of the primary burning.

The object of the study was the litter of the pine forests of SE “Ostkivske Forest Economy” Rivne Regional Department of Forestry and Hunting. In the laboratory, we studied the dynamics of change of litter monoliths layers temperature while the flame front (smoulding front) goes through them.

Various trophic monoliths showed a difference in combustion temperature dynamics. The combustion modes of monoliths from fairly infertile pine site type (B) are characterized by higher temperature (by 50–100°C) than monoliths from infertile pine site type (A). At the same time, the speed of combustion front expansion of trophotope B monoliths is lower, and the reason of it is the higher density of combustible material. There is a difference in the monoliths combustion modes in dry and completely dry conditions. For dry infertile pine site type litter monoliths the maximum temperature varies in the range of 131–295°C from lower to upper layers. The lowest temperature was measured in the lowest H layer and the medium F layer of the litter. The combustion temperature of monoliths litter increases significantly if they are in dry conditions. The minimum combustion temperature was recorded at the depths more than 3 cm in H layer (333–347°C), and maximum in the F layer (525–655°C). The forest litter burning speed has a tendency of reducing to the depths of the layer. The exception is the monolith surface refreshed by its convection currents while burning with heat evolution.

The effect of wind on changing combustion parameters was qualitatively evaluated. The presence of wind during the experiment leads to the oxygen enrichment in the deep litter layers and also to more intense burning and elevation of temperature in these layers.

The methodology used is promising, as it can be used to simulate not only litter-humus and steppe fires in the laboratory.

К e y w o r d s : surface fires, pine forest, forest litter, combustion properties, combustion (smoulding) temperature, speed of flame front movement.

Ворон В. П.¹, Борисенко В. Г.², Ткач О. М.³, Мунтян В. К.², Барабаш І. О.²

ПАРАМЕТРЫ ГОРЕНИЯ ПОДСТИЛКИ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

1. Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого

2. Национальный университет гражданской защиты Украины

3. Ровенское областное управление лесного и охотничьего хозяйства

В решении проблемы предотвращения возникновения лесных пожаров и использования эффективных методов и средств борьбы с ними важно изучение условий, при которых происходит возгорание и горение лесных горючих материалов. В частности, в сосняках Украинского Полесья, для которых характерно наличие поверхностной корневой системы, важнейшим объектом первичного горения является лесная подстилка.

Объектом исследования были температурные режимы горения лесной подстилки сосновых насаждений ГП «Остковское ЛХ» Ровенского областного управления лесного и охотничьего хозяйства. Монолиты лесной подстилки из различных трофотопов (А и В) и гигротопов (сухие и абсолютно сухие) исследовали в лабораторных условиях. С помощью термопар измеряли температуру по глубине подстилки и исследовали динамику послыоного изменения температуры лесной подстилки при прохождении через слои фронта горения (тления).

По температурным зависимостям установлены различия в динамике параметров горения для монолитов из различных эдатопов. В частности, режимы горения монолитов из трофотопа В характеризуются более высокими (на 50–100°C) температурами, нежели монолитов из трофотопа А. В то же время скорость распространения фронта горения в монолитах из трофотопа В меньше вследствие большей плотности горючего материала. Отмечены различия и в режимах горения монолитов в сухом и абсолютно сухом состояниях. Для сухих монолитов подстилки из свежего бора максимальная температура горения от нижних к верхним слоям изменялась в интервале 131–295°C. Наименьшей она была в нижнем гумифицированном (Н) и среднем ферментативном (F) слоях подстилки. Температура горения подстилки у монолитов в абсолютно сухом состоянии значительно возрастает. Наименьшая температура горения зафиксирована на глубине более 3 см в гумифицированном слое (333–347°C), а наивысшая – в ферментативном слое (525–655°C). Общей для большинства монолитов является тенденция уменьшения скорости горения лесной подстилки с увеличением глубины слоя. Исключением является поверхность монолита, на которой, кроме горения с выделением тепла, происходит одновременное охлаждение её конвективными потоками.

Качественно оценено влияние ветра на изменение параметров горения. Наличие ветра в условиях эксперимента приводит к обогащению кислородом глубинных слоёв подстилки, более интенсивному горению и повышению температуры в этих слоях.

Использованная методика исследования является перспективной, поскольку может быть применена для моделирования в условиях лаборатории не только подстильно-гумусовых, но и степных пожаров.

К л ю ч е в ы е с л о в а : низовые пожары, сосняки, лесная подстилка, параметры горения, температура горения (тления), скорость перемещения фронта горения.

E-mail: voron@uriffm.org.ua

Одержано редколегією 28.11.2016