

В.П. ВОРОН¹, С.Г. СИДОРЕНКО², Є.Є. МЕЛЬНИК³, С.В. ІВАШИНЮТА⁴

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ДЕРЕВ ЗА РІЗНИХ ТИПІВ ПОШКОДЖЕННЯ СОСНЯКІВ ПІСЛЯ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ

Досліджена роль різних типів пошкодження сосняків за низових пожеж. Визначено основні причини виникнення тих чи інших пошкоджень, встановлено їхній вплив на стан дерев у різних типах лісорослинних умов. Доведено, що висота нагару не є універсальним критерієм визначення пошкоджень дерев. Запропоновано критерії прогнозування розвитку сосняків, пошкоджених низовими пожежами.

Ключові слова: *сосняки, низові пожежі, висота нагару, типи пошкоджень*

Вступ. Особливо небезпечним антропогенним чинником, дія якого призводить до катастрофічних економічних, екологічних та соціальних збитків для лісів України, є пожежі [4, 5, 9]. За період 2003-2009 рр. в Україні трапилося 28784 лісові пожежі, при цьому площа знищених вогнем лісів сягнула 32848 га, а матеріальні збитки – майже 300 млн грн [10].

У вирішенні проблеми зменшення збитків від лісових пожеж важливим є запобігання їх виникненню завдяки прогнозу, що базується на аналізі просторових та часових тенденцій пожеж в минулому [3, 4, 5]. Негативні зміни стану пошкоджених пожежами сосняків призводять до суттєвих втрат товарності – знижується вихід ділової деревини [4, 9]. Так, якщо у 60-80-річних сосняках частка ділової деревини становить від 67 до 78 %, то вже через кілька місяців після пожежі вона знижується до 40-55, через 1-2 роки – до 30, а через 3-4 роки

¹**ВОРОН Володимир Пантелеймонович** – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, старший науковий співробітник, кандидат сільськогосподарських наук, завідувач лабораторії екології лісу, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького (УкрНДІЛГА). м. Харків, Україна. Тел.: +38-097-277-59-98. E-mail: voron@uriffm.org.ua

²**СИДОРЕНКО Сергій Григорович** – аспірант УкрНДІЛГА.м. Харків, Україна. Тел.: +38-099-223-29-08. E-mail: loki_888@i.ua

³**МЕЛЬНИК Євген Євгенович** – молодший науковий співробітник лабораторії екології лісу УкрНДІЛГА. м. Харків, Україна. Тел.: +38-050-586-83-07. E-mail: wudckij@bigmir.net

⁴**ІВАШИНЮТА Сергій Володимирович** – кандидат сільськогосподарських наук, головний лісничий Рівненського обласного управління лісового і мисливського господарства. м. Рівне, Україна. Тел.: +38-067-362-39-73.

– до 13-17 % [4]. Тому особливо важливим є вчасне проведення рубок, яке базується на прогнозі розвитку деревостанів після пожеж. Але питання критеріїв прогнозування розвитку деревостанів після пожеж досі потребує вивчення.

Основна *мета роботи* – встановити особливості зміни стану молодняків і середньовікових соснових деревостанів при різних типах пошкодження та розробити критерії прогнозу їх післяпожежного розвитку.

Об'єкти і методика досліджень. Під час низової пожежі конвективним потоком (80-82% вивільненого від пожежі тепла) пошкоджуються бруньки і хвоя, тепловим випромінюванням (14-17%) – стовбур, теплопровідністю (3-4%) – коріння дерев [5, 6, 7, 11]. Ці три типи поширення тепла і спричинені ними пошкодження сосняків під час низових пожеж були покладені в основу вивчення їх післяпожежного розвитку. Дослідження проводили у Лісостепу (Харківська обл.) та в Поліссі (Рівненська обл.). У середньовікових чистих сосняках (вік – 50-60 років) було закладено 19 постійних пробних площ (далі ППП), зокрема 16 – у едотопі В₂ (Харківська обл.), дві – в умовах В₃ та одну – в В₄ (Рівненська обл.).

Післяпожежний розвиток соснових молодняків, пошкоджених пожежею у квітні 2011 р. (Харківська обл.), вивчали на двох ППП із загальною чисельністю більше ніж 500 дерев. У середньовікових сосняках дерева розподілено за ступенями (через 0,5 м) висоти нагару. Пробні площі з подібними таксаційними показниками, лісорослинними умовами і часом виникнення пожеж об'єднано в групи. Оскільки середньовікові сосняки пошкоджувалися пожежами у різні роки, то їх стан порівнювався через рік після пожежі.

Стан дерев оцінювали згідно з рекомендаціями, які розроблені лабораторією екології лісу УкрНДІЛГА [2, 4]. Індекс стану деревостану розраховували як середньозважену величину категорій стану дерев.

Для діагностики пошкодження, поряд із висотою нагару, ми запропонували низку нових показників, які розраховували так:

$$\text{«Відносна висота пошкодження»}: H_{\text{відн.}} = (H_{\text{наг.}} / H_{\text{дер.}}) 100\%; \quad (1)$$

де: $H_{\text{дер.}}$ – висота дерева, м; а $H_{\text{наг.}}$ – середня висота нагару на дереві, м.

$$\text{«Ступінь опіку тонкої кори»}: H_{\text{опік}} = (H_{\text{сер.наг}} - H_{\text{гр.к}}); \quad (2)$$

де: $H_{\text{опік}}$ – ступінь опіку тонкої кори, м; $H_{\text{гр.к.}}$ – висота грубої кори, м;

$H_{\text{сер.наг}}$ – середня висота нагару на стовбурі, м.

Плюсове значення $H_{\text{опік}}$ показує величину опіку вогнем тонкої кори. Цей показник дав змогу більш чітко визначити ступінь пошкодження дерев, різних за висотою грубої кори.

«Відносну висоту дехромації» розраховували як і перший показник, з тією різницею, що замість висоти нагару взято «висоту дехромації крони».

Пошкодження кореневих систем визначали за такою шкалою:

1. Без пошкоджень;
2. Пошкоджено одну кореневу лапу;
3. Пошкоджено не більше ніж 75% по периметру стовбура, зазвичай дві і більше кореневих лап, на лапах добре помітний нагар;
4. Пошкоджено 75 % і більше кореневих лап, кора на лапах частково облущилась.

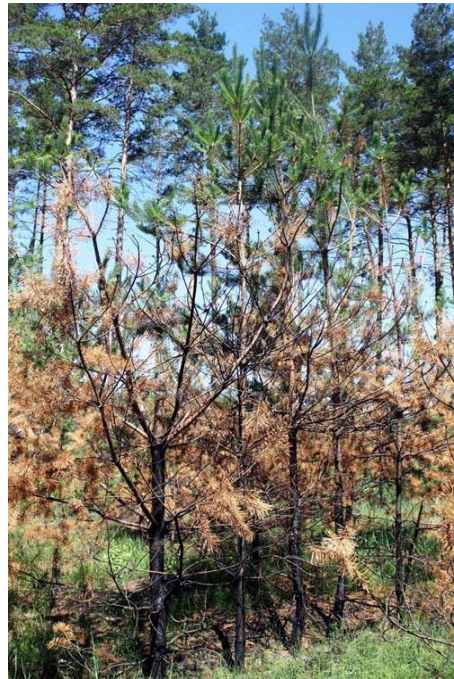
Зв'язок вважався функціональним при коефіцієнті кореляції 1,00, дуже сильним – 0,90-0,99, сильним – 0,70-0,89, значним – 0,50-0,69, помірним – 0,30-0,49, слабким – 0,10-0,29 [8].

Результати та обговорення. Тип пошкоджень, спричинений конвективним потоком вивільненого від пожежі тепла, призводить до пошкодження бруньок і хвої (рис. 1). Деревостан був пошкоджений сильною низовою пожежею 27 серпня 2008 року. У цей період на Харківщині склалися надзвичайно посушливі умови – температура повітря перевищувала 30⁰С. Середня висота підняття вогню по стовбуру сягала 4,45 м. Хвоя була пошкоджена розжареним повітрям, що підіймалося від землі. Підстилка і поверхня ґрунту висохли настільки, що на земній поверхні згоріли навіть пеньки дерев, які були зрубані раніше. Вже на початку вересня частка сухостою становила майже 40, а через місяць – 51, зокрема свіжого – 49%. Усихаючих дерев було 46%, і лише 3% становили сильно ослаблі дерева, а індекс стану перевищив 4,5.



Рис. 1. Пошкодження крони конвективним тепловим потоком у середньовікових сосняках

Конвективний тип пошкодження внаслідок низових пожеж є більш характерним для молодняків. У липні 2011 р. було закладено дві ППП в сосновому молодняку, який був пошкоджений конвективним тепловим потоком під час низової пожежі у квітні (рис. 2). Такому пошкодженню сприяла невелика висота дерев і низьке розташування гілок. Так, якщо крона дерев починається з висоти 0,4-0,6 м, то середня висота нагару досягала 1,1 м. Основним показником ступеня пошкодження вогнем молодняків була дехромація (рис. 3), середній рівень якої становив 62%. На окремих деревах хвоя повністю згоріла. В ослаблених дерев рівень дехромації змінюється в межах 10-40%, у сильно ослаблених – 10-80%, всихаючих – 60-90%, свіжого сухостою – 90-100%. Критичним є рівень дехромації, після якого кількість всихаючих та сухостійних дерев перевищила 70%. Встановлена сильна пряmolінійна пряма залежність між категорією стану та дехромацією дерев (рис. 3), але найбільшу тісноту зв'язку ($r = 0,86$) отримано внаслідок порівняння з «відносною висотою дехромації» (рис. 4).



**Рис. 2. Крони дерев, пошкоджені конвективним тепловим потоком
в молодняках**

Пожежа суттєво погіршила стан деревостану (табл. 1). Уже в липні стан деревостану оцінювався як сильно ослаблений. Впродовж року після пожежі величина індексу досягла межі, коли стан його можна оцінювати як усихаючий. Відбулося це за рахунок збільшення частки сухостою. При цьому спостерігається як усихання, так і реабілітація дерев (рис. 5). У 25% ослаблених дерев стан погіршився і вони перейшли до категорії сильно ослаблених. І, навпаки, 33% сильно ослаблених дерев перейшли до категорії ослаблених. Водночас у 11% сильно ослаблених дерев стан погіршився, 3,5% дерев перейшли до IV категорії, а 8% – всохли.

Несподівані результати отримано для категорії всихаючих дерев: 52% перейшли до категорії сильно ослаблених, натомість 40% – всохли. Протягом року після пожежі величина індексу досягла межі, коли стан його можна оцінювати як всихаючий. Відбулося це за рахунок збільшення частки старого сухостою (26,8%), водночас частка всихаючих дерев сильно зменшилась (до 4%). За рахунок останніх збільшилась частка ослаблених дерев (на 11%), тобто поряд з погіршенням стану відбувається відновлення дерев (див. табл. 1).

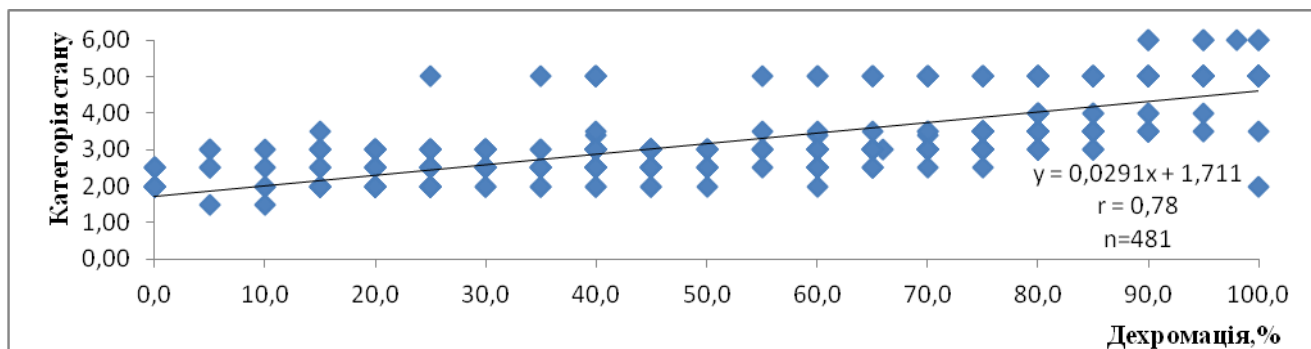


Рис. 3. Залежність між дехромацією та категорією стану в молодняках

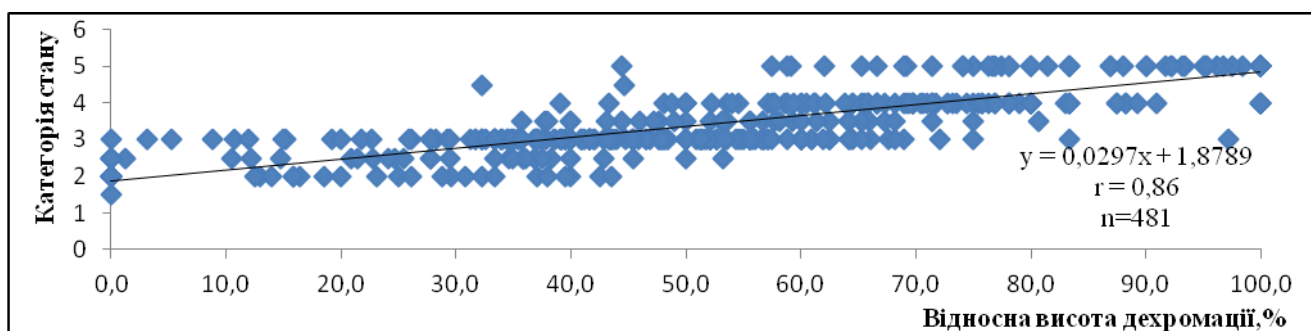


Рис. 4. Залежність між висотою дехромації та категорією стану в молодняках

Таблиця 1

Стан соснового молодняку, пошкодженого низовою пожежею

Рік спостереження	Висота насадження, м	Висота нагару, м	Індекс стану	Розподіл дерев за категоріями стану, %					
				1	2	3	4	5	6
2011	3,9	1,1	3,5	2,1	13,3	38,7	28,9	17,0	0,0
2012			3,8	0,2	24,3	39,9	4,0	4,8	26,8

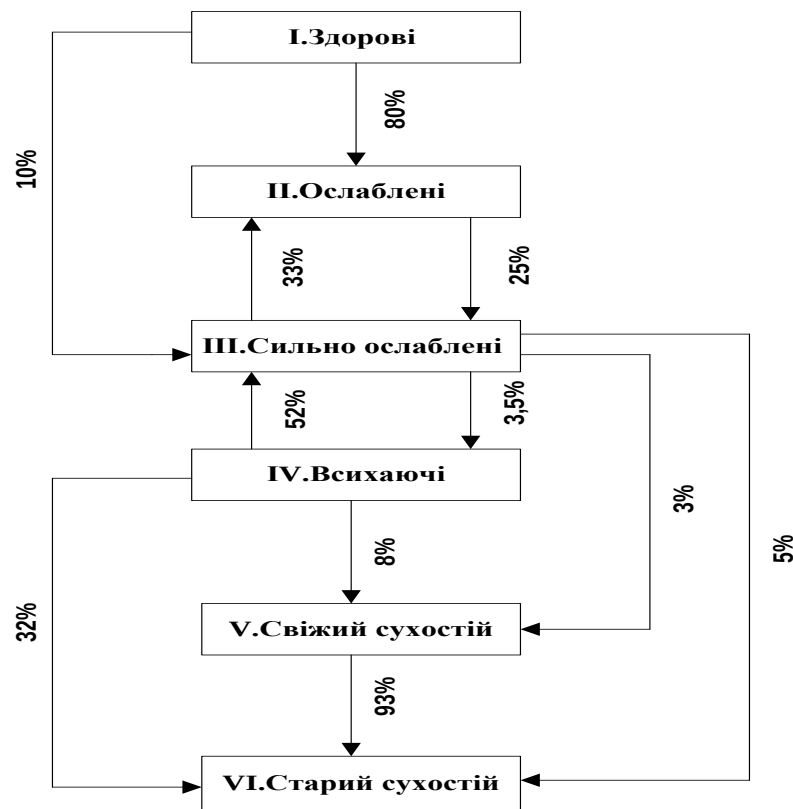


Рис. 5. Динаміка категорій стану в молодняку через рік після пожежі

У середньовікових деревостанах основним наслідком теплового випромінювання при низовій пожежі є опік стовбура. При збільшенні зволоженості погіршується стан досліджуваних сосняків (табл. 2). Найгірший стан сосняків відзначено в едатопах В₃-В₄.

Таблиця 2

Стан середньовікових сосняків пошкоджених пожежею

№ групи ЗП	Едатоп	Н _{ср.} , м	D _{ср.} , см	Н _{наг.} , м	Індекс стану	Розподіл дерев за категоріями стану, %					
						1	2	3	4	5	6
1	В ₂	23,8	28,6	1,4	2,8	-	31,0	62,0	7,0	1,0	-
2	В ₂	23,7	30,9	1,8	2,8	1,0	32,0	59,0	5,0	1,0	2,0
3	В ₂	19,3	18,6	1,6	3,3	-	17,0	54,0	9,0	18,0	1,0
4	В ₃	20,5	21,3	2,4	4,1	-	-	11,0	70,0	20,0	-
5	В ₃	21	24	1,3	3,8	-	6,0	51,0	7,0	34,0	3,0
6	В ₄	21	22	1,8	4,1	-	1,0	47,0	8,0	29,0	15,0

Сильний кореляційний достовірний зв'язок між показниками висоти нагару з одного боку та індексом стану або відсотком всихаючих і всохлих дерев – з іншого, встановлено лише для типу лісорослинних умов В₂. Кореляційна залежність індексу стану з висотою нагару для деревостанів у рік пожежі є сильною та достовірною ($r = 0,82$; $t_f = 5,12$; $t_{st} 0,001 = 4,22$; $n = 12$). Порівнюючи деревостани з різним періодом після пожежі, виявити таку залежність буває складно, оскільки сценарій можливого розвитку є неоднозначним. Погіршення категорії стану насадження спостерігається вже внаслідок пожежі середньої інтенсивності (0,5-1,5 м). Так, за висоти нагару 0,79 м стан насадження після пожежі постійно погіршувався і за 31 місяць змінився від 2,96 до 3,42. В іншому випадку навіть за середньої висоти нагару 2,88 м індекс стану змінювався від 2,93 (5 місяців) до 2,84 (31 місяць після пожежі). Така ситуація можлива, якщо в сосняках навіть за незначного ослаблення після пожеж та посушливих умов провокується розвиток епіфітотії кореневої губки.

У разі пошкодження стовбура важливим є ступінь прогорання кори, тобто пошкодження камбію. Якщо в нижній частині стовбура товщина кори велика і вогонь її не пропалив, то небезпека пошкодження камбію існує, коли вогонь, піднімаючись по стовбуру, доходить до тонкої кори. Висота, на якій спостерігається перехід товстої кори до тонкої, залежить від діаметра дерева. За діаметра 14-16 см, висота переходу товстої кори до тонкої становить всього 2 м, за 32-34 см – 5-6 м, 38-40 – 7-9 м.

Тому зрозуміло, чому найбільше пошкоджуються вогнем дерева 4 та 5 класів Крафта, тобто пригнічені та відсталі у розвитку. Для таких дерев фактично за будь-якої висоти нагару пошкодження є летальним, тобто майже у всіх випадках частка всохлих дерев становить 100%.

Не так негативно реагують дерева третього класу Крафта. У них спостерігається всихання на рівні понад 50% тільки після висоти нагару більше ніж 3 м. Для дерев другого класу відсоток всихаючих особин невеликий, та іноді навіть їх повна відсутність спостерігається до висоти нагару у 3,5 метра, а стрімке збільшення їх частки та випадки 100% всихання усієї групи помітно вже після 4

м. Найкращий стан в рік пожежі спостережено у домінуючих дерев першого класу.

Під час дослідження залежності зміни індексу стану та відсотку всихаючих дерев від «опіку тонкої кори» (1) встановлено дуже сильну достовірну залежність для ПП у свіжих едатопах (B_2). Залежно від різниці висот грубої кори і нагару у дерев 1 та 2 групи простежуються різке збільшення кількості всихаючих та всохлих дерев, що дає змогу виділити три рівні пошкодження:

1 – якщо різниця висот грубої кори і нагару дерева більше -4 м, то дерева майже не реагують на обгорання стовбура;

2 – за різниці від -1 до -4 м спостерігається погіршення стану насадження, кількість усихаючих дерев змінюється в межах 20%;

3 – за різниці від -1 до +2 м і нижче спостерігається стрімке погіршення стану та збільшення кількості всихаючих дерев до 40% і більше (табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнт кореляції (r) між індексом стану, відсотком всихаючих дерев та висотою нагару або «величиною опіку тонкої кори»

№ групи ЗП	індекс стану залежно від		% всихаючих і всохлих дерев від		Едатоп
	$H_{\text{наг.}}$	$H_{\text{опік.}}$	$H_{\text{наг.}}$	$H_{\text{опік.}}$	
1	0,83*	0,92*	0,68	0,94*	B_2
2	0,64	0,92*	0,62	0,88*	
3	0,64	0,95*	0,64	0,98*	
4	0,28	0,66*	0,61	0,71	B_3
5	-0,23	0,62	0,03	0,71	
6	0,69	-0,35	0,67	-0,37*	B_4

Примітка: *достовірний за рівня значущості $t_{st,0,01}$

Цей показник дав змогу визначити залежність пошкодження дерев від висоти грубої кори (рис. 6, 7).

У всіх групах, за винятком едатопу B_4 , стан дерев погіршується внаслідок збільшення «опіку тонкої кори». Між цими показниками для сосняків в умовах B_2 встановлено дуже сильний достовірний кореляційний зв'язок.

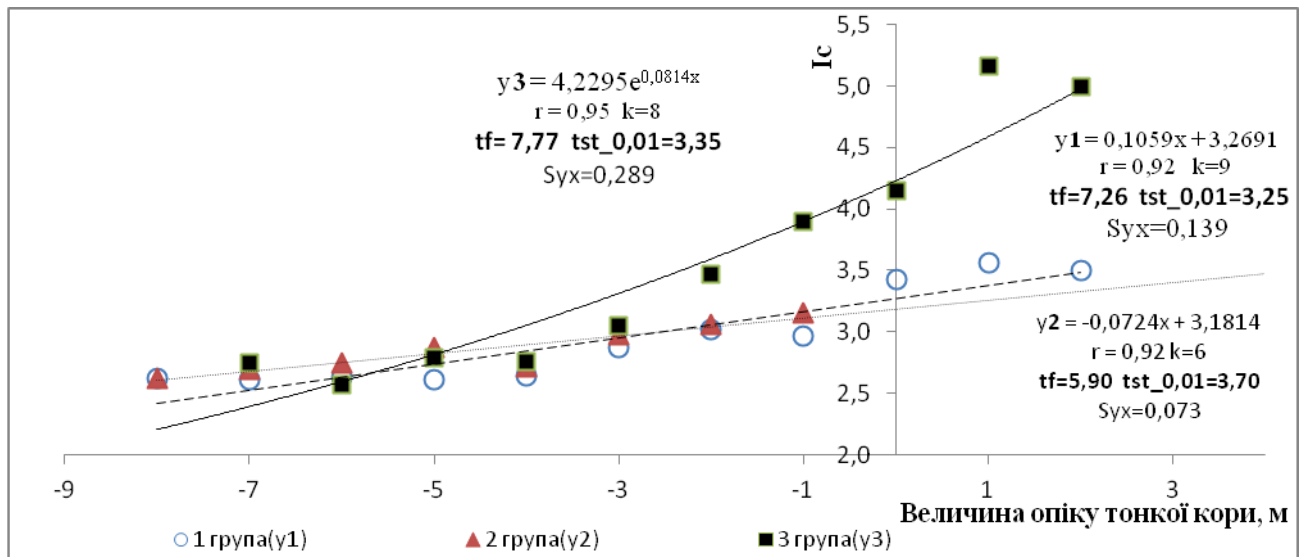


Рис. 6. Залежність індексу стану дерев від величини опіку тонкої кори пошкоджених пожежею сосняків в групах 1-3 (едатоп В₂)

Для сосняків в едатопі В₃-В₄ (4-6 групи) такі залежності або недостовірні, або мають зворотний зв'язок. Це відбувається тому, що тут одночасно з пошкодженням стовбура спостерігається сильне пошкодження коріння внаслідок теплопровідності ґрунту і (або) часткового його вигорання (рис. 8).

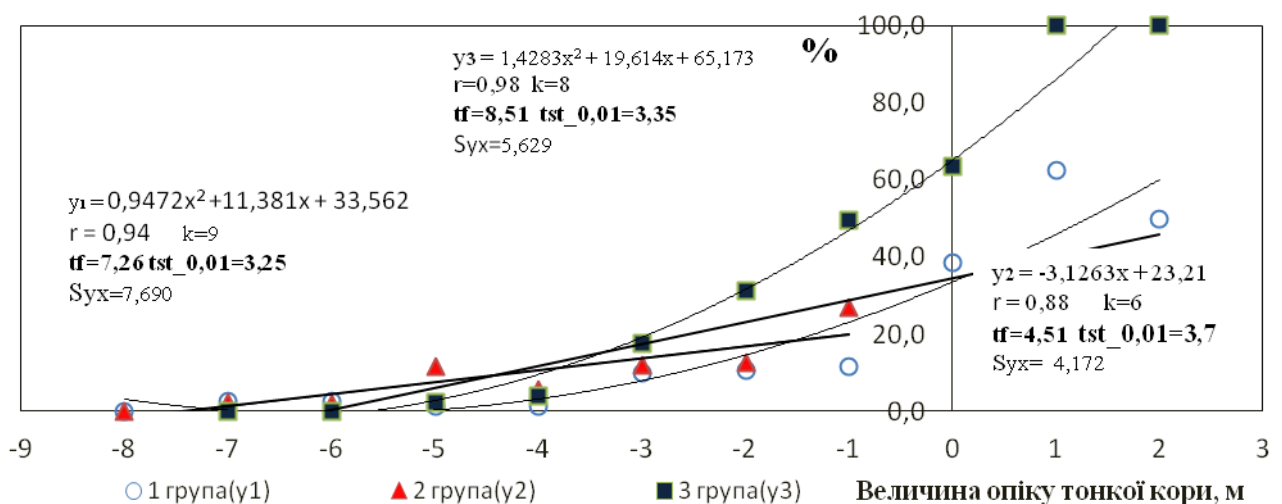


Рис. 7. Залежність відсотка всихаючих і всохлих дерев від величини опіку тонкої кори в групах 1-3 (едатоп В₂)



Рис. 8. Пошкодження корневих систем пожежею в едотопі В₃

Ситуація ускладнюється тим, що в таких умовах сосна розвиває поверхневу кореневу систему з розвинутими поверхневими лапами, для якої низові пожежі будуть особливо небезпечними. Навіть без видимого пошкодження корневих систем вже за висоти нагару в 1 м більшість дерев відносять до усихаючих і всохлих (табл. 4).

Таблиця 4

Розподіл дерев за категоріями стану та ступенем пошкодження корневих систем (для групи 5 – В₃)

Пошкодження корневих систем	Розподіл дерев за категоріями стану, %						Всього
	1	2	3	4	5	6	
1	-	-	2,0	6,9	2,9	-	11,8
2	-	-	2,9	4,9	2,0	-	9,8
3	-	-	1,0	11,8	8,8	-	21,6
4	-	-	1,0	50,0	5,9	-	56,9
Всього:	-	-	6,9	73,5	19,6	-	100,0

Висновки. Пошкодження дерев конвективним теплоперенесенням під час низових пожеж призводить до різкого погіршення стану сосняків. Найбільш характерним це явище є для молодняків, тобто невисоких дерев з низько опущеною кроною. Найкращим діагностичним показником для прогнозування післяпожежного розвитку молодняків є показник «Відносна висота дехромації крони».

У молодняках відразу після пожежі сильно погіршується їхній стан. Однак надалі, поряд з погіршенням, значна частина дерев покращує свій стан за рахунок відновлення крони.

У середньовікових деревостанах основним наслідком теплового випромінювання під час низової пожежі є опік стовбура. Стан досліджуваних сосняків погіршується із зростанням вологості ґратопу (найгірший – в умовах В₃-В₄).

Сильний кореляційний достовірний зв'язок між показниками стану і висотою нагару дерев встановлено лише для типу В₂. У деревостанів з різним періодом після пожежі виявити таку залежність досить складно, оскільки усихання сосняків можливе навіть внаслідок слабкої пожежі.

У разі пошкодження внаслідок теплового випромінювання основним чинником є ступінь пошкодження камбію. Якщо в нижній частині стовбура товщина кори значна і вогонь її не пропалив, то небезпека пошкодження камбію існує, якщо вогонь, піднімаючись по стовбуру, досягає тонкої кори. Кращим із запропонованих діагностичних показників є «опік тонкої кори».

Висота переходу товстої кори до тонкої зростає із збільшенням діаметра дерева. Тому зрозуміло, чому найбільше пошкоджуються вогнем пригнічені та відсталі у розвитку дерева.

Для сосняків в ґратопі В₃-В₄ такі залежності між показниками стану, опіком тонкої кори і висотою нагару дерев або не достовірні, або мають зворотний зв'язок. Це відбувається тому, що тут одночасно із пошкодженням стовбура спостерігається сильне пошкодження коріння. В таких умовах сосна має поверхневу кореневу систему, для якої низові пожежі особливо небезпечні.

Список використаних джерел

1. **Атраментова Л.О.** Біометрія. Порівняння груп і аналіз зв'язку : підручник [для студ. вищ. навч. закл.] / Л.О. Атраментова, О.М. Утаєвська. – Х.: Ранок, 2007. – Ч. II. – 176 с.
2. **Ворон В.П.** Діагностика пошкодження стовбурів сосни при низових пожежах / В.П. Ворон, Є.Є. Мельник, С.Г. Сидоренко // Наук. вісник Нац. лісотех. ун-ту України : зб. наук.-техн. праць. – 2012. – Вип. 22.10 – С. 64-68.
3. **Ворон В.П.** Залежність виникнення пожеж від типів лісу і характеристик деревостанів та їх розвиток після пожеж / В.П. Ворон, В.О. Лещенко, Є.Є. Мельник // Наук. вісник Нац. лісотех. ун-ту України : зб. наук.-техн. праць. – 2010. – Вип. 20.8. – С. 64-71.
4. **Ворон В.П.** Наукові основи діагностики антропогенного пошкодження лісових екосистем / В.П. Ворон // Ліс. журн. – 2011. – №1. – С. 24-28.
5. **Ворон В.П.** Тенденції виникнення пожеж у лісах зеленої зони м. Харкова / В.П. Ворон, Є.Є. Мельник // Лісівництво і агролісомеліорація : зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 115. – С. 207-214.
6. **Конев Э.В.** Математическая модель горения лишайникового напочвенного покрова / Э.В. Конев // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск, 1972. – С. 52-76.
7. **Косов И.В.** Механизм воздействия низовых пожаров на деревья хвойных видов / Материалы Всероссийской конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири» [17-19 сентября 2008 г.] // И.В. Косов. – Красноярск, 2008. – С. 146-149.
8. **Купалова Г.І.** Теорія економічного аналізу : навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Купалова Г.І. – К.: Знання, 2008. – 639 с.
9. **Лещенко В.О.** Прямі втрати лісового господарства від пожеж у сосняках державного підприємства "Зміївське лісове господарство" / В.О. Лещенко // Наук. вісник Нац. лісотех. ун-ту України : зб. наук.-техн. праць. – 2009. – Вип. 19.8. – С. 91-98.

10. Національні доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2004-2009 роках [Електронний ресурс]. Режим доступу : http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html.

11. Сухинин А.И. О механизме горения сосновой хвои / А.И. Сухинин, Э.В. Конев // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск, 1972. – С. 7-51.

В.П. Ворон, С.Г. Сидоренко, Е.Е. Мельник, С.В. Ивашинюта

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ДЕРЕВЬЕВ ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ ПОВРЕЖДЕНИЯ СОСНЯКОВ ПОСЛЕ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ

Исследована роль различных типов повреждений сосновых древостоев низовыми пожарами. Определены основные причины возникновения того или иного типа повреждений, установлено их влияние на состояние деревьев в разных типах лесорастительных условий. Доказано, что высота нагара не является универсальным критерием определения повреждения деревьев. Предложены критерии прогнозирования развития сосняков, поврежденных низовыми пожарами.

Ключевые слова: сосняки, низовые пожары, высота нагара, типы повреждений

V.P. Voron, S.G. Sidorenko, E.E. Melnik, S.V. Ivashinyuta

FEATURES OF PINE STAND DEVELOPMENT WITH VARIOUS TYPES OF DAMAGE AFTER SURFACE FIRE

The role of different types of damage in pine forests after surface fires was investigated. The main reasons that effect to the occurrence of any type of damage defined. The influence of different types of damage on the state of pine trees in different types of site conditions were established. It is proved that the height of char is not a universal criteria for determining damage of trees. The Criteria for forecasting of the pine stand development which are damaged after surface fire were proposed.

Key words: pine stand, surface fire, heat transfer mechanisms, types of damage