

Ворон В.П., Коваль І.М., Сидоренко С.Г., Мельник Є.Є.,
Ткач О.М., Борисенко В.Г., Тимошук І.В., Бологов О.Ю.

ПІРОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ СОСНЯКІВ УКРАЇНИ

ПІРОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ СОСНЯКІВ УКРАЇНИ

Державне агентство лісових ресурсів України
Національна академія наук України
Український орден «Знак пошани» науково-дослідний
інститут лісового господарства та агролісомеліорації
ім Г. М. Висоцького

**Ворон В.П., Коваль І.М., Сидоренко С.Г., Мельник Є.Є., Ткач О.М.,
Борисенко В.Г., Тимошук І.В., Бологов О.Ю.**

ПРОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ СОСНЯКІВ УКРАЇНИ

Харків-2021

УДК 630*43:630.561.243

П 33

Рекомендовано до друку Вченою радою УкрНДІЛГА
(протокол № 7 від 9 червня 2021 р.)

Рецензенти:

Андронов В.А. Проректор з наукової роботи Національного університету цивільного захисту України, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук

Мазепа В.Г. Професор кафедри лісівництва Національного лісотехнічного університету України, доктор сільськогосподарських наук, професор

Максименко Н.В. завідувач кафедри екологічного моніторингу і заповідної справи навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктор географічних наук, професор,

П 33 Пірогенна трансформація сосняків України / Ворон В.П., Коваль І.М., Сидоренко С. Г., Мельник Є.Є., Ткач О.М., Борисенко В.Г., Тимошук І.В., Бологов О.Ю., – Харків, ТОВ Планета-Прінт, 2021. – 286 с.

ISBN 978-617-77897-54-4

Монографія присвячена вивченню тенденцій виникнення пожеж, розвитку лісів після пожеж, прогнозуванню післяпожежного розвитку лісових екосистем із врахуванням наявності горючих матеріалів, погодних умов та антропогенних навантажень, а також підвищенню їх пожежостійкості. Для зменшення негативних наслідків спричинених лісовими пожежами важливою є своєчасна діагностика та прогнозування розвитку пошкоджених вогнем деревостанів. Після пожежі можливе стрімке погіршення санітарного стану пошкоджених сосняків, яке призводить до значних екологічних та економічних збитків, пов'язаних із погіршенням технічних якостей деревини та зниженням виходу ділової деревини. Оскільки інтенсивність, тривалість і усихання після пожеж має певні регіональні особливості доцільно отримання регіональних показників оцінювання пірогенного відпаду в сосняках України. Розробка критеріїв прогнозування відпаду після пожеж дозволить своєчасно приймати управлінські рішення щодо збереження лісостанів та зменшення пірогенних збитків лісового господарства.

Рекомендована науковцям, фахівцям лісового господарства, аспірантам і може використовуватися як навчальний посібник при підготовці студентів відповідних спеціальностей.

УДК 630*43:630.561.243

ISBN 978-617-77897-54-4

© Ворон В.П., Коваль І.М., Сидоренко С. Г.,
Мельник Є.Є., Ткач О.М., Борисенко В.Г.,
Тимошук І.В., Бологов О.Ю., – 2021

ЗМІСТ	Стр
Передмова.....	8
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОШИРЕННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ І ПІРОГЕННИХ ЗМІН ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ.....	10
1.1 Масштаби, причини та тенденції виникнення лісових пожеж	10
1.2 Негативний вплив пожеж на лісові екосистеми.....	18
1.2.1 Пірогенне порушення балансу вуглецю.....	18
1.2.2 Пірогенні зміни ґрунтів лісових насаджень.....	20
1.2.3 Пірогенні зміни деревостанів.....	21
1.3 Заходи щодо запобігання лісовим пожежам і зменшення негативних наслідків	25
Висновки до розділу.....	28
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	29
2.1 Вивчення особливостей виникнення лісових пожеж.....	29
2.2 Вивчення характеру та ступеня пошкодження й визначення критеріїв оцінювання стану лісів, ушкоджених низовими пожежами... ..	32
2.2.1 Вивчення стану та особливостей пошкодження пожежами лісових насаджень і визначення критеріїв прогнозування їхньої деградації.....	32
2.2.2 Вивчення механізму пошкодження та критеріїв прогнозування стану лісів, ушкоджених низовими пожежами	33
2.3 Визначення показників пожежостійкості лісів із урахуванням погодних умов, антропогенного навантаження та наявності горючих матеріалів.....	36
2.4 Дослідження постпірогенних змін продуктивності сосняків.....	37
2.5 Дослідження лісової підстилки в пошкоджених низовою пожежею сосняках та температурні режими її горіння.....	37
2.6 Вивчення постпірогенного розвитку насаджень дендрохронологічними методами.....	41
2.7 Визначення депонованого вуглецю в насадженнях, пошкоджених пожежами.....	42
РОЗДІЛ 3. ПОЖЕЖІ НА ПОЛІССІ ТА ЇХНІ НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ДЛЯ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ.....	45
3.1 Тенденції пожеж у лісах Полісся	45
3.1.1 Часові тенденції виникнення пожеж на прикладі Рівненщини... ..	45
3.1.2 Таксаційна характеристика сосняків, пошкоджених пожежами....	51
3.1.3 Просторові тенденції виникнення пожеж.....	57
3.2 Особливості формування й параметри горіння підстилки та пірогенні зміни ґрунтів соснових лісів	60
3.2.1 Запас та особливості структури лісової підстилки як показники ризику виникнення пожеж у соснових лісах Поліської частини Рівненщини.....	60
3.2.2 Температурні режими горіння підстилки соснових лісостанів.....	73

3.2.3 Вплив теплового випромінювання на лісові ґрунти.....	77
3.2.4 Пірогенні зміни хімізму ґрунтів соснових насаджень	83
3.3 Особливості післяпожежного розвитку сосняків у Поліссі.....	86
3.3.1 Особливості пошкодження сосняків у «мокрі» та «нормальні» роки. Пошкодження стовбура тепловипромінюванням.....	86
3.3.2 Пошкодження кореневих систем унаслідок теплопровідності	93
3.3.3 Пошкодження крон дерев у молодняках конвективним потоком під час низової пожежі	96
3.3.4 Особливості пошкодження сосняків в аномально сухі роки.....	98
3.3.5 Пошкодження стовбура дерев тепловипромінюванням у сосняках ..	100
3.3.6 Пошкодження крони дерев конвективним потоком	102
3.3.7 Пошкодження кореневих систем унаслідок теплопровідності	103
3.4 Пірогенні зміни радіального приросту та товарності сосняків Полісся	105
3.4.1 Зміни радіального приросту в пошкоджених пожежею сосняках. Пірогенні зміни радіального приросту в 70-річному сосняку	105
3.4.2 Пірогенні зміни радіального приросту в 50- річному сосняку.....	110
3.4.3 Пірогенні зміни товарності сосняків Полісся.....	115
Висновки до розділу	118
РОЗДІЛ 4. ЛІСОВІ ПОЖЕЖІ У ЛІСОСТЕПУ ТА ЇХНІ НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ	120
4.1 Лісові пожежі у лісах Харківщини	120
4.1.1 Роль кліматичних умов у виникненні пожеж	122
4.1.2 Тенденції виникнення пожеж у лісах зеленої зони м. Харкова.....	127
4.2 Зміни кислотності ґрунтів сосняків пошкоджених пожежами.....	136
4.3 Вплив низових пожеж на лісові екосистеми.....	138
4.3.1 Зміни стану соснових молодняків.....	138
4.3.2 Особливості постпірогенного розвитку середньовікових і пристиглих сосняків.....	148
4.3.2.1 Динаміка стану сосняків в рік пожежі.....	148
4.3.2.2 Динаміка стану сосняків у наступні роки після пожежі.....	159
4.3.2.3 Динаміка стану сосняків чутливих до кореневої губки після пожежі	162
4.3.3 Особливості постпірогенного розвитку стиглих і перестійних сосняків	164
4.3.4 Пірогенна трансформація трав'яного покриву.....	168
4.4 Вплив низових пожеж на продуктивність та приріст сосняків.....	173
4.4.1 Вплив пожеж на продуктивність сосняків	173
4.4.2 Вплив низових пожеж на приріст соснових молодняків	180
4.4.2.1 Динаміка приросту за висотою	180
4.4.2.2 Динаміка радіального приросту	185
4.4.3 Радіальний приріст пошкоджених пожежею середньовікових сосняків	186
4.4.4 Взаємозв'язки між пошкодженням стовбура і радіальним приростом	188

4.5 Основні показники індивідуальної вогнестійкості сосни звичайної	189
4.5.1 Висота стовбура до нижньої живої гілки як показник вогнестійкості	189
4.5.2 Висота грубої кори у дерев у сосняках різних вікових груп	190
4.5.3 Товщина кори та її зміни з висотою дерева	193
4.5.4 Особливості вогнестійкості дерев стиглих і перестійних сосняків	195
4.6 Лісова підстилка соснових лісостанів та її роль у пошкодженні дерев вогнем	196
4.7 Економічні втрати сосняків пошкоджених низовими пожежами	200
4.8 Депонування вуглецю в пірогенно пошкоджених соснових молодняках	202
Висновки до розділу	206
РОЗДІЛ 5. ПОЖЕЖИ У СТЕПУ ТА ЇХНІ НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ДЛЯ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ	208
5.1 Тенденції та наслідки пожеж у лісах Північно-Східного Степу України	208
5.1.1 Часові та просторові тенденції виникнення пожеж	208
5.1.2 Наслідки пошкодження сосняків пожежами в Північно-Східному Степу	217
5.2 Тенденції та наслідки пожеж у лісах Південного Степу України	221
5.2.1 Кліматичні умови регіону досліджень, що збільшують пожежний ризик	221
5.2.2 Особливості виникнення лісових пожеж і горимість лісів	222
5.2.3 Дослідження лісових горючих матеріалів	228
5.2.4 Постпірогенний розвиток сосняків у Південному Степу	229
Висновки до розділу	232
ВИСНОВКИ	234
ДОДАТКИ	236
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	266

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

Державні підприємства:

Влд – Володимирецьке СЛАП; Клс – ДП «КлесівськеЛГ»; Ксп – ДП «Костопільське ЛГ»; Ост – ДП «ОстківськеЛГ»; Ркт – ДП «Рокитнівське ЛГ»; Срн – ДП «Сарненське ЛГ».

Лісництва: Блв – Біловізьке; Дуб – Дубнівське; Кам – Кам'янське; Клв – Клесівське; Ксп- Костопільське; Крч – Кричильське; Лок – Локницьке; Люб – Любоньське; Мсц – Масевицьке; Мащ – Мащанське; Муш – Мушнянське; Нем – Немовицьке; Ркт – Рокитнівське; Стр – Страшівське; Срн – Сарненське; Центр – Центральне;

Характеристика пожежної безпеки:

КП – комплексний показник пожежної безпеки;

КПН – клас пожежної безпеки;

КППН – клас природної пожежної безпеки;

f – кількість випадків пожеж %;

f/n – кількість пожеж в середньому на день;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$.

Відносна горимість: Низ. – Низька; Н ср. – Нижче середньої; Ср. – Середня; В. ср. – Вища за середню; Вис. – Висока; Над. - Надзвичайна

Характеристика погодних умов:

ГТК – гідротермічний коефіцієнт Селянинова;

АМ – аномально мокрий;

М – мокрий;

Н – нормальний;

С – сухий;

АС – аномально сухий;

Т – теплий;

АТ – аномально теплий;

Х – холодний;

АХ – аномально холодний;

Характеристика деревостану:

А – вік деревостану, років;

ВЛП – Використання лісорослинного потенціалу, %;

ДП – державне підприємство;

ЛФ – лісовий фонд;

ППП – постійна пробна площа;

ТПП – тимчасова пробна площа;

ПСТ – природний ступінь товщини;

СКК – середній клас Крафта;
 ТЛУ – тип лісорослинних умов;
 КК – клас Крафта;
 ЖНП – живий надґрунтовий покрив;
 $D_{сер}$ – середній діаметр насадження, см;
 N – загальна кількість дерев, шт;
 M – запас деревостану, мЗ·га-1;
 $H_{відн}$ – відносна висота нагару, %;
 $H_{гр. кор.}$ – висота грубої кори, м;
 $H_{наг}$ – середня висота нагару на стовбурі, м;
 $H_{сер}$ – середня висота насадження, м;
 КС – категорія санітарного стану;
 I_c – середній індекс санітарного стану насадження;
 Деф. – дефоліація, %;
 Дех. – дехромація, %;
 Z_R – поточний радіальний приріст стовбура.

Наземні горючі лісові матеріали:

ЛГМ – лісові горючі матеріали;
 L – опадовий шар лісової підстилки;
 F – ферментативний шар лісової підстилки;
 H – гуміфікований шар лісової підстилки.

Статистичний аналіз:

F_f – фактична величина критерію Фішера;
 F_{st} – стандартне значення критерію Фішера;
 h^2 – сила впливу фактора за Снедекором;
 Max – максимальне значення;
 Min – мінімальне значення;
 r – коефіцієнт кореляції;
 R^2 – коефіцієнт детермінації;
 S – площа, га;
 t_f – фактичне значення величини нормованого відхилення;
 t_{st} – критерій Стюдента, величина нормованого відхилення;
 V – коефіцієнт варіації;
 X – середнє арифметичне;
 σ – середньоквадратичне відхилення.

ПЕРЕДМОВА

Антропогенна трансформація лісового покриву планети призвела до загострення екологічного стану і появи глобальних змін природного середовища. У зв'язку з цим ведеться пошук нових підходів до рішення проблеми збереження лісів, захисту біорізноманіття, посиленню ролі лісової рослинності у стабілізації екологічних процесів. Все більше розповсюдження отримує опрацьована на міжнародному рівні концепція сталого розвитку лісів, яка базується на екосистемних принципах управління лісовим господарством.

Лісові пожежі останнім часом роками набули великих масштабів та призводять до зниження природно-захисних та рекреаційних функцій насаджень та значних економічних і соціальних втрат. Тільки у бореальних лісах планети у 80-ті роки минулого сторіччя в середньому щорічно вигорало по 8 млн га.. За період 2003–2017 рр. за даними Державного агентства лісових ресурсів України у лісах країни зареєстровано понад 45 тис. випадків пожеж загальною площею 58,7 тис. га, в середньому – 3,9 тис. га на рік.

У зв'язку з глобальним потеплінням та зростанням посушливості клімату прогнозують подальше збільшення частоти та масштабів лісових пожеж. Класичним прикладом є катастрофічні лісові пожежі в Українському Поліссі та Луганщині в 2020 році, коли вплив комплексу несприятливих чинників призвів до найбільших лісових пожеж за всю історію незалежної України. Пожежами було пройдено понад 74,6 тис га лісів, а економічні втрати сягали 19,1 млрд грн. Зважаючи на це, заходи щодо ефективного збереження й охорони лісів, пом'якшення наслідків пожеж набувають пріоритетного значення для лісового сектору України.

Частота виникнення загорянь у цих лісах зумовлюється значною мірою погодними й лісорослинними умовами. Дослідження тенденцій виникнення лісових пожеж в окремих регіонах та постпірогенного розвитку насаджень є надзвичайно актуальними. Для зменшення негативних наслідків та економічних втрат у лісах, пошкоджених низовими пожежами, необхідно визначити особливості постпірогенної зміни стану дерев як у рік пожежі, так і в подальші роки з метою своєчасного проведення відповідних санітарно-оздоровчих заходів.

Виникає потреба розроблення теоретико-методологічних засад для досліджень тенденцій лісових пожеж і постпірогенного розвитку лісових екосистем із урахуванням географічного розміщення лісових ресурсів і регіональних особливостей.

Робота виконана в Українському науково-дослідному інституті лісового господарства і агролісомеліорації ім. Г. Н. Висоцького (УкрНДІЛГА). При

вивченні пірогенних змін лісостанів використано мережу постійних пробних площ, закладених лабораторією екології лісу УкрНДІЛГА.

Моделювання термічного впливу пожеж на ґрунти та особливостей горіння підстилок в лісових екосистемах проведено спільно з співробітниками кафедри фізико-математичних наук Національного університету цивільного захисту України. Доцентом к.т.н. Борисенко В.Г. та провідним інженером Барабашом І.В. під керівництвом зав кафедрою доцентом Мунтяном В.К. створена установка яка дозволяє моделювати розповсюдження теплових потоків в лісових ґрунтах та підстилці. Виявлено особливості ходу цих процесів в дерново-опідзолених піщаних та сірих лісових ґрунтах .

При написанні книги зусилля авторів розподілились таким чином: розділи 1-5 написані д.с.-г.н. В. П. Вороном і к.с- г.н. С. Г. Сидоренком; підрозділи 3.4; 4.5; 4.9– к.с-г.н І. М. Коваль; підрозділи 3.1; 4.1-4.4;4.8; 5.1 – к.с-г.н. Мельником Є.Є.; розділ 3 – к.с-г.н. Ткачем О.М.; підрозділ 3.21,3.22- к.т.н Борисенком В.Г.; підрозділ 5.2 – Тимощуком І.В. Передмова, висновки підготовлені спільно всіма авторами.

При оформленні книги використані фотографії В. П. Ворона.

Автори висловлюють глибоку подяку всім особам, які сприяли в проведенню досліджень, надали допомогу при формуванні книги і дали корисні поради і пропозиції.

Дякуємо також спонсорам видання книги: лісівникам Рівненщини, ДП «Жовтневе ЛГ» і особисто його директору Чагаровському Р.Л., що надали допомогу у виданні книги.

Книга призначається для лісководів, екологів та працівників лісового господарства, а також викладачів і студентів лісогосподарських вузів і факультетів.

Відгуки і конструктивні пропозиції просимо направляти за адресою:

Україна, 61024 м. Харків, вул. Пушкінська, 86. УкрНДІЛГА або по електронній пошті: voron@uriff.org.ua, 52corvus@gmail.com
Тел. +38-057-707-80-31.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОШИРЕННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ І ПІРОГЕННИХ ЗМІН ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ

1.1 Масштаби, причини та тенденції виникнення лісових пожеж

На розвиток лісів у багатьох регіонах світу впливають пожежі.

Про масштабність пожеж у минулому можна судити з окремих публікацій [41, 79, 143]. Так, пожежа в 1915 р. пошкодила тайгу на площі 1,6 млн кв. верст по всьому Сибіру, тоді було знищено 165 млн м³ деревини [79].

Поява супутників розширила можливості щодо оцінювання масштабів пожеж у всьому світі. Встановлено, що тільки у бореальних лісах у 1980-ті роки щорічно вигорало до 8 млн га [152]. За іншою інформацією [312] на нашій планеті щорічно знищується пожежами близько 350 млн га лісів.

Наймасштабніші пожежі відзначено на території Російської Федерації (РФ), де кожного року виникає від 10 до 40 тис. випадків лісових пожеж [5], а площа, пройдена вогнем, становить близько 120 млн га [112]. Оцінка масштабів таких пожеж є доволі суперечливою. Найбільше пожеж (83 %) виникає на території Східного Сибіру [19, 39, 228, 235, 266] і Далекого Сходу і лише 17 % – у районах Західного Сибіру [37, 40]. Тільки в 1998 р. в Хабаровському краї загальна площа згарищ становила 2,5 млн га [237]. У 2005 р. згоріло понад 5,0 млн м³ запасу насаджень площі близько 134,5 тис. га. Того ж року в Республіці Саха-Якутія площа, пройдена вогнем, склала 335,2 тис. га [11]. У Росії кожна третя пожежа призводить до всихання насаджень [279], загалом це становить 1,5–3 млн га лісів [19, 172].

У США й Канаді щорічно виникає 150 тис. лісових пожеж [266, 269]. Лісові пожежі 2007 р. у Каліфорнії прирівняно до національної катастрофи [269].

За 10 років на Борнео пожежами пройдено 21 % площі суші (16,2 млн. га) [281]. У Болівії та деяких штатах Бразилії інтенсифікація сільського господарства обумовлює 84 % всіх пожеж [289].

В Європі впродовж 1950–2000 рр. лісові пожежі щорічно пошкоджували 5,6 млн м³ деревини. За період 2000–2007 рр. найбільше пожеж зафіксовано в Португалії та Іспанії, відповідно 156 і 210 тис. випадків [261]. Не менш напруженою була ситуація у Франції, Італії, Греції – від 14,4 до 36,5 тис. випадків із загальною площею від 25,1 до 174,5 тис. га [261]. Таким чином, найбільшу кількість пожеж зареєстровано в країнах Південної Європи (Southern Member States) (Рис. 1.1)

Зростання кількості та площі пожеж відбувається і в країнах Східної Європи [217]. У 1992 р. в Польщі на території Раціборських лісів згоріло близько 9 тис. га, а в Нотецькій Пущі – 5 тис. га лісу [313].

У лісах Білорусі за період з 1959 до 2015 р. виникло 136 тис. пожеж на загальній площі 206 тис. га. Через екстремальні умови погоди 2015 р. тут трапилося 1,2 тис. лісових пожеж на площі 16,9 тис. га [214].

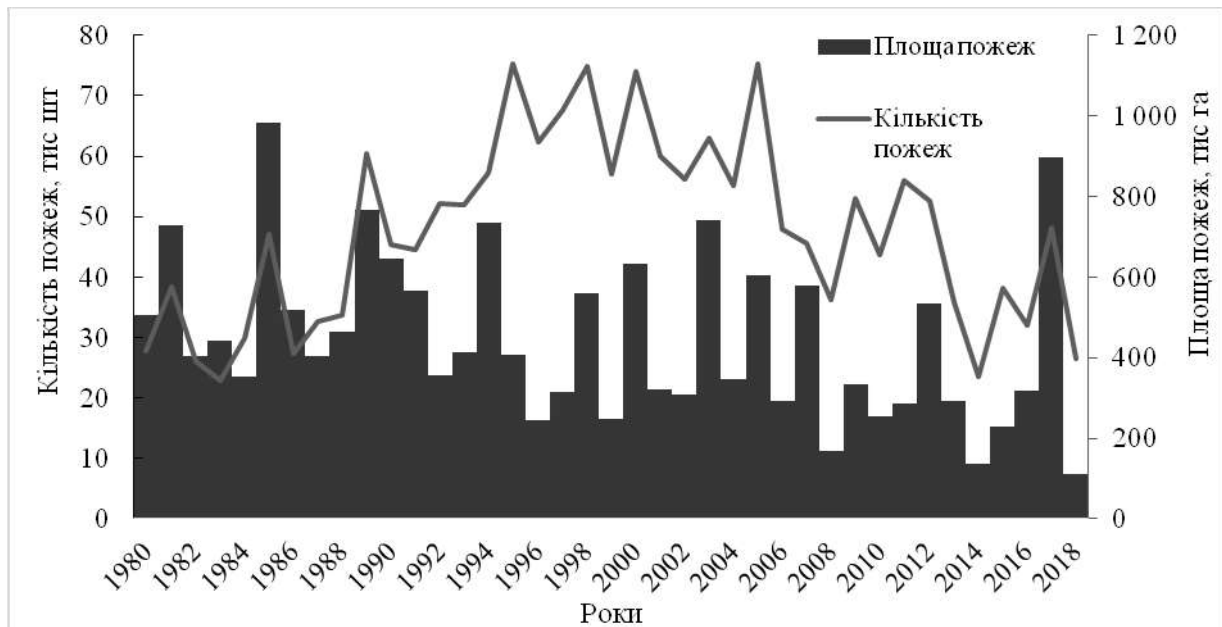


Рис. 1.1 – Площі та кількість пожеж у країнах Південної Європи (Португалія, Іспанія, Франція, Італія, Греція) [274].

Постійно напруженою є ситуація з лісовими пожежами в Україні [207]. За останні 30 років середньорічна кількість пожеж тут зросла у 2,6 разу [245, 312]. У 1980-ті роки сталося 1 673 пожежі на площі 1,2 тис. га, у 1990-ті – 3 917 пожеж на площі 3 962 га, за період 2000–2010 рр. – 4 743 пожежі на площі 4,4 тис. га [5]. Найбільше лісових пожеж виникало в роки з підвищеною пожежною небезпекою, серед яких особливо вирізнялися 1997 та 2007 рр.

На основі даних звітності Державного агентства лісових ресурсів України (ДАЛРУ), що викладені в статтях С. В. Зібцева [105, 312], П. П. Яворовського [245, 246], А. Д. Кузика [134] та В. В. Поповича [176], проаналізовано динаміку лісових пожеж за період від 1992 до 2017 р.

Загалом за період 1992–2017 рр. у лісах, що перебувають у постійному користуванні державних підприємств лісового господарства, підпорядкованих ДАЛРУ, виникло 86 958 пожеж, або в середньому 3 344 випадки за рік (рис. 1.2). Причому щорічна кількість пожеж коливалася від 805 до 7441 випадків. Загальна площа лісів, пройдених пожежами за 1990–2017 рр., становила 115 457 га, або в середньому 4 123 га за рік.

У літературі існують деякі розбіжності щодо порівняння кількості пожеж в окремі десятиліття. Так, згідно із С. В. Зібцевим [105], починаючи з кінця 1980-х років, в Україні зростали кількість пожеж та площа пошкоджених лісів. Наприклад, якщо у 1981–1989 рр. кількість лісових пожеж в країні коливалася в межах 792–2 377 випадків за рік, то в 1990–1999 рр. цей показник помітно підвищився, до 2 309–6 743 випадків. Аналогічно збільшилася річна площа пірогенно пошкоджених лісів: з 286–2 887,2 га до 1 670–13 061 га [105]. Упродовж 2005–2010 рр. пожежами пошкоджено 35,9 тис. га лісових земель, зокрема всохло 23,97 тис. га, знищено й пошкоджено вогнем понад 2,46 млн м³ лісової продукції [245, 246].

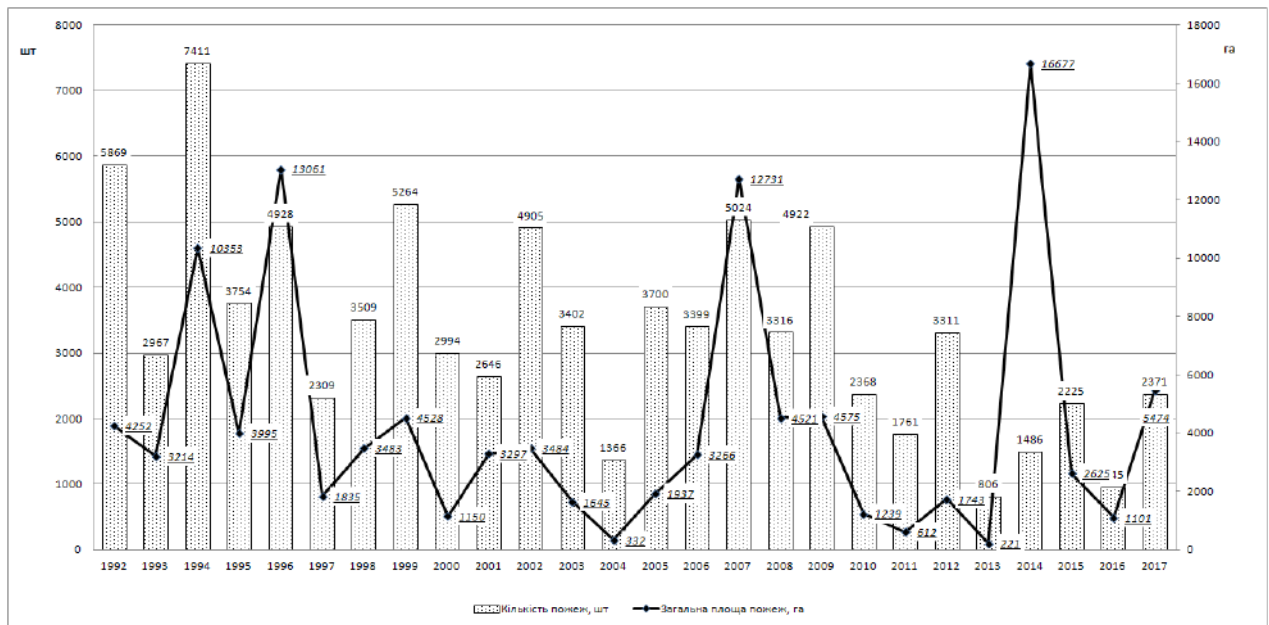


Рис. 1.2 – Кількість пожеж та їхня площа на території лісів що перебувають у постійному користуванні державних підприємств лісового господарства, підпорядкованих ДАЛРУ за період 1992–2017 рр.

Водночас В. В. Попович вважає [176], що у 2000-ні роки, навпаки, відбувалося зменшення цих показників. У 2007 р. в Україні виникло 5024 пожежі, а в наступні роки відзначено зменшення: 2008 р. – 3 316 випадків, 2009 р. – 4 900, 2010 р. – 2 400, 2011 р. – 1 761 випадок. У середньому щорічна площа лісових пожеж становила 5 000 га [176].

Масштабні пожежі сталися в 1993 р. в Криму, у 1995 р. в Луганській, Харківській, Херсонській областях, у 1996 р. в Київській, Донецькій, Луганській, Чернігівській областях, у 1998 р. в Луганській області, у 1999 р. в Херсонській і Луганській областях, у 2007 р. в Криму (пошкоджено понад 1000 га лісів) [220]. Найбільші лісові пожежі виникли на Херсонщині в серпні 2007 р., коли було знищено 8,7 тис. га лісів, та на Харківщині в серпні 2008 р., коли вогонь знищив 1,2 тис. га лісів [135]. На Херсонщині також катастрофічними були ще дві пожежі: перша – 31 липня 1990 р. на території Збур'ївського та Гладківського лісництв, під час неї пошкоджено 828,1 га лісу, друга – 9 серпня 2012 р. у Корсунському лісництві, коли було знищено понад 1 100 га насаджень. Сума прямих збитків становила понад 200 тис. грн (вартість пошкодженої деревини), непрямих – близько 20,4 млн грн [236].

Аналіз пожеж у лісах за останні роки свідчить, що вони виникають переважно під впливом антропогенних чинників [151]. Необережне поводження населення з вогнем під час відвідування лісів є причиною 92–99 % випадків пожеж [244].

Важливою складовою аналізу пожежної ситуації в лісах України є визначення просторових тенденцій виникнення пожеж у різних лісгосподарських та адміністративних областях України (табл. 1.1). При цьому доцільно аналізувати як абсолютні значення, так і відносні (в перерахунку на 1 000 га лісів). Найбільшу кількість пожеж зафіксовано в Північностеповій

лісогосподарській області – 929 випадків за рік, в Лісовій – 764 випадків за рік, Лісостеповій Лівобережній – 460 випадків за рік, Південнестеповій – 300 випадків за рік, Лісостеповій Правобережній – 207,4 випадків за рік і Карпатській – 7,7 випадків за рік. Дещо іншою є послідовність щодо площі лісів, пошкоджених вогнем. Найбільшу площу зафіксовано в Північнестеповій лісогосподарській області – 2 211 га/рік, далі за зменшенням: Лісова лісогосподарська область – 1 952 га/рік, Південнестепова – 1 389 га/рік, Лісостепова Лівобережна – 439 га/рік, Лісостепова Правобережна – 117 га/рік, Карпатська – лише 16 га/рік.

Відносна горимість за кількістю пожеж коливається в значних межах (від 2 до 1 715 випадків) і у всіх областях є надзвичайною. Причому різниця між окремими областями є суттєвою. Так, за кількістю випадків найбільші значення горимість має в Північнестеповій області – 1 009 шт./1000 га площі і Південнестеповій – 718 шт./1000 га, далі йде Лісостепова Лівобережна область – 437,6 шт./1000 га, Лісова – 179 шт./1000 га, Лісостепова Правобережна – 154 шт./1000 га. У Карпатській лісостеповій області сталося лише 6,3 випадки на 1000 га площі. Схожа тенденція існує й щодо горимості за площею. Різниця між Степом та іншими лісогосподарськими областями є особливо великою: наприклад, якщо в Степу горимість становить 27,2–36,9 га на 1000 га площі, то в Лісостеповій і Лісовій областях вона коливається від 1,0 до 4,6 га/1000 га.

Зональні особливості горимості лісів залежать від кліматичних умов природних зон, тобто температури та кількості опадів та поєднання екстремально високих температур і тривалої відсутності опадів та виникнення посух [135, 246, 314].

Розподіл опадів на території України змінюється від надлишкового зволоження на півночі і північному заході до нестачі вологи на півдні і південному сході. Так, якщо в Українському Полісі за рік випадає 600–700 мм опадів, та на заході Лісостепу – 550–750 мм, а в Степу – лише 450 мм. Таким чином, річна сума опадів зменшується з північного заходу на південний схід від 450 до 300 мм. У Поліссі температура липня становить +15...+19°C, у Лісостепу – +18...+22°C, у Степу температура липня змінюється із заходу на схід від +20 до +24°C. Кількість днів із температурою понад 15°C також збільшується від Лісової до Степової зони. Наприклад, якщо в Лісовій зоні (Поліссі) таких днів 95–110 на рік, то в Лісостеповій Лівобережній 110–130, а в Південнестеповій – 125–145 днів [24].

У зв'язку з потеплінням клімату, яке посилює негативну динаміку природно-антропогенних пірологічних факторів, в різних зонально-географічних умовах, насамперед там, де домінують соснові ліси, прогнозують збільшення загрози виникнення лісових пожеж [314].

Доволі мінливою є кількість лісових пожеж і в окремих лісогосподарських областях. Так, в Лісовій області (табл. 1.1) вона є найменшою у Волинській адміністративній області, далі у порядку зростання області розташовані таким чином: Рівненська, Житомирська, Київська. Таким чином, кількість пожеж збільшується з заходу на схід, а різниця між Київською

та іншими областями може сягати десяти разів. Причиною цього є, як зменшення кількості опадів із заходу на схід, так і велика густота населення в Київській області і наявність такого потужного мегаполіса, як столиця.

Таблиця 1.1 – Середньорічні кількість і площа пожеж та горимість лісів у лісогосподарських та адміністративних областях України за період 2007-2017 р.

Лісогосподарська область/адміністративна область	Кількість випадків пожеж	Площа пожеж, га	Відносна горимість	
			за кількістю випадків на 1000 га площі	за площею га на 1000 га площі
Лісова	763,9	1952	179,0	4,7
<i>Волинська</i>	25,5	40	40,8	0,6
<i>Житомирська</i>	128,5	204	128,3	2,3
<i>Київська</i>	417,7	1340	669,3	21,6
<i>Львівська</i>	9,4	34	15,1	0,6
<i>Рівненська</i>	54,7	90	75,0	1,2
<i>Чернігівська</i>	128,1	244	192,4	3,7
Лісостепова Правобержна	207,4	117	154,0	1,0
<i>Вінницька</i>	2,1	7	6,1	0,2
<i>Тернопільська</i>	1,3	2	7,1	0,1
<i>Хмельницька</i>	29,2	64	110,1	2,4
<i>Черкаська</i>	173,4	43	550,3	1,8
<i>Чернівецька</i>	1,4	2	5,9	0,1
Лісостепова Лівобережна	459,8	439	437,6	4,6
<i>Полтавська</i>	80,3	55	324,6	2,9
<i>Сумська</i>	124,6	116	293,2	2,8
<i>Харківська</i>	254,9	268	673,8	7,7
Північностепова*	929,5	2211	1009,0	27,2
<i>Дніпропетровська</i>	203,9	377	1137,8	27,3
<i>Донецька*</i>	225,2	235	1223,2	14,0
<i>Запорізька</i>	125,6	101	1243,6	18,5
<i>Кіровоградська</i>	35,8	12	217,6	0,7
<i>Луганська*</i>	339,0	1487	1159,4	53,1
Південностепова	300,5	1385	718,2	36,9
<i>Миколаївська</i>	70,1	52	713,8	8,9
<i>Одеська</i>	30,9	41	151,5	2,3
<i>Херсонська</i>	199,5	1292	1715,4	121,2
Карпатська	7,7	16	6,3	0,1
<i>Закарпатська</i>	6,7	13	10,2	0,2
<i>Івано-Франківська</i>	1,0	3	1,8	0,0

Примітка* Починаючи з 2014 р., на пожежну ситуацію значно вплинуло проведення бойових дій у Донецькій і Луганській областях.

Тенденції збільшення кількості пожеж із заходу на схід спостерігаємо і в Лісостепу. Так, у Лісостеповій Правобережній області кількість пожеж є в декілька разів меншою, ніж в Лісостеповій Лівобережній. Таку ж тенденцію помічено і в межах окремих лісогосподарських областей. У Лісостеповій Правобережній лісогосподарській області найбільше пожеж зафіксовано в Черкаській області, а в Лівобережній – у Харківській. Звичайно, в останній, поряд із суттєвою зміною температурного режиму і зменшенням кількості опадів, буде відігравати роль наявність такого великого міста, як Харків. Харківська область, густота населення якої є в понад 2 рази більшою проти інших областей, має більші показники горимості, як за кількістю, так і за площею.

У лісах Харківської області за період 1989–2015 рр. майже 60 % від загальної кількості пожеж припадає на ліси зеленої зони міста Харкова, а найбільшою кількістю та площею пожеж відзначаються ліси ДП «Жовтнєве ЛГ», які розташовані навколо мегаполіса [65, 68]. Більшість пожеж припадає на сосняки, що межують із залізничними й автомобільними шляхами та населеними пунктами. Саме в Бабаївському, Васищевському, Мереф'янському та Ракитянському лісництвах ДП «Жовтнєве ЛГ» і Задонецькому та Чемужівському лісництвах ДП «Зміївське ЛГ», у сосняках, з інтенсивним рекреаційним навантаженням відбувається 90 % всіх пожеж.

Найчастіше виникають та швидко поширюються лісові пожежі в молодняках та середньовікових насадженнях сосни, яких найбільше в лісах Лісової, Північностепової та Південностепової лісогосподарських областей. Загальна площа таких насаджень у державних підприємствах лісового господарства, підпорядкованих ДАЛРУ, становить понад 4 млн га, зокрема в Житомирській області – 403 тис. га, Чернігівській – 206 тис. га, Харківській – 208 тис. га, Херсонській – 60 тис. га, Луганській – 124 тис. га. У регіоні Карпат, Вінницькій, Тернопільській областях, де, як відомо, переважають листяні ліси з меншою природною пожежною небезпекою, лісові пожежі не завдають суттєвих збитків.

Відмінності в температурі й кількості опадів і посухи, що є результатом поєднання екстремально високих температур і тривалої відсутності опадів, впливають не лише на зональні особливості горимості, але й на пожежну небезпеку лісів у певні роки й періоди. Так, у період 2015–2017 рр. у Лісовій лісогосподарській області в окремі роки кількість та площі пожеж різнилися в десятки разів. Наприклад, у 2015 р. у Київській області було зафіксовано 359 випадків пожеж, у Житомирській – 220 випадків, у Волинській – 99, у Рівненській – 67 випадків, тоді як у 2017 р. було лише 26, 17, 0 та 10 випадків відповідно. У цей рік у зазначених областях площа пошкоджених лісів коливалася від 84 до 211 га. Найменше значення цього показника зафіксовано в Київській області (табл. 1.2).

Виникнення пожеж у Західному Полісі України донедавна обмежувалося достатньою кількістю опадів. Так, середня кількість опадів за 1945–2016 рр. становила 573 мм у рік. В окремі роки їхня кількість коливалася від 322 до

812 мм. Можливий як дефіцит, так і надлишок опадів. Відповідно до розрахованих раніше критеріїв аномальності [60], в основу яких покладено середнє квадратичне відхилення від середньоіх значень температури та опадів за період спостережень, всі роки, починаючи з 2008, є аномально теплими. Разом з тим за кількістю опадів ці роки дуже різнилися. Якщо 2015 рік (коли відзначено найбільшу кількість лісових пожеж у Поліссі) був аномально сухим, 2016 – сухим, то 2017 рік – аномально мокрим.

Таблиця 1.2. – Площі й кількість пожеж в лісах областей за даними обласних управлінь ДАЛРУ за період 2015–2017 рр.

Обласні управління Держлісагентства	Рік											
	2015				2016				2017			
	Кількість пожеж, шт.	Площа пожеж, га			Кількість пожеж, шт.	Площа пожеж, га			Кількість пожеж, шт.	Площа пожеж, га		
		середня однієї пожежі	загалом	зокрема верхових		середня однієї пожежі	загалом	зокрема верхових		середня однієї пожежі	загалом	зокрема верхових
Лісова												
Волинська	99	2,14	211,4	34	23	0,74	17,1	-	0	-	-	0
Житомирська	220	0,47	102,4	0	36	0,35	12,5	0	17	13,95	237,2	4
Київська	359	0,23	84,2	0	102	0,49	50,1	3,5	26	2,85	74	0
Львівська	3	1,30	3,9	2	4	1,68	6,7	-	6	4,15	24,9	0
Рівненська	67	1,91	127,7	8	15	1,13	16,9	2,9	10	0,65	6,5	0
Чернігівська	84	0,96	80,9	7	20	0,29	5,8	0	54	0,72	38,9	0
Лісостепова Правобережна												
Вінницька	3	2,63	7,9	0	0		0	0	1	0,20	0,2	0
Тернопільська	5	1,30	6,5	0	0	-	0	0	0	-		0
Хмельницька	46	8,92	410,2	81	13	0,14	1,8	0	4	0,13	0,5	0
Черкаська	72	0,23	16,8	1	30	0,11	3,2	0	129	1,13	145,6	12,7
Чернівецька	0	...	0	0	1	0,60	0,6	0	1	2,90	2,9	0
Лісостепова Лівобережна												
Полтавська	29	1,00	29,1	0	3	0,17	0,5	0	93	1,83	170,2	30,6
Сумська	85	0,26	22,4	0	14	0,22	3,1	0	46	0,50	22,8	11,7
Харківська	240	0,33	79,2	0	50	0,11	5,4	0	259	0,93	241,3	37,7
Північностепова												
Дніпропетровська	231	0,62	144,3	2	167	0,46	76,9	0	510	2,21	1126,6	167,1
Донецька	90	0,28	25,1	0	24	0,80	19,3	0	111	2,09	232	34
Запорізька	31	1,06	33	4	109	1,90	206,9	26	327	2,64	862,7	209,8
Кіровоградська	4	0,25	1	0	0	...	0	0	10	0,67	6,7	0
Луганська	353	3,13	1105	77	91	5,04	458,3	103	224	3,00	671,9	174,6
Південностепова												
Миколаївська	48	0,83	39,9	13	50	0,74	36,8	0,7	136	2,59	352,2	109,6
Одеська	11	0,47	5,2	0	15	1,67	25,1	0	27	2,19	59,1	0,7
Херсонська	123	0,34	42	7	169	0,64	107,8	5	381	3,09	1176	267,7

В ряді адміністративних областей Лісостепової лісогоподарської області та більшості областей Степової лісогоподарської області ситуація у 2017 р., навпаки, була більш напруженою, ніж у 2015 р. Так, у 2017 р. в Черкаській області сталося 129 пожеж проти 72 у 2015 р., у Харківській – 259 проти 240, у Дніпропетровській – 510 проти 231, у Запорізькій – 327 проти 31, у Херсонській – 381 проти 23 випадків.

Переважна більшість площ, пошкоджених верховими пожежами, припадала на Дніпропетровську, Запорізьку, Луганську, Миколаївську та Херсонську області.

Кількість лісових пожеж залежить від лісорослинних і погодних умов, наявності джерел вогню [9, 37, 65, 80, 102, 108, 109, 110, 123, 133, 135, 143, 165, 170]. На території колишнього СРСР переважна кількість пожеж виникала з вини людини [8, 64, 65, 84, 88, 116, 144, 217], а залежність кількості пожеж від чисельності жителів мала коефіцієнт кореляції, близький до одиниці [8, 160]. Неконтрольоване випалювання сухої трави навесні та восени, а також стерні на полях є причиною від 2,9 до 4 % випадків лісових пожеж [84, 88, 166], в окремих випадках причиною може бути самозаймання торфу й кам'яновугільних розсипів у териконах [88, 243].

Проведений в одному з районів Російської Федерації аналіз горимості лісів залежно від віддаленості від населених пунктів показав, що в радіусі до 5 км виникає 37,3 % усіх випадків пожеж, від 5 до 10 км – 29,2 %, від 10 до 20 км – 18,1 %, від 20 до 30 км – 8,2 %, від 30 до 50 км – 3,7 %, понад 50 км – 3,5 % [98]. В інших районах цей розподіл може бути іншим [166, 170].

З вини населення на території Туреччини виникає 99 % лісових пожеж [291], а у США в густонаселеній частині – не менше ніж 90 % пожеж, у малозаселених регіонах – близько 50 % [12].

Схожа ситуація щодо впливу людського чинника на пожежну ситуацію є характерною і для лісів України, де за даними статистики з вини населення виникає 85–98 % випадків пожеж [64, 65]. На 10-кілометрову зону навколо міст та селищ припадає більшість лісових пожеж [84, 88]. У лісах зелених зон цьому сприяють велика інтенсивність відвідувань лісів населенням та близькість населених пунктів, рекреаційних установ, доріг [62, 64, 65].

Аналіз лісових пожеж у державних підприємствах (ДП) лісового господарства Харківської області виявив залежність їхньої кількості від антропогенних чинників [62, 64, 65]. Переважна більшість пожеж виникає в період найбільшої ймовірності перебування людини в лісі – з 12 до 16 години доби. Найчастіше виникають пожежі в неділю та у вихідні дні [62, 64].

У лісах зеленої зони м. Харкова періодом пожежного максимуму є квітень – вересень. Найбільше пожеж відбувається в травні, місяці з великою кількістю святкових і вихідних днів. Доволі великою є частка пожеж у серпні (16 %), коли зазвичай починається грибний сезон [62, 64, 65].

Виникненню пожеж сприяє посуха, тобто комплекс атмосферних процесів, коли опади за період понад 20 днів становлять не більше ніж 30 % від середньомісячної норми для певного району [133, 135].

Потепління клімату може змінити солоність морів, інтенсивність та напрямок морських течій і руху повітряних мас, що негативно позначиться на біосферних процесах, пов'язаних із кругообігом води [241]. У зв'язку із цим прогнозують зростання загрози виникнення лісових пожеж, оскільки потепління клімату посилить негативну динаміку дії природних та антропогенних чинників у різних географічних умовах, насамперед там, де домінують соснові ліси з високим рівнем пожежної небезпеки [312].

Лісові пожежі завдають значних економічних збитків народному господарству. Безпосередні збитки від лісових пожеж в Україні тільки у 1998 і 1999 рр. склали 4,6 та 5,8 млн грн відповідно [91, 105, 106]. Наприклад, загальний розмір витрат на подолання наслідків пожеж у сосняках у ДП «Зміївське ЛГ» перевершував у середньому 40 тис. грн на 1 га [151, 207]. Проте ці збитки становлять лише 5–10 % від суми всіх екологічних збитків [152].

1.2 Негативний вплив пожеж на лісові екосистеми

Критерієм оцінювання пірогенних змін є втрата характерних ознак лісових екосистем [187]. Лісові пожежі призводять до суттєвих негативних екологічних наслідків, змін глобального балансу вуглецю [105, 106, 108], забруднення атмосфери радіаційно й хімічно активними викидами. Вони впливають на відбивну та випромінювальну властивості поверхні Землі, на кругообіг води [251] внаслідок зміни водного стоку та інтенсивності випарування з поверхні землі [37].

Наприклад, у Хабаровському краї масштабні пожежі у 1954, 1976 та 1998 рр. суттєво вплинули на всі об'єкти гідросфери [37, 144], причому пірогенний вплив на стік хімічних речовин у річках Сіхоте-Аліня відзначали впродовж дев'яти років після пожеж, що свідчить про тривале винесення розчинених речовин із водозбору, а також про атмосферне перенесення продуктів горіння з віддалених районів [37].

1.2.1 Пірогенне порушення балансу вуглецю

Ліси є важливим компонентом наземного вуглецевого циклу, лісова рослинність утримує близько 80 % вуглецю і є його головним резервуаром на планеті [261]. Проведено багато досліджень з визначення запасів органічного вуглецю у фітомасі лісів [28, 146, 147, 148, 250]. Лісові екосистеми відіграють важливу роль у накопиченні органічної маси та акумуляції вуглецю, отже, безпосередньо беруть участь у вуглецевому циклі, впливають на рівень вмісту CO₂ в атмосфері [2, 3, 4, 10, 14, 29, 30, 32, 45, 82, 87, 100, 104, 126, 141, 145, 148, 149, 153, 164, 165, 167, 169, 178, 180, 213, 222, 223, 232, 241, 250, 255, 261, 271, 283, 294, 302].

Ліс в умовах антропогенного впливу, виконуючи природоохоронні функції та поліпшуючи якість природного середовища, сам підпадає під вплив несприятливих факторів, зокрема пожеж. У результаті цього він може частково або повністю втратити свої корисні властивості. Серед таких властивостей – продукування кисню та депонування вуглецю. Пошкоджені пожежами деревостани втрачають ці основні функції. Динаміка запасу насадження тісно пов'язана зі зміною депонування вуглецю та продукування кисню.

Особливо небезпечним наслідком пожеж є швидке вивільнення й надходження до атмосфери CO₂ й хімічно активних викидів і, як результат, негативні зміни балансу вуглецю [64, 102, 105, 106, 108, 135]. Унаслідок пожеж лісові екосистеми стають не споживачами, а джерелами викиду вуглецю в атмосферу [106, 136, 143].

Вуглекислий газ надходить у повітря не лише в процесі горіння, але й внаслідок розкладу залишків наземної біомаси [39, 133, 271].

Бореальні ліси, які займають площу близько 1,2 млрд га [116], є регіоном акумуляції вуглецю [105, 106, 108] і беруть участь у вуглецевому циклі [123]. Ліси в процесі росту поглинають вуглекислий газ і тим самим зменшують парниковий ефект [31, 86]. У бореальних лісах центральної Канади зміни балансу вуглецю за період з 1948 по 2005 р. є наслідком збільшення частоти пожеж [253]. Надходження вуглецю, пов'язане з пожежами в найбільш поширених пралісах ялини чорної на Алясці, у 2004 р. становило 76 %, а у 2006–2008 рр. – 57 % [276]. За деякими прогнозними сценаріями [252], наприкінці 21-го століття загальна емісія вуглецю внаслідок пожеж у північноамериканських бореальних лісах підвищиться відносно 2000 р. в 2,5–4,4 разу.

У модринах Нижнього Приангар'я викиди вуглецю, залежно від інтенсивності пожежі, коливалися від 4,5 до 15,9 т/га [103]. У кедрових насадженнях у зоні тайги Середнього Сибіру емісія вуглецю під час пожеж середньої сили становила 14,0 т/га, під час сильних пожеж – 24,6 т/га. Найменші обсяги емісії вуглецю (10,1 т/га) відзначено під час швидких пожеж [138].

Якщо верхній намет у лісах *Pinus pinaster* у північній Португалії після пожежі не відновлюється, то після повторних пожеж запас вуглецю зменшується у 2,4 разу [297].

Обсяги викидів вуглецю в глобальному й регіональному масштабах коливалися від 148 до 2400 т на рік [284].

Під час горіння лісу відбуваються викиди інших газів: метану, закису азоту, оксидів вуглецю та азоту. Емісії цих газів є значно меншими, ніж вуглекислого газу, проте вони впливають на глобальне потепління [31].

Найбільшу суму викидів парникових газів в Україні, з урахуванням потепління, визначено для Миколаївської, Херсонської та Запорізької областей [31, 33]. Ці області також є регіонами з найвищим ризиком виникнення лісових пожеж. Натомість найменші обсяги емісій зафіксовано в Чернівецькій, Тернопільській, Івано-Франківській та Закарпатській областях.

1.2.2 Пірогенні зміни ґрунтів лісових насаджень

Лісові пожежі порушують рівновагу між окремими компонентами лісових екосистем [190, 224]. Значні зміни відбуваються в ґрунті. Вплив пожеж на властивості ґрунтів може бути різним залежно від типу насаджень і типу лісорослинних умов (ТЛУ), первинних властивостей ґрунту, а також виду та інтенсивності пожежі [20, 127, 128, 166, 173, 174, 175]. Серед пірогенних змін А. П. Сапожников виділив такі загальні риси [188, 189]:

- унаслідок прямого піролізу підстилки й ґрунту змінюються фізико-хімічні властивості [109, 112], гранулометричний склад, водний і тепловий режими, посилюється мінералізація органічних речовин, збільшується вміст водорозчинних сполук, знижується кислотність;

- унаслідок пірогенних порушень ґрунтоутворення змінюється вторинний рельєф, що обумовлює заболочування – розболочування, ерозію, зміну характеру акумулятивного процесу, посилення процесів утворення елювію – іллювію.

У горах Байкальської природної території внаслідок інтенсивних пожеж відбувалися процеси перевідкладення дрібнозему, які призводять до формування профілів із малопотужними горизонтами або поліциклічних профілів, часто з похованими горизонтами [127, 235]. Формується новий малопотужний органогенний горизонт, який за властивостями і кругообігом елементів відрізняється від природних аналогів [21, 214, 311].

Температурний режим горіння підстилки і вплив теплових потоків на ґрунт та кореневі системи вивчено недостатньо. Відомі окремі роботи з дослідження результатів горіння підстилки в натурних експериментах із підпалом лісових ділянок [190], експериментального дослідження низових пожеж [89], вивчення горіння мульчі та його впливу на ґрунт у лабораторних умовах [59]. Інформація щодо проведення подібних досліджень в Україні взагалі відсутня.

Згорання підстилки призводить до знищення органогенних горизонтів, тобто дегуміфікації ґрунтів, яка пов'язана з мінералізацією корневих залишків і відсутністю свіжого опаду на територіях після пожеж [22, 154, 204].

У складі гумусу збільшується частка гумінових кислот. У Польщі на згарищах виявлено значні втрати органічного вуглецю, азоту й деяких мікроелементів, а також зниження їхньої обмінної ємності, насиченості ґрунтів основами поглинального комплексу [68].

Унаслідок впливу високої температури знижується активність розкладення мортмаси [263]. Відбувається зниження активності або навіть повне знищення біомаси грибів у верхніх шарах ґрунту [21]. Зменшується чисельність і змінюється склад ґрунтових мікроорганізмів [259]. Повне їхнє відновлення не відбувається навіть за 10 років після пожеж [65, 237].

Попіл, що утворився після пожежі, має лужну реакцією та високий уміст легкорозчинних форм макроелементів (рН водний – 7,34; загальний вуглець – 11,3 %; рухомі сполуки: азот – 42,2, фосфор – 70, калій – 105 мг/100 г ґрунту)

[127, 179]. Тому в пірогенно трансформованих верхніх горизонтах ґрунтів зростає вміст зольних елементів, кислотність поверхневих горизонтів змінюється від кислої до слаболужної, змінюється співвідношення обмінних катіонів, валових і рухомих форм азоту тощо. Ступінь цих змін визначається видом та інтенсивністю пожеж [22, 101, 169, 173–175, 201, 247, 255, 278]. Показником інтенсивності пожежі може бути глибина прогорання ґрунту [273, 285].

У результаті піролізу й мінералізації важкодоступних орґано-мінеральних сполук зростає вміст елементів живлення [196, 280, 286]. В умовах Північного Степу через місяць після пожежі в шарі ґрунту 0–2 см кислотність змінювалася з кислої на слаболужну, уміст фосфору збільшувався в 19–30 разів, азоту – у 3, калію – у 2 рази [179]. Термічний вплив призводив до змін умісту амонійного й нітратного азоту в орґаногенних горизонтах ґрунту [10]. Подібні пірогенні зміни на глибині 2–5 см були значно меншими, ніж у поверхневому шарі ґрунтів. Із часом властивості ґрунтів на згарищах поступово відновлюються. Проте згодом вміст елементів живлення через вимивання знижується [256]. Найактивніше відновлюються властивості ґрунтів впродовж першого року після пожежі [179]. Однак навіть через 10 років після пожежі повного відновлення не відбувається [313].

Внаслідок пірогенної трансформації лісової екосистеми змінюється температурний режим ґрунтів [127]. Умови існування організмів стають екстремальними, оскільки зменшується різниця температур між ґрунтовою та атмосферною частинами екосистеми [204].

1.2.3 Пірогенні зміни деревостанів

Пожежі в лісових екосистемах знищують надґрунтовий покрив і фауну, пошкоджуючи деревостани, викликаючи зменшення біорізноманіття та стійкості [275, 283]. Під впливом пожеж відбувається перерозподіл фітомаси між живим наметом і мортмасою [272, 310].

Лісові пожежі поширюються за рахунок теплового випромінювання полум'я, руху фронту горіння й перекидання розжареного вугілля та іскор. Перехід низової пожежі у верхову залежить від вологості лісових горючих матеріалів (ЛГМ), сили низової пожежі, висоти початку (прикріплення) та щільності крони. Швидкість переходу низових пожеж у верхові в соснових молодняках є в 3–5 разів більшою, ніж у насадженнях віком понад 20 років [210, 211]. У разі низової пожежі проміжок часу до займання сухої хвої на нижніх гілках є в 4 рази меншим, ніж свіжої хвої [212]. Швидкість горіння хвої збільшується в ряду свіжа – опала – висушена в 1,3 разу, що корелює зі зміною вологості [209].

Вітром і конвекційними потоками розжарене вугілля та іскри переносяться на значну віддаль і, запалюючи горючі матеріали, утворюють пожежні плями, які потім зливаються з головним фронтом пожежі [97]. Конвекційні колонки висотою 300–400 м виникають навіть у разі слабого

вітру, а плями загорянь утворюються на відстані до 100–200 і навіть 300 м [2]. У разі посух, сильних вітрів та за наявності великих запасів горючих матеріалів швидкість висхідних конвекційних потоків може сягати 35 м/с. Якщо конвекційна колонка нахилена вітром у бік просування вогню, частинки, що палають, можуть переноситися на відстань до 1,2 км, а пожежа може перекидатися навіть через великі водні перешкоди.

Наслідки лісових пожеж залежать від виду й форми пожежі, кількісних і якісних характеристик ЛГМ, типу й частки пошкодження та пожежної стійкості окремих дерев та насадження загалом [43, 97, 129, 156, 182, 183, 226, 242]. На рівні окремого дерева стійкість отримала назву вогнестійкості, на рівні популяції – пожежостійкості, на рівні лісової формації – пірофітності. Вогнестійкість дерева – це ступінь потенційної стійкості його різних частин (органів) та особини до теплового впливу під час пожежі й здатність продовжити життєдіяльність після неї [156, 242]. Пожежостійкість насаджень характеризує стійкість популяцій дерев одного або декількох видів у межах конкретного фітоценозу. Пірофітність формації – це здатність виду зберігати свій ареал завдяки високій вогнестійкості, пожежостійкості та здатності успішно відновлюватися на згарищах [184, 185].

Пірогенне пошкодження дерев є наслідком сукупної дії теплових потоків на стовбур, коріння й крону [137]. На конвективний потік під час низової пожежі припадає 80–82 % від сумарного теплового потоку, на теплове випромінювання – 14–17 % і на теплопровідність – 3–4 % [7, 113, 121, 203]. У разі верхових пожеж теплове випромінювання сягає 90 % [251].

Пошкодження бруньок і хвої в кроні дерева відбувається навіть у разі дії гарячого потоку з температурою 60–120°C впродовж декількох десятків секунд. Такі температури виникають під час низових пожеж на висоті до 20 м від полум'я [43]. Водночас ці температури не є постійними через нерівномірність розподілу тепла й різну вологість ЛГМ [134, 212]. Крім того, конвективний потік повітря охолоджується вітром, який виникає через екранування гілками верхньої частини від висхідних потоків тепла [35].

Основною причиною всихання дерев хвойних порід може бути пошкодження крони [259, 299, 300]. Для прогнозування відпаду в такому випадку використовують висоту й частку пошкодження крони [263]. Виявлено зворотну кореляційну залежність між вмістом хлорофілу у хвої та мірою пошкодження крони дерева [291].

Стовбур можуть пошкоджувати як конвективні потоки, так і теплове випромінювання. Від пошкодження стовбура дерева оберігає кора, властивості якої залежать від її товщини, структури, щільності й вологості. Найбільш стійкими до ураження виявилися світлохвойні породи, що мають товсту омертвілу кору. Фронт пожежі проходить упродовж 2–3 хвилин, і товщина кори дорослих дерев дає можливість витримати її теплову дію [43]. Дерев з великим діаметром є стійкішими до вогню, оскільки мають товстішу кору, яка краще захищає від високих температур [161].

Локальний опік у тріщинах кори та утворення підсушин можливе на зворотній щодо напрямку вітру стороні стовбура, де внаслідок турбулентних завихрень посилюється дія конвективного потоку [124].

Низова пожежа, що обпалює камбій біля основи стовбурів, сприяє заселенню шкідників і поступовому відмиранню дерев [113].

Ступінь пошкодження стовбура визначається висотою нагару [263, 288], глибиною прогорання кори, співвідношенням товщини кори й глибини прогорання, пошкодженням камбію. Дослідження пошкодження камбію у взаємозв'язку з особливостями пожежі, товщиною та термофізичними властивостями кори є важливими для розуміння ролі кори у вогнестійкості дерева [295].

Частка постпірогенного відпаду дерев має пряму залежність від інтенсивності пожежі або від висоти нагару на стовбурах і обернену – від діаметра деревостану [219, 283]. Встановлено пряму достовірну кореляційну залежність між висотою полум'я пожежі й висотою нагару на стовбурах [6, 117]. Білоруськими вченими [217] складено таблиці відпаду за ступенями товщини залежно від висоти нагару в деревостанах сосни, ялини, модрини й берези.

На рівні популяції характер і ступінь пошкодження деревостанів залежать від погодних умов, виду пожежі, типу лісу, характеристик насадження [27, 47, 129, 156, 184, 228]. Зміни фітомаси модринників південної тайги залежать від інтенсивності пірогенного впливу [103].

Пожежостійкість деревостану значною мірою залежить від його початкового стану. Чим нижча його життєвість на момент пожежі, тим нижчою є пожежостійкість, оскільки ослаблені дерева стають чутливішими до вогню [1, 230]. Більшість дерев всихає в перші 2–3 роки після пожежі. Відпад дерев першого ярусу через рік після пожежі високої інтенсивності становив випадків за рік 34 % та зріс до 49 % через 5 років. Після пожеж середньої й низької інтенсивності всихання дерев першого ярусу через 4–5 років становило 35 і 20 % відповідно [103].

До дії вторинних факторів, які провокують посилення постпірогенного відпаду, належать: заселення дерев шкідниками, розвиток хвороб лісу, допожежний стан насадження та рівень ослаблення насадження; також дуже важливим є вплив посух [249]. Закордонні науковці [266] наводять дані стосовно впливу характеристик пожежонебезпечного сезону на зміну пожежостійкості насаджень. Під терміном «пожежостійкість» автори розуміють здатність деревного виду чи насадження виживати після одиничної теплової дії. Наслідком цієї теплової дії є вигорання наземних горючих матеріалів під час низової пожежі. Насаджень з однаковим рівнем пошкодження, заподіяного за різних сезонів року, можуть характеризуватися різною інтенсивністю та тривалістю відпаду. Встановлено, що частка сухостійних дерев у пошкоджених насадженнях через рік після весняних пожеж була у п'ять разів нижчою, ніж після літніх (2,7 % проти 13,8 %) [309]. Інтенсивність відпаду у пошкоджених улітку стиглих сосняках може бути у 10 разів більшою, ніж після весняних

пожеж. У результаті цих досліджень запропоновано математично-статистичну модель, яка як вхідні параметри використовує показники вогнестійкості середньовікових дерев (природний ступінь товщини, висота розташування грубої кори) і ступінь пошкодження (середня висота нагару на стовбурах) та дає змогу оцінювати ризики усихання окремих дерев у насадженні [103, 249, 266, 309, 310].

Пошкодження коріння внаслідок теплопровідності вивчено недостатньо. Причинами відмирання дерев після пожежі є обгорання кореневих лап [219]. Під час низових пожеж дерева можуть гинути в результаті пошкодження камбію біля шийки кореня й самої кореневої системи [308].

Під час підстилково-гумусових пожеж основною причиною відпаду дерев є пошкодження корневих систем [155, 243], при цьому особливо небезпечним є пошкодження тонкого коріння [263].

Пошкодження та відмирання коріння першого порядку за тривалої дії тепла може спричинити відмирання решти коріння [268]. Після закінчення пожежі погіршення стану та всихання сосняків триває місяцями, що є проявом фізіологічних стресів, ініційованих пошкодженням коренів, оскільки втрата коренів призводить до зниження висхідного потоку поживних речовин і води до крони й зрештою – до всихання дерев [291]. М. І. Калінін встановив [114], що в шарі супіщаних ґрунтів завглибшки до 40 см частка коренів 2-го, 3-го і 4-го порядків становить 75–88 % від загальної маси. Коріння 1-го порядку (тобто тонкі всисні корінці) густою мережею пронизує шар ґрунту 0–5 см і нижні шари підстилки [115].

Особливо чутливими до пошкодження є сосняки у вологих і сирих гігروتопах, де ґрунтові води знаходяться близько до поверхні і формується поверхнева коренева система з корневими лапами. У сосни болотної (*Pinus palustris* Mill.) тонке коріння рівномірно розподілене у нижніх шарах підстилки та у верхніх 30 см ґрунту [291]. Непрямим показником пошкодження коріння є ступінь згорання підстилки [305]. Дерев з вигоранням під кронами понад 30 % підстилки гинули у 20 разів частіше [291].

Висновки щодо залежності ступеня пірогенного пошкодження від діаметра дерев часто є протилежними. Динаміка та інтенсивність постпірогенного відпаду залежать від висоти та повноти деревостану, висоти нагару й товщини кори дерев [162]. За деякими твердженнями [288, 293, 297, 301] інтенсивність відпаду знаходиться у зворотній залежності від діаметра дерев, оскільки дерева з більшим діаметром зазвичай мають товщу кору. За іншими даними, діаметр і товщина кори слабко корелюють з часткою відпаду [289]. Існує також думка, що дерева з великими діаметрами отримують більші пошкодження, оскільки запаси підстилки біля них є більшими і пожежа має характер підстилково-гумусової [71, 270].

Найчастіше для побудови прогностичних моделей використовують діаметр і товщину кори, що захищає камбій [269, 297].

Прогнози, засновані на даних деревного приросту, виділяються в особливий клас екологічних прогнозів – дендрохронологічних. У лісовому

господарстві такі прогнози необхідні при плануванні охорони лісів від пожеж та захисту від шкідників і хвороб, лісовідновлювальних робіт, рубок догляду за лісом та інших видів лісгосподарської діяльності. Річний радіальний приріст дерев є інтегральним показником стану та продуктивності лісів, який свідчить про швидкість відновлення дерев після пожеж.

Зміна клімату призводить до збільшення інтенсивності та площ пожеж. За останні сто років в Україні температура підвищилася на 0,4–0,6°C [1]. Ці зміни клімату можуть призвести до зміщення ареалів видів та меж лісорослинних областей, змін домінантних деревних видів та рівня стійкості лісових екосистем [3]. Становиться дедалі актуальнішим дослідження насаджень відносно змін клімату і пов'язаним з цим адаптації деревостанів до потепління. В зв'язку з тим, що в помірній зоні насадження ростуть в відносно сприятливих кліматичних і ґрунтових умовах, виявити комплекс факторів (переважно співвідношення тепла та вологи), що обмежує ріст дерев, іноді складно через те, що він постійно змінюється протягом року. Попередніми дослідженнями виявлено [5, 6, 7, 9, 10], що радіальний приріст дерев у помірній зоні обмежують температури вегетаційного періоду, ранньовесняні та зимові, а також опади за вегетаційний період. Потепління клімату призвело до необхідності адаптації лісових екосистем до нових умов. Надзвичайно важливим є вивчення зміни реакції відгуку лісових екосистем на зміну клімату. У зв'язку з тим, що шари річної деревини (радіальний приріст) записують не тільки інформацію про зміни в довкіллі, а й реакцію дерев на ці зміни, вони можуть виступати як біоіндикатори, як інтегральні показники стану лісових екосистем [2, 15, 16, 17, 18].

Тенденціям виникнення пожеж, негативним наслідкам їхнього впливу на стан сосняків і радіальний приріст дерев присвячено низку публікацій [60, 66, 73, 107, 218]. Водночас недостатньо вивченим залишається постпірогенне формування радіального приросту. Річний радіальний приріст віддзеркалює зміни в довкіллі, пов'язані з пожежами та вплив цих змін на стан дерев. Пізня деревина є найбільш чутливою до впливу пожеж [23].

Погіршення стану пошкоджених пожежами насаджень призводить до суттєвих екологічних та економічних втрат [56, 78, 107, 218], однією з основних складових яких є зниження товарності деревостанів (зменшення виходу ділової деревини).

1.3 Заходи щодо запобігання лісовим пожежам і зменшення негативних наслідків

Ефективним засобом зниження збитків є проведення заходів, спрямованих на попередження виникнення лісових пожеж та обмеження їхнього розповсюдження. Так, у США системи профілактичних заходів зменшують кількість лісових пожеж на 25 %. У деяких штатах витрати на профілактику становлять 60 % пожежного бюджету [12].

В основі моніторингу небезпеки виникнення лісових пожеж має бути пряме оцінювання стану рослинного покриву [6, 165]: пробні підпали, візуальне, органолептичне оцінювання, визначення вологості ЛГМ.

Застосування засобів дистанційного зондування щодо пожежного стану лісів дає змогу оперативно оцінювати умови погоди, пожежну небезпеку, виявляти та прогнозувати поширення пожеж [36, 42, 111, 303]. Використання даних супутникової зйомки дає можливість декілька разів протягом доби проводити моніторинг пірогенного порушення значних територій лісів і оцінювати зміни лісових екосистем після пожеж [19, 95, 172, 235, 265, 296]. Нині широко використовують спектральний аналіз космічних знімків, який базується на вимірах відбитого випромінювання у видимому та інфрачервоному діапазонах [18, 278]. Потужність тепловиділення пов'язана з кількістю біомаси, що згорає, і тому може бути критерієм для оцінювання впливу вогню на деревостани. Особливо ефективним цей показник є у разі пожеж з екстремальною потужністю тепловипромінювання [172].

Оскільки супутникові знімки роблять з періодичністю 3–4 рази на добу, використання їх часто є менш ефективним за стаціонарні методи виявлення пожеж. На основі космічних та аерофотознімків складно визначити джерело займання та масштаб пожежі [95]. Тому найефективнішим є комплексний аналіз результатів наземного й космічного моніторингу [195, 196].

Для оцінювання пожежного стану використовують терміни «пожежонебезпечний період» і «природна пожежна небезпека». При цьому необхідно враховувати особливості виникнення пожеж на певній території, а саме: інтенсивність відвідувань лісів населенням, близькість населених пунктів, доріг, а також кліматичні умови – посухи, високу температуру повітря та поверхні ґрунту, тривалість періоду вірогідності загорянь у лісі [63, 64, 67, 131].

Загальновизнаної системи оцінювання пожежної небезпеки немає, а методи її визначення в різних країнах мають свої особливості. Головну увагу звертають на оцінювання погодного фактора, але при цьому враховують багато додаткових прямих і непрямих чинників [52, 200].

Найвідомішою є канадська система визначення рівня пожежної небезпеки лісів (CFFDRS) [258], яка базується на визначенні індексу пожежної погоди (FWI) [306], прогнозу виникнення (FOP) та поведінки (FBP) лісових пожеж. Цю систему застосовують також у країнах Європи (часто одночасно з національними системами оцінювання пожежної небезпеки), Новій Зеландії та інших країнах світу [192].

У східній частині Австралії використовують показник лісопожежної небезпеки Макарура (FFDI), а в західній – таблиці динаміки лісових пожеж (FFBT) [33]. У багатьох країнах Європи визначають імовірність займань за вологістю лісових горючих матеріалів [171].

В Україні, Білорусі та Російській Федерації для визначення пожежної небезпеки використовують два не пов'язані між собою показники [105]: клас природної пожежної небезпеки (КППН) І. С. Мелехова [157], уточнений для

лісів України [177], і клас пожежної небезпеки за погодними умовами В. Г. Нестерова [165] з певними удосконаленнями [26, 51, 81, 132, 135, 191].

Клас пожежної небезпеки (КПН) не повністю враховує реальні умови, оскільки базується на визначенні кількості води, яка випаровується з вільної водної поверхні, а не з лісового горючого матеріалу [199]. Водночас назва «комплексний показник пожежної небезпеки в лісі за умовами погоди» є занадто довгою та розпливчастою. М. А. Софронов пропонує використовувати термін «лісопожежний показник посухи», який підкреслює, що саме від посух залежить ступінь пожежної небезпеки в лісі [6, 41, 199].

Горимість лісових насаджень визначається: 1) числом випадків пожеж на 1 млн га і 2) площею пожеж на 1000 га загальної площі лісів [13].

Оскільки горимість і пожежна небезпека за погодними умовами мають регіональні особливості [33], доцільно уточнювати місцеві шкали оцінювання пожежної небезпеки. Складання місцевих шкал засновано на методиці М. П. Курбатського [51, 85, 122, 142] із використанням щільності пожеж на певній території в певний момент [52]. Для лісів зеленої зони м. Харків за цією методикою побудовано регіональну шкалу на основі співвідношення пожеж для різних КПН [158].

У Польщі ліси класифіковано відповідно до ризику виникнення пожеж [304]. Крім показника щільності пожеж у перерахунку на 1 тис. га лісів як критерій антропогенного навантаження використовують кількість населення на кожну тисячу гектарів лісової території.

Підвищення пожежостійкості лісів має поєднувати регулювання складу деревостанів [105, 217], своєчасне проведення рубок, ліквідацію захаращеності насаджень, очищення лісосік від порубкових залишків, створення системи протипожежних бар'єрів, доріг і водойм [130, 131].

Важливою складовою протипожежної профілактики в лісах є створення системи протипожежних смуг, розривів, бар'єрів, які обмежують поширення пожеж. Їхнє розташування та періодичність поновлення потрібно визначати на основі лісівничо-пірологічних особливостей лісів, наявності джерел вогню, КПН за умовами погоди, а також змін цих показників упродовж пожежонебезпечного періоду [224]. У хвойному масиві ефективним бар'єром для поширення верхової пожежі є лісова смуга з листяних видів, вона здатна навіть перевести верхову пожежу в низову [186].

Наявність у складі сосняків принаймні одиниці листяних порід знижує ризик виникнення пожежі на 10–15 %, а 2–3 одиниць – на 30–50 %. Позитивні результати отримано в разі введення у хвойні насадження модрини [44]. Ефективним доповненням до мінералізованих смуг, або навіть надійною альтернативою, можуть бути захисні смуги, створені загущеними посадками модрини та/або тополі [241].

Основою обмеження поширення лісових пожеж має бути регулювання запасів ЛГМ [231, 247]. Розроблено різні варіанти палів, які широко застосовують на зрубках [38] для підвищення пожежостійкості лісів [140, 227], захисту населених пунктів [50], управління активними пожежами [48], з метою

охорони від пожеж заболочених лісів [198].

Перспективним для гасіння лісових пожеж є використання вогнезахисних розчинів «Метафосіл» і «Комплексіл» [216], а також водних аерозолів для штучного викликання опадів [118, 119]. Ефективним способом локалізації природних пожеж є застосування літаків [205, 206].

Для вдосконалення протипожежної охорони лісів в Україні необхідно розробити регіональні методики аналізу пожежних режимів, стратегії протипожежної охорони лісів, регіональні та національні інформаційно-аналітичні системи на базі ГІС [25], потрібно покращити технічну оснащеність лісгосподарських підприємств.

Висновки до розділу

Особливо небезпечним екологічним фактором, що завдає катастрофічних економічних, екологічних та соціальних збитків і ставить під загрозу існування лісів, є лісові пожежі.

Переважну більшість досліджень постпірогенних змін лісів проведено за межами України. Вивчення впливу пожеж на ліси України стосувалося причин і тенденцій їхнього виникнення та особливостей пірогенних змін соснових лісостанів у Лісостепу. У Волинському Поліссі пірологічні дослідження практично не проводили, оскільки існувала думка, що виникнення пожеж обмежує достатня кількість опадів. Проте зростання частоти років із аномальним підвищенням температури повітря та значною кількістю посушливих днів суттєво загострило пірологічну ситуацію в цих лісах. Тому визначення тенденцій і причин виникнення пожеж в різних природних зонах України заслуговує особливої уваги.

Потребує вивчення формування підстилки, яка є однією із основних складових ЛГМ, та температурного режиму її горіння. Вкрай важливим це є для соснових лісів Полісся, де накопичуються значні запаси підстилки, що становить надзвичайну пірогенну загрозу за аномально посушливих погодних умов.

Особливе значення мають дослідження пошкодження дерев тепловими потоками різних типів під час пожеж. Оскільки сосняки поліської частини Рівненщини найбільш поширені у вологих та сирих гігروتпах і формують поверхневу кореневу систему з кореневими лапами, особливе значення матиме вивчення особливостей поширення тепла в ґрунтах.

Дослідження радіального приросту в насадженнях, пошкоджених пожежами необхідні, тому що шари деревини є інтегральним показником, який відображає післяпірогенний розвиток насадження.

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вивчення особливостей виникнення лісових пожеж

Основною умовою ухвалення своєчасних рішень щодо контролю пожежної ситуації в лісах є наявність інформації про пожежну небезпеку ділянок лісового фонду за умовами погоди та наявністю джерел вогню й пожеж. Окрему увагу приділяють детальному дослідженню часових і просторових тенденцій виникнення та розвитку значних за розмірами пожеж, які мають особливо небезпечні наслідки. Завданням таких прогнозів є визначення місць можливого виникнення пожеж та моделювання сценаріїв їхнього розвитку.

За даними, отриманими з книг реєстрації лісових пожеж у досліджуваних лісгосподарських підприємствах (форма 2П), аналізують інформацію щодо зафіксованих та описаних випадків лісових пожеж, що дасть змогу встановити основні особливості для певного регіону чи господарства, спрогнозувати виникнення та змодельовати розвиток імовірних пожеж. Така інформація є необхідною для ефективного вибору варіантів і режимів організації профілактики, оперативного реагування та ефективного гасіння пожеж у лісі.

На основі порівняння просторових і часових тенденцій пожеж у минулому із основними кліматичними показниками розробляють місцеву (регіональну) шкалу визначення класу пожежної небезпеки за умовами погоди в різні сезони впродовж пожежонебезпечного періоду.

Необхідно проаналізувати випадки лісових пожеж за тривалий період (мінімум десять років). За кількістю випадків та площею лісу, що пройдена пожежею, згідно зі шкалою Союздіпролісгоспу [92] розраховують середню фактичну горимість за кількістю та площею пожеж (табл. 2.1).

Якщо в ДП площа лісів із низьким рівнем пожежної небезпеки становить значну частку, розрахунок середньої фактичної горимості за кількістю та площею пожеж проводять як для загальної площі, так і для хвойних лісів.

Таблиця 2.1 – Середня фактична горимість за кількістю випадків та площею пожеж

Середня абсолютна горимість		Відносна горимість
за числом випадків загоряння на 1 млн га	за пройденою вогнем площею в га на 1 тис. га	
менше ніж 5 випадків за рік	менше ніж 0,10	низька
від 5 до 20 випадків	0,10–0,50	нижче середньої
від 21 до 50 випадків	0,51–1,00	середня
від 51 до 100 випадків	1,01–1,50	вище середньої
від 101 до 200 випадків	1,51–3,00	висока
більше ніж 200 випадків	більше ніж 3,00	надзвичайна

Виявлення часових тенденцій полягає у встановленні на основі багаторічних даних частоти виникнення лісових пожеж в окремі місяці, дні тижня, години доби, а також у визначенні:

- пожежонебезпечного періоду – частини року, у межах якої виникають лісові пожежі (з моменту сходження снігового покриву до настання стійкої вологої осінньої погоди або утворення снігового покриву);
- пожежного максимуму – місяців, протягом яких число пожеж перевищує їхню середньомісячну кількість;
- пожежного піку – відрізка часу (місяці), на який припадає найбільша кількість пожеж.

Відповідно до просторових тенденцій розміщення необхідно визначити концентрації пожеж залежно від позиції:

- у лісництві (квартал, виділ);
- мезорельєфу (на рівнині, пагорбі, експозиція та нахил схилу тощо);
- відносно населених пунктів, рекреаційних об'єктів, автодоріг та залізниць.

Імовірність виникнення пожеж залежала від:

- ТЛУ;
- стадії рекреаційної дигресії;
- таксаційних характеристик та санітарного стану;
- захаращеності насаджень.

Проаналізовано дані щодо виявлення та гасіння пожеж, а саме:

- джерело інформації щодо пожежі та засіб її виявлення;
- термін з моменту виявлення до прийняття заходів та гасіння пожежі;
- час, витрачений на остаточне гасіння пожежі.

Встановлено, за яких особливостей погоди пожежонебезпека зростає.

На основі цих даних визначено місця, де профілактичні заходи для населення є особливо актуальними.

У результаті такого аналізу визначено ділянки, в яких найчастіше виникають займання, періоди пожежних максимумів, середню та максимальну кількість пожеж в певних лісових господарствах в певні роки, місяці, дні тижня та години протягом доби, їхні характер та швидкість поширення. Все це дає змогу найбільш ефективно запроектувати місця розміщення пожежних наглядових пунктів, маршрути наземного та авіаційного патрулювання, заходи щодо запобігання пожежам і обмеження їхнього розповсюдження.

З метою виявлення зв'язків між радіальним приростом та кліматичними чинниками використовували дані найближче розташованих до досліджуваних ПП метеостанцій. В той же час наприклад в Західному Поліссі середня кількість опадів за 1945 – 2016 рр. складає 571 мм в рік. Однак в окремі роки вона коливається від 322 до 802 мм. Тобто, окремі роки є з дефіцитом вологи (сухі), а інші – навпаки з надлишком опадів (мокрі). При цьому виникають складності, коли необхідно чітко визначити який рік як назвати. За основу визначення аномальності [20], взято середнє квадратичне відхилення (σ) від багаторічного рівня. Так аномально мокрими за кількістю опадів є умови

при якщо їх кількість більша 2σ , мокрими $+1,01\sigma - +1,99\sigma$, нормальними $-1\sigma - +1\sigma$, сухими $-1,01\sigma - -1,99\sigma$, аномально сухими менше 2σ . Схожі притримки і для температури. Запропонована класифікація наведена в табл. 2.2 і 2.3, а характеристика окремих років в додатках.

Таблиця 2.2 – Критерії аномальності погодних умов за опадами

Характеристика року	Полісся		Лісостеп		Степ	
	За весь рік	Вег. Період	За весь рік	Вег. Період	За весь рік	Вег. Період
А.* мокрий	>780	> 607	>729	>451	>726	>521
Мокрий	683 – 779	516 – 606	641 – 728	396 – 450	604 – 725	416 – 520
Нормальний	487 – 682	332 – 515	462 – 640	286 – 395	357 – 603	201– 415
Сухий	391 – 486	242 – 331	374 – 464	232 – 285	235– 356	95– 200
А.сухий	< 390	< 241	< 373	< 231	< 234	<94

Примітка* А- Аномально

Таблиця 2.3 – Критерії аномальності погодних умов за температурою

Характеристика року	Полісся		Лісостеп		Степ	
	За весь рік	Вег. Період	За весь рік	Вег. Період	За весь рік	Вег. Період
А.теплий	> 8,4	> 14,9	> 10,0	> 17,0	> 9,1	>17,8
Теплий	7,7 – 8,3	14,2 – 14,8	9,1– 9,9	16,2 – 16,9	8,2 – 9,0	16,8 – 17,89
Нормальний	6,3 – 7,7	12,8 – 14,1	7,4 – 9,1	14,6 – 16,2	6,4 – 8,99	14,9 – 16,89
Холодний	5,6 – 6,3	12,1 – 12,7	6,5 – 7,3	13,8– 14,5	5,5 – 6,39	14,0 – 12,0
А.холодний	< 5,6	< 12,0	< 6,4	< 13,7	< 5,4	< 13,99

Дефіцит опадів і високі температури створюють особливо небезпечну ситуацію – посуху. Посушливим вважається вегетаційний період з гідротермічним коефіцієнтом Г.Т. Селянінова (ГТК) $<0,7$.

Природна пожежна небезпека лісових територій значною мірою залежить від їхньої пірологічної характеристики, яка визначає клас природної пожежної небезпеки (КППН) та залежить від віку, структури деревостану, типологічною характеристикою лісових насаджень тощо. На основі шкали І. С. Мелехова для умов України використовують поділ лісів на п'ять класів [177].

На основі метеоданих для оцінювання пожежної небезпеки за умовами погоди розраховують комплексний показник пожежної небезпеки (КП), який використовують в лісах України, та встановлюють клас пожежної небезпеки за умовами погоди (КПН) за загальноукраїнською шкалою [177].

Показник $КП_n$ для поточної доби визначали за формулою (2.1):

$$КП_n = k \cdot КП_{n-1} + t(t - \tau); \quad (2.1)$$

де t – температура ($^{\circ}\text{C}$) і τ – точка роси ($^{\circ}\text{C}$), визначені о 12 годині дня поточної доби;

k – коефіцієнт, який враховує опади за минулу добу.

Для визначення коефіцієнта k використано такі уточнення з урахуванням суми опадів за минулу добу: без опадів – $k = 1$; 0,1–0,9 мм опадів – $k = 0,9$; 1,0–2,9 мм – $k = 0,6$; 3,0–5,9 мм – $k = 0,4$; 6,0–15,9 мм – $k = 0,2$; 16 мм і більше $k = 0$.

За величиною КП виділено такі класи пожежної небезпеки [177]:

I клас (КП до 400) – пожежна небезпека відсутня; II клас (КП від 401 до 1000) – низька пожежна небезпека; III клас (КП від 1001 до 3000) – середня пожежна небезпека; IV клас (КП від 3001 до 5000) – висока пожежна небезпека; V клас (КП понад 5000) – надзвичайна пожежна небезпека.

За методикою М. П. Курбатського [137] було зроблено поправку до отриманих даних та побудовано місцеві шкали на основі співвідношення між значенням метеорологічного показника В. Г. Нестерова (КПН) і часткою пожеж, що виникають упродовж пожежонебезпечного періоду (%). Згідно з останніми розробленими рекомендаціями [67, 90, 119, 137] для зіставлення цих показників використовують таку пропорцію: до 5 % пожеж – I КПН, 15 % – II КПН, 25 % – III та IV КПН, понад 30 % – V КПН. Це співвідношення закономірно різниться для кожного регіону впродовж пожежонебезпечного періоду, тому розроблення місцевої шкали з урахуванням таких відмінностей дасть змогу вчасно вжити вірних заходів щодо підвищення пожежної безпеки в різні періоди.

2.2 Вивчення характеру та ступеня пошкодження й визначення критеріїв оцінювання стану лісів, ушкоджених низовими пожежами

2.2.1 Вивчення стану та особливостей пошкодження пожежами лісових насаджень і визначення критеріїв прогнозування їхньої деградації

Постійні пробні площі (ППП) закладено в однорідних за лісорослинними умовами та складом ділянках лісових масивів і згідно із загальноприйнятими в лісівництві та лісовій таксації методиками [85, 89, 90, 94].

В основу вивчення наслідків пошкодження сосняків низовими пожежами покладено поняття теплообміну, а саме три види розповсюдження тепла, що викликають різні типи пошкоджень. Під час низової пожежі конвективним потоком (80–82 % вивільненого від пожежі тепла) пошкоджуються бруньки та хвоя, тепловим випромінюванням (14–17 %) – стовбур, теплопровідністю (3–4 %) – коріння дерев [90, 177, 125].

Визначаючи стан деревостанів під час обстеження, враховували морфологічні зміни дерев. Важливими біоіндикаційними ознаками пошкодження під час моніторингу є дефоліація (втрата хвої та листя) і дехромація (зміна кольору) крон дерев. У контексті загальноєвропейської методики лісового моніторингу дефоліацію визначають як передчасну втрату (або недостатній розвиток) хвої або листя. Під час візуального оцінювання

враховували пошкодження вогнем гілок, стовбурів, коріння (загалом та їхніх частин), зміни форми крон. Ці показники лежать в основі визначення ступеня пошкодження деревостанів, тобто індекса санітарного стану (I_c), який розраховують як середньозважений показник. Для чистих деревостанів його визначають за формулою (2.2):

$$I_c = \frac{K_1 \cdot n_1 + K_2 \cdot n_2 + K_3 \cdot n_3 + \dots + K_6 \cdot n_6}{N} \quad (2.2),$$

де I_c – індекс санітарного стану деревостану;

$K_1, \dots, K_6$ – категорія санітарного стану дерева (від I до VI);

$n_1, \dots, n_6$ – кількість дерев певної категорії стану;

N – загальна кількість дерев на пробній площі.

Ступінь пошкодження визначають за індексом стану (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Шкала індексів санітарного стану для виділення зон пошкодження насаджень

Індекс санітарного стану	Стан насаджень	Ступінь пошкодження	Зона пошкодження
1,0-1,5	Здорові	Відсутній	–
1,6-2,5	Ослаблені	Слабкий	III
2,6-3,5	Сильно ослаблені	Середній	II
3,6-4,5	Всихаючи	Сильний	I
4,6-5,0	Загиблі	Дуже сильний	I ^a

Оскільки видима частина стовбура становить 40 % його периметра, оцінюючи стан стовбура, його оглядають з усіх боків. Інтенсивність пошкодження відзначають за п'ятивідсотковими класами (0–5 %; 6–10 %; 11–15 % тощо до 100 %) від загальної площі складових частин дерева (стовбура, крони, коренів, гілок, листя, хвої).

Необхідно оцінити достовірність відмінностей отриманих результатів у пошкоджені деревостані та контрольній ППП [86, 88, 90].

Перехід деревостанів із однієї групи до іншої – наприклад, із групи ослаблених в групу здорових – може відбутися у зв'язку зі зміною інтенсивності атмосферного забруднення, змінами в режимі лісокористування тощо.

2.2.2 Вивчення механізму пошкодження та критеріїв прогнозування стану лісів, ушкоджених низовими пожежами

Необхідно провести оцінювання насаджень, непошкоджених та пошкоджених низовими пожежами у різні періоди року, які мають подібні таксаційні показники та ТЛУ.

Для вивчення пошкодження стовбура і його впливу на подальший розвиток дерева вимірюють висоту нагару, ступінь прогорання кори, верхню

межу розташування грубої кори, а також форму та товщину кори, наявність і протяжність післяпожежних підсушин.

Для оцінювання пошкодження стовбура та діагностики дерев необхідно ввести додаткові показники –

а) відносна висота нагару [73, 76]:

$$H_{\text{відн.}} = (H_{\text{наг.}} / H_{\text{дер.}}) 100 \%, \quad (2.3)$$

де $H_{\text{дер.}}$ – висота дерева, м;

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

б) ступінь опіку тонкої (світлої) кори – показник «опік тонкої кори», м;

Ступінь опіку тонкої кори визначають за формулою (2.4):

$$H_{\text{опік}} = (H_{\text{наг.}} - H_{\text{гр.к.}}); \quad (2.4)$$

де $H_{\text{опік}}$ – ступінь опіку тонкої кори, м;

$H_{\text{гр.к.}}$ – висота грубої кори, м;

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

Також визначають таксаційні й морфологічні характеристики дерев, а саме:

– висоту дерева, м;

– діаметр, см;

– клас Крафта;

Також необхідно зафіксувати сезон пожежі, дати пожежі та заміру, едатою.

Для вивчення наслідків пошкодження крони конвекційним тепловим потоком (у молодняках) визначають наявність:

– дехромації (%) – відсотку хвої, що втратила природний колір.

Дехромацію оцінювали з точністю 5 %;

– дефоліації (%) – відсотку втраченої хвої, з точністю до 5 % для всієї крони. Дерев, у яких дефоліація відсутня, отримують значення 0. Якщо дефоліація крони дерева менше діапазону 0–5 %, значення дефоліації реєструють як 5 % і так далі.

Для вивчення пошкоджень корневих систем пожежами оцінюють наявність і кількість корневих лап і ступінь вигорання підстилки за проекцією крони, а також використовують ґрунтові розкопи на кожній з ПП.

Пошкодження корневих систем визначали за такою шкалою:

1 – без пошкоджень;

2 – пошкоджено одну кореневу лапу;

3 – пошкоджено не більше ніж 75 % корневих лап по периметру стовбура, зазвичай дві й більше корневих лап, на лапах добре помітний нагар;

4 – пошкоджено 75 % і більше корневих лап, кора на лапах частково пооблуплювалась.

Після заміру необхідних показників у рік закладення ПП щорічно проводять подеревну інвентаризацію з реєстрацією категорій стану дерев на ППП в наступні 3–4 роки після пошкодження пожежею. Встановлюють залежності між динамікою стану та вище зазначеними показниками, що дає можливість оцінити ступінь стійкості дерев до пожеж і розробити таблиці частки відпаду дерев у соснових насадженнях за низових пожеж.

Статистичну обробку даних проводять за загальноприйнятими методиками [2] із використанням прикладних комп'ютерних програм MS Excel та Statistica 10. Кореляційний і регресійний аналізи проводять за загальноприйнятими методиками [99, 139].

Під час кореляційного аналізу зв'язок є функціональним, якщо коефіцієнт кореляції дорівнює 1,00, дуже сильним, якщо коефіцієнт кореляції перебуває в межах 0,90–0,99, сильним – у межах 0,70–0,89, значним – у межах 0,50–0,69, помірним – у межах 0,30–0,49, слабким – у межах 0,10–0,29 [139].

Для побудови прогностичних моделей імовірності усихання окремих дерев використовують множинний регресійний аналіз, а також логістичний регресійний аналіз (бінарні регресії) [18].

Перевірку якості логістичних регресій проводять за допомогою ROC-аналізу [18] з використанням пакету SPSS 20 від IBM. Для аналізу якості моделей та корегування порога відсічення (у класичній логістичній регресії значення від 0 до 0,5 – подія не відбувається, від 0,51 до 1 – подія відбувається) використовують ROC-аналіз (ROC – receiver operating characteristic).

ROC-крива показує залежність кількості правильно класифікованих позитивних прикладів від кількості неправильно класифікованих негативних прикладів за двома осями: по осі x – «1-специфічність», по осі y – «чутливість». «Чутливість» (Sensitivity, або коротко Se) – частка достовірно позитивних випадків, «специфічність» (Specificity, або Sp) – частка достовірно негативних випадків, які були правильно ідентифіковані моделлю.

Під час ROC-аналізу якість моделі вважають відмінною за значення AUC 0,9–1,0, дуже доброю – за значення 0,8–0,9, доброю – 0,7–0,8, середньою – 0,6–0,7, незадовільної якості – за значення AUC 0,5–0,6 [18].

Досліджуючи стійкість до пошкодження вогнем дерев різного класу Крафта (КК) з однаковою висотою нагару, з усієї сукупності дерев відбирають дерева з висотою нагару в межах 0,51–1,00 м, відмінних за КК. Враховуючи незначну кількість дерев I–II КК та IV–V КК їх об'єднують у групи: «I–II КК», «III–IV КК» та «V–VI КК». Якщо кількість дерев у кожній з груп є неоднаковою, застосовують аналіз нерівномірного однофакторного дисперсійного комплексу [2].

2.3 Визначення показників пожежостійкості лісів із урахуванням погодних умов, антропогенного навантаження та наявності горючих матеріалів

Успішне вирішення проблеми охорони лісів від пожеж не повинно зводитися лише до профілактики їхнього виникнення й поширення. Шляхи й

способи формування пожежостійких насаджень потребують насамперед оцінювання пожежостійкості лісів.

В. В. Усенейзі співаторами [17] запропоновано визначення стійкості деревного виду до пожеж на різних рівнях організації біологічних систем. При цьому уявлення про рівні й форми стійкості можна сформулювати таким чином:

- **на рівні дерева** – це «вогнестійкість», яка являє собою індивідуальну форму стійкості до лісових пожеж. Вона базується на морфологічних особливостях виду і, зокрема, його покривних тканин, які захищають від термічного впливу. У самих організмах адаптивна реакція виражається у зміні біохімічних і фізіологічних процесів, які забезпечують їхнє існування після пожежі.
- **на рівні насадження** – «пожежостійкість» як пірогенна властивість являє собою ценотичну або ценопопуляційну форму стійкості виду до пожеж. Це пристосувальні реакції першого рівня. Вони характеризують рослинні угруповання у випадку впливу на них зовнішніх факторів, зокрема пожеж. Ця форма стійкості переважно зумовлена поліморфізмом дерев у деревостані. Її основою є структура і різновіковість насадження, видова неоднорідність, вертикальна й горизонтальна розчленованість.
- **на екосистемному рівні** – стійкість виду до пожежі, або його пірофітність. Її інтерпретують як формаційну або екосистемну форму стійкості деревини до впливу лісових пожеж, вироблену в процесі еволюції.

«Вогнестійкість» – це здатність різних частин і всієї рослини витримувати дію пожежі й зберігати свою життєздатність після неї. Вона забезпечується виробленими в процесі еволюції морфофізіологічними та екологічними властивостями.

Поняття **«пожежостійкість насаджень»** відбиває ступінь потенційної стійкості до вогню деревостану, підросту, підліску та живого надґрунтового покриву. Це поняття є ширшим за «вогнестійкість» оскільки характеризує чутливість до пожежі різних компонентів насадження. Якщо вогнестійкість окремого дерева залежить від морфофізіологічних властивостей конкретної деревної породи, то пожежостійкість насадження є результатом поєднання та спільного впливу різних чинників [17].

Поняття «вогнестійкість» і «пожежостійкість» є тісно взаємопов'язаними. Вогнестійкість різних видів рослин як пірогенна властивість вироблена ними в процесі еволюції сприяє підвищенню пожежостійкості насаджень загалом. Тому вогнестійкість окремих видів є одним з факторів, які безпосередньо впливають на ступінь пожежостійкості насаджень.

З віком пожежостійкість насаджень зазвичай підвищується, що зумовлено віковими змінами морфологічних ознак дерев (збільшення діаметра, товщини кори дерев, висоти крони, глибини кореневої системи тощо).

Асортимент ЛГМ змінюється залежно від складу насадження та вмісту вологи, запасу та просторового розміщення, що впливає на характер розвитку пожеж, швидкість займання й поширення полум'я та наслідки пожеж. ЛГМ

безпосередньо пов'язані з певними типами лісу, для яких властиві певний видовий склад деревостанів, надґрунтовий покрив, підріст, підлісок, лісовий опад і підстилка, які й формують конкретний тип горючих матеріалів.

Отже, можна умовно виділити такі показники вогнестійкості:

- товста кора стовбура й кореневих лап;
- глибока коренева система;
- високе розташування та ажурність крони;
- здатність до вегетативного розмноження;
- швидкий ріст у ранньому віці й очищення стовбура від нижніх гілок, що знижує небезпеку переходу низової пожежі у верхову;
- інтенсивне смоловиділення на поверхні вогневих опіків кореневих лап, що перешкоджає проникненню грибкової інфекції й непродуктивним втратам вологи;
- здатність до відновлення після пошкоджень вогнем, регенерації обгорілих кореневих закінчень навіть у разі дуже сильних вогневих поранень.

Показники пожежостійкості:

- індивідуальна вогнестійкість рослин, які входять до фітоценозу;
- особливості структури (вертикальна розчленованість і горизонтальна мозаїчність фітоценозу);
- густота й зімкнутість ярусів насадження.

Групи ЛГМ:

- підстилка та верхні гумусові або перегнійні торф'яні горизонти;
- мохи, лишайники й дрібні рослинні залишки;
- трав'яний покрив (ступінь задерніння);
- підріст і підлісок;
- великі деревні залишки (сухостій, сухі сучки, пні, порубкові залишки);
- хвоя й листя, пагони дерев (до 7 мм);
- стовбури дерев і живі сучки завдовжки понад 7 мм. [17, 93, 95, 97]

2.4 Дослідження постпірогенних змін продуктивності сосняків

Досліджуючи тенденції виникнення лісових пожеж та їхнього негативного впливу на ліси, аналізують середньорічні дані щодо виникнення пожеж на невеликих територіях, зокрема з урахуванням окремих лісництв, урочищ. Визначають показники як абсолютної кількості й площі пожеж у середньому за рік, так і відносної горимості в перерахунку на 1000 га площі. Ці дані порівнюють із продуктивністю сосняків у певних лісництвах та урочищах із урахуванням різної пожежонебезпеки та щорічної пошкоджуваності.

Продуктивність оцінюють за середніми таксаційними показниками насаджень лісництв та урочищ із різною горимістю шляхом визначення різниці запасів модальних та еталонних сосняків різного класу віку, що ростуть в однакових ТЛУ. Встановлюють показник зниження продуктивності та визначають втрати сосняків різних класів віку в досліджуваних насадженнях.

Як матеріал для аналізу використовують повидільну базу даних соснових насаджень ВО «Укрдержліспроєкт».

Ефективність використання лісорослинного потенціалу (ВЛП) визначають методами лісотипологічного аналізу. Величину ВЛП розраховують за формулою (2.5):

$$\text{ВЛП} = \frac{П_{\text{ф}}}{П_{\text{п}}} \cdot 100 \%, \quad (2.5)$$

де ВЛП – показник використання лісорослинного потенціалу, %;

$П_{\text{ф}}$ – фактична продуктивність модальних деревостанів, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$П_{\text{п}}$ – потенційна продуктивність еталонних деревостанів, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Дані щодо лісових пожеж аналізують за допомогою бази пожеж, сформованої на основі журналів обліку в державному підприємстві. Оцінюють як абсолютні кількість та площу пожеж у середньому за рік, так і відносну горимість у перерахунку на 1 000 га площі [84].

Статистичну обробку даних проводять за загальноприйнятими методиками [2] з використанням прикладних комп'ютерних програм MS Excel та Statistica 10.

2.5 Дослідження лісової підстилки в пошкоджених низовою пожежею сосняках та температурні режими її горіння

Запаси й структуру лісової підстилки та живого надґрунтового покриву (ЖНП) як основних компонентів ЛГМ визначають в різних ТЛУ.

Геоботанічний опис живого надґрунтового покриву проводять за методикою Д. В. Воробйова [54]. Визначають видовий склад, видову насиченість і проективне покриття (%) живого надґрунтового покриву на облікових ділянках 1×1 м. Видовий склад трав'яного покриву та моху визначають за ботанічними визначниками [96].

Дослідження проводять на пробних площах, які складають віковий ряд. Для того, щоб оцінити запас підстилки в насадженні, відбирають зразки в різних частинах насадження: 1) біля стовбура дерев; 2) на межі проекції крони; 3) у вільному між проекціями крон просторі. Кожен зразок беруть у трикратній повторюваності: загалом 9 проб. Зразки відбирають на трьох площадках розміром 1×1 м [69]. У трьох шарах мінералізації – верхньому опадовому L, середньому ферментативному F та нижньому гуміфікованому Н запаси підстилки визначають за фракціями за методикою Родіна [181]

Об'ємну масу (щільність) визначають за методикою Н. П. Курбатського [141] як відношення запасу підстилки до товщини шару (потужності підстилки). Хід процесів розкладу оцінюють за коефіцієнтом накопичення K, який, згідно з Ю. М. Чернобаєм [233], є відношенням маси нижчого шару мінералізації до маси вище розташованого.

Для дослідження товщини та запасу підстилки відібрано її моноліти прямокутної форми розміром 50×50 см.

У відібраних монолітах підстилки вирізняли три шари мінералізації:

– верхній опадовий (L) – складається зі свіжого опаду, що зберігає початкову форму, морфологію та міцність побурілих рослинних залишків пухкого складу;

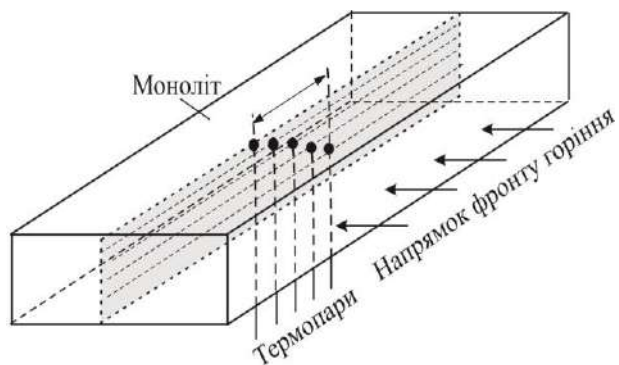
– середній ферментативний (F) – органічні залишки, що напіврозклалися та втратили свою початкову форму й міцність, бурого (коричнево-бурого) кольору, більш ущільненого складу, зв'язані тонким корінням наземного покриву;

– нижній 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 рослин деревно-чагарникового ярусу з домішкою наявних мінеральних часток ґрунту.

Методологію дослідження температурних режимів горіння лісової підстилки та розповсюдження теплових потоків у верхніх шарах ґрунтів розроблено В. П. Вороном, В. Г. Борисенком та В. К. Мунтяном [58, 59]. На її основі в лабораторії кафедри фізико-математичних дисциплін Національного університету цивільного захисту України В. Г. Борисенком, В. К. Мунтяном і І. В. Барабашем було створено випробувальний стенд для спалювання монолітів підстилки (рис. 2.1) та пристрій для дослідження впливу теплових потоків на ґрунтові моноліти (рис. 2.2).



a



б

Рис. 2.1 – Спалювання моноліту підстилки на випробувальному стенді (*a*) та схема розміщення термопар (*б*)

У лабораторії моноліти підстилки встановлюють на шар вогнестійкої тканини на сітці випробувального стенду (рис. 2.1, *a*). Для вимірювання температури з інтервалом в 1 см по горизонталі у моноліт вставляють та фіксують термопары (рис. 2.1, *б*), які через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) з'єднують з комп'ютером. Залежно від товщини моноліту використовують від трьох до п'яти термопар, розміщених на різній глибині. До складу пристрою для дослідження впливу теплових потоків на ґрунти (рис. 2.2) входять: камера 1, виготовлена із пористої вогнестійкої цегли, в яку

встановлюють моноліт ґрунту; над камерою розміщено джерело регульованого теплового випромінювання 2, головним елементом якого є десять галогенних ламп потужністю 1,5 кВт кожна; вимірювальний комплекс 3. Для вимірювання температури в моноліт встановлюють та фіксують термопари, які через АЦП з'єднуються з комп'ютером. Сигнал від АЦП обробляють за програмою OWEN ProcessManager, а результати вимірювань упродовж експерименту контролюють візуально, фіксують в табличному й графічному виглядах та обробляють у програмі MS Excel. Під час моделювання режиму нагрівання ґрунту враховують температуру горіння нижнього шару підстилки, яку визначають попередніми дослідженнями і яка перебуває в межах від 200 до 350°C [58]

Моноліти підстилки досліджують у повітряно-сухому і в абсолютно сухому стані. Два абсолютно сухих зразки (по одному з бору та субору) спалюють звичайним способом, а три – з імітацією вітрового потоку швидкістю 1–1,5 м·с⁻¹.

Під час спалювання фіксують зміну температури лісової підстилки з часом у місцях пошарового встановлення термопар, починаючи з моменту підпалу ($t = 0^\circ\text{C}$). 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) взято температуру максимуму.

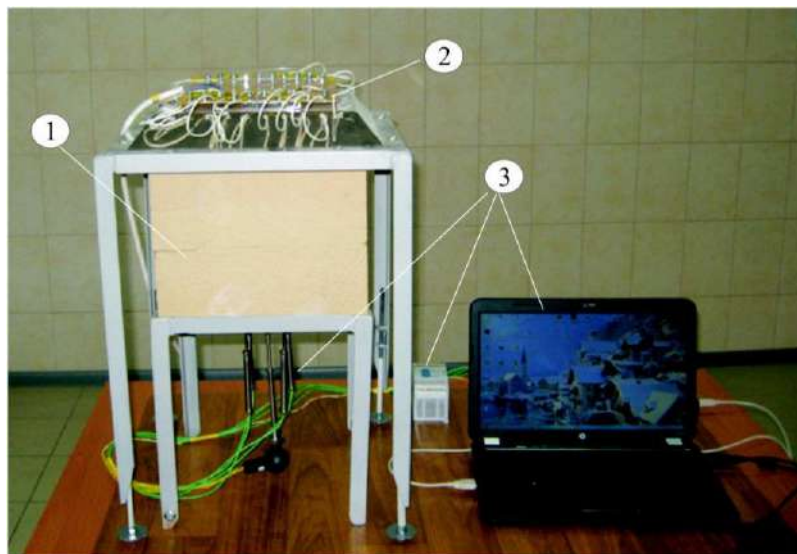


Рис. 2.2 – Пристрій для дослідження впливу теплових потоків на ґрунтовий моноліт: 1 – камера; 2 – джерело теплового випромінювання; 3 – вимірювальний комплекс

Моноліти ґрунтів відбирали спеціальним контейнером розміром 15 × 15 × 25 см (рис. 2.3). Загалом проводили чотири експерименти: по два ґрунтові моноліти відбирали в дернових борових слаборозвинутих піщаних ґрунтах та в сірих лісових ґрунтах (ТЛУ – А₂ та В₂). Для кожного типу ґрунту відібрали вологий і сухий варіанти.



Рис. 2.3 – Контейнер для відбору ґрунтових монолітів

Відбираючи зразки, враховували погодні умови за 10-денний період перед відбором кожного з монолітів. Особливу увагу приділяли кількості опадів за періоди до відбору. На основі метеоданих для оцінювання пожежної небезпеки за умовами погоди розраховували комплексний показник пожежної небезпеки В. Г. Нестерова [165].

Виходячи зі значної кількості дат (від 500 до 836) у вибірках, сформованих для кожного варіанту дослідження, використовували параметричну статистику [15].

Для виявлення статистичного впливу глибини заміру на швидкість теплопровідності використовували параметричний дисперсійний аналіз (ANOVA), розраховували найменшу суттєву різницю за методом Тьюкі. Силу впливу фактора визначили методом Снедекора (h^2) [15].

2.6 Вивчення постпірогенного розвитку насаджень дендрохронологічними методами

Керни відбирали буравом Преслера на висоті 1,3 м з 20 дерев з кожної ППП. Спочатку керни висушували на повітрі, а потім товщину шарів ранньої, пізньої та річної деревини вимірювали із точністю 0,01 мм за допомогою приладу для вимірювання деревних кілець «HENSON» та бінокулярного мікроскопа МБС-9. Перед вимірюванням кернів знімали тонкий (1–2 мм) верхній шар деревини лезом упоперек волокон та за необхідності обробляли крейдою для виявлення чіткіших меж між шарами ранньої та пізньої її деревини.

Під час перехресного датування деревних кілець методом «скелетних графіків» (графічним методом) визначали точні дати формування кожного кільця та на підставі цього отримували деревно-кільцеві хронології. За допомогою перехресного датування виявляли місцезнаходження фальшивих кілець та таких, що випали. Для кожної ППП будували деревно-кільцеві хронології шляхом осереднення радіального приросту дерев. Порівнювали радіальний приріст на пошкоджених ППП із контролем і товщину шарів деревини на всіх ППП до пожежі та після неї.

Для встановлення взаємозв'язків між радіальним приростом і таксаційними показниками та висотою нагару використано індекси радіального приросту, які отримано за допомогою трирічних ковзних кривих [23].

Використовували відсоток пізньої деревини як показник стану насаджень.

Проводили індексацію деревно-кільцевих хронологій методом трирічних ковзних з метою вилучення вікового (біологічного) тренду та подальшого проведення кореляційного та регресійного аналізів. З метою виявлення зв'язків між радіальним приростом та кліматичними чинниками використовували дані метеостанцій, найближче розташованих до досліджуваних ППП.

Використовували статистичні, кореляційні та регресійні методи для виявлення зв'язків між радіальним приростом з одного боку та висотою нагару на стовбурах і кліматичними чинниками з іншого [295].

2.7 Визначення депонованого вуглецю в насадженнях, пошкоджених пожежами

Було використано дві методики. Перший методичний підхід базувався на оцінюванні обсягів депонованого вуглецю в надземній фітомасі сосни звичайної на пошкоджених пожежами ППП та на контролі за нормативами оцінювання компонентів надземної фітомаси в насадженнях.

Розрахунки балансу атмосферних O_2 і CO_2 у лісових екосистемах проведено за методом І. Лієпи та Л. Аболіня [42], який базується на визначенні кількості біомаси, що формується в процесі фотосинтезу та залишається незмінною тривалий час (стовбур, пагони та коріння дерев). Трав'яні рослини, хвоя та листя дерев, що містять асимільований CO_2 впродовж короткого часу, під час розрахунку не враховували.

Для визначення запасу деревостану І. Лієпа та Л. Аболіня запропонували таку формулу (2.6):

$$M = kG(H + 4), \quad (2.6)$$

де M – запас деревостану (запас елементів деревостану в насадженні), $m^3/га$;

G – сума площ перерізів, $m^2/га$;

H – середня висота деревостану, m ;

k – коефіцієнт, значення якого для окремих деревних порід наведено в таблиці 2.3.

Запас деревостану M містить у собі й об'єм кори. Але деревина та кора є різними за своєю хімічною структурою, і тому розрахунок кількості O_2 і CO_2 не повинен охоплювати кору. Для цього M необхідно ділити на коефіцієнт об'єму кори s (2.7):

$$s = (pD + q) / (wD + 100), \quad (2.7)$$

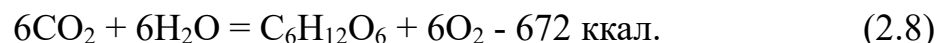
де D – середній діаметр деревостану, см;

p , q , w – коефіцієнти, значення яких для окремих деревних порід (крім дуба звичайного) наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Значення коефіцієнтів для окремих деревних порід

Деревна порода	k	p	q	w	Po
Сосна звичайна	0,390	20,60	143,9	19,53	0,470
Дуб звичайний	0,389	–	–	–	0,600
Ялина	0,415	5,25	117,6	5,00	0,400
Береза	0,385	0,20	110,2	0,02	0,600
Осика	0,405	0,78	109,9	0,67	0,440
Вільха чорна	0,400	-0,55	119,0	-0,36	0,500
Вільха сіра	0,380	-49,10	93,3	-45,83	0,500

Хімічний склад деревини є дуже складним, але відомо, що елементи абсолютно сухої деревини різних видів мають майже однаковий середній уміст С, Н і О, приблизно 49,5 %, 6,3 % і 44,1 % відповідно. Масу абсолютно сухої деревини t визначають множенням запасу деревостану M в $m^3/га$ на коефіцієнт Po (табл. 2.3). Для розрахунку маси асимільованого CO_2 та отриманого атмосферою O_2 в процесі формування однієї тони абсолютно сухої деревини використовують молекулярну та молярну маси всіх компонентів з рівняння фотосинтезу за формулою (2.8):



Для визначення маси асимільованого CO_2 масу абсолютно сухої деревини t перемножують на коефіцієнт l , який дорівнює 1,815. Для встановлення кількості отриманого атмосферою O_2 масу абсолютно сухої деревини t перемножують на коефіцієнт d , який дорівнює 1,379.

Коефіцієнти l і d , що характеризують здатність будь-якої деревної породи асимільовувати CO_2 і вивільняти O_2 , встановлено за допомогою рівняння фотосинтезу.

За другою методикою було оцінено депонування вуглецю в стовбуровій деревині з використанням дендрохронологічних методів [256]. Відбір зразків зроблено за наведеною вище методикою. На основі деревно-кільцевих хронологій створено хронології двох ППП – найбільш пошкодженої ППП з висотою нагари 1,21 м та контролю. Спочатку було визначено кумулятивний

радіус дерев, потім обчислено зміну площ поперечного перерізу S_i за формулою (2.9) :

$$S_i = \pi r_i^2, \quad (2.9)$$

де r_i – кумулятивний радіус в i -му році.

Наступним кроком було визначення динаміки приросту дерев у висоту; для розрахунку приросту використовували рівняння залежності висоти дерева від віку на основі лісовпорядних матеріалів. Форму стовбура взято за конусоподібну, тому щорічну зміну об'єму стовбура V_i розраховано за формулою (2.10):

$$V_i = S_i \times H_i / 3, \quad (2.10)$$

де S_i – площа поперечного перерізу стовбура i -го року;

H_i – висота дерева i -го року.

Для розрахунків фітомаси стовбура використано щільність сухої речовини для стовбурної деревини сосни звичайної 420 кг/м³, а для визначення маси депонованого в ній вуглецю – коефіцієнт 0,5.

Для визначення депонування вуглецю в насадженнях використано «Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України» [19].

Для визначення фітомаси стовбура використовували щільності сухої речовини для стовбурної деревини сосни звичайної 420 575 кг/м³ [22], а для розрахунку маси депонованого в ній вуглецю – коефіцієнт 0,5.

Визначення динаміки запасу вуглецю в стовбуровій деревині проведено на основі щорічної зміни площі поперечного перерізу, розрахованої за радіальним приростом відібраних кернів. Дані матеріалів лісовпорядкування щодо співвідношення віку й висоти були вихідним матеріалом для визначення динаміки приросту дуба у висоту, яку розраховано за рівнянням (2.11):

$$y = 8,566 \ln x - 15,11 \quad (R^2 = 0,901), \quad (2.11)$$

де y – висота, x – вік дерев.

РОЗДІЛ 3. ПОЖЕЖІ НА ПОЛІССІ ТА ЇХНІ НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ДЛЯ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ

3.1 Тенденції пожеж у лісах Полісся

3.1.1 Часові тенденції виникнення пожеж на прикладі Рівненщини

У лісогосподарських підприємствах Рівненщини за період 2002–2017 рр. зафіксовано 472 пожежі з площею пошкодження лісів 366 га (рис. 3.1).

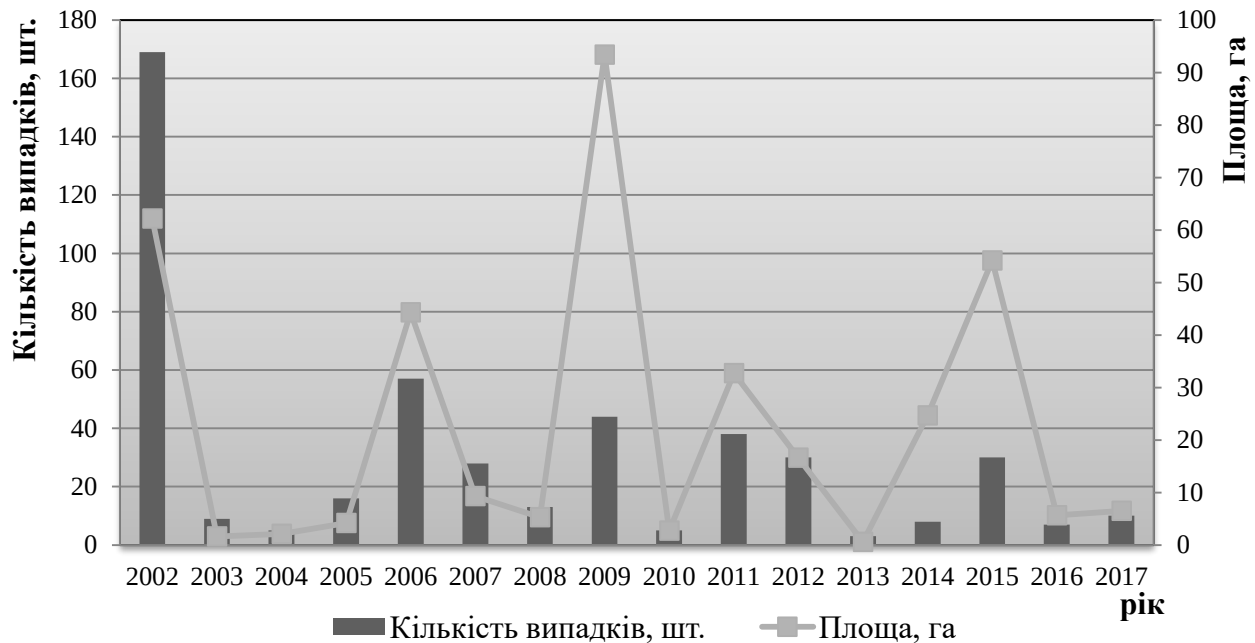


Рис. 3.1 – Динаміка кількості випадків пожеж і площі пошкодження лісів у лісогосподарських підприємствах Рівненщини за період 2002–2017 рр.

Аналіз особливостей виникнення пожеж у лісах Рівненщини свідчить, що кількість пожеж, пошкоджена ними площа, середня горимість суттєво змінюються як у часі, так і в просторі залежно від умов місцезростання, складу насаджень, відстані до населених пунктів тощо [74, 208].

Серед усіх лісогосподарських підприємств Рівненщини за період з 2002 до 2017 р. найвищі показники як за кількістю (130 випадків пожеж), так за площею (176,7 га) відзначено в ДП «Остківське ЛГ». Доволі велику кількість пожеж зареєстровано в ДП «Зарічненське ЛГ» (101 випадок загальною площею 76,1 га), а також у ДП «Клесівське ЛГ» (94 випадки, але з помітно меншою площею – 30,5 га). Майже в два рази менше випадків, ніж у згаданих лісогосподарських підприємствах, зафіксовано в ДП «Рокитнівське ЛГ» – 57, при цьому їхня площа становила лише 13,4 га. У ДП «Сарненське ЛГ» кількість пожеж була ще меншою – 50 випадків, але їхня загальна площа – 55,2 га – була навіть більшою, ніж у ДП «Клесівське ЛГ» з більшою кількістю пожеж. Найменші показники як за кількістю (37 випадків), так і за площею (12,35 га) зареєстровано в ДП «Костопільське ЛГ» (рис. 3.2).

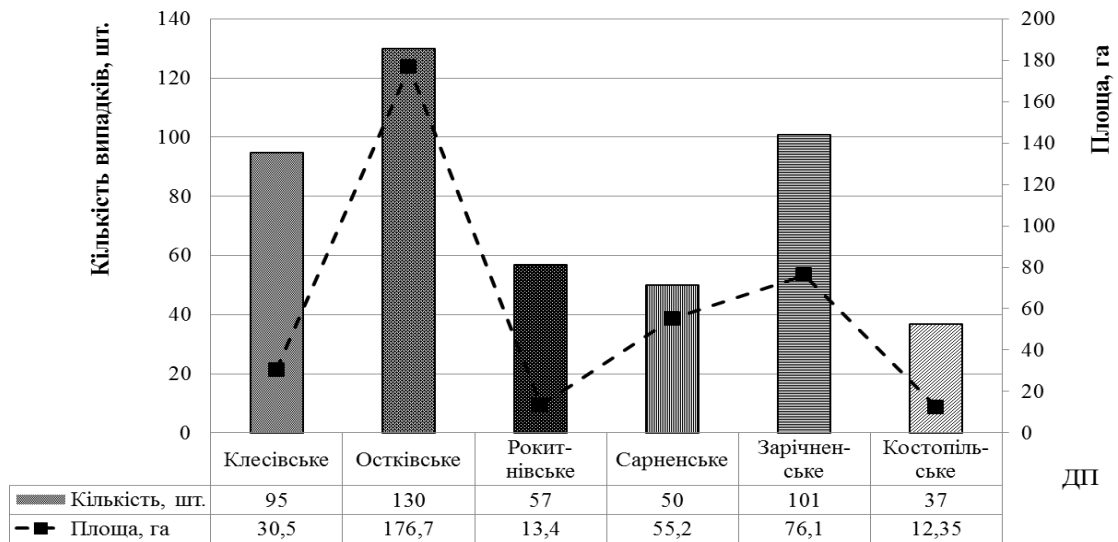


Рис. 3.2 – Загальна кількість випадків і площа пожеж у лісогосподарських підприємствах Рівненщини за період 2002–2017 рр.

Для виявлення особливостей виникнення пожеж важливим є порівняння розподілу територій лісогосподарських підприємств за класами пожежної небезпеки (рис. 3.3).

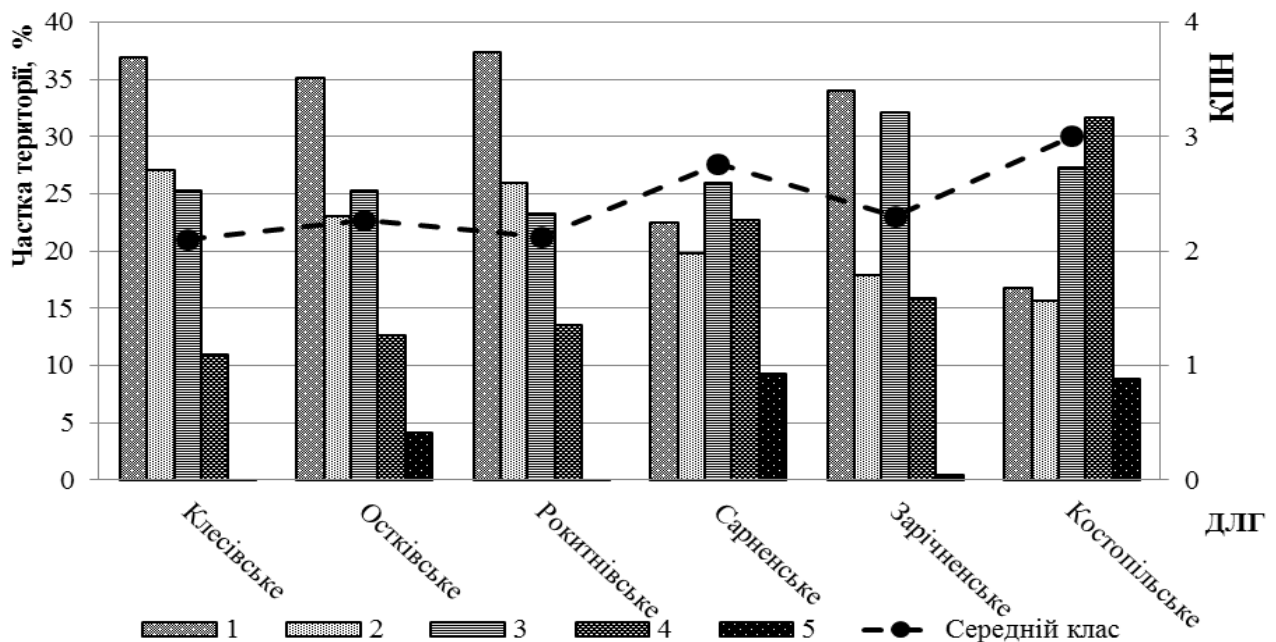


Рис. 3.3 – Розподіл території досліджуваних лісогосподарських підприємств за класами пожежної небезпеки (КПН)

У ДП «Клесівське ЛГ», «Остківське ЛГ», «Рокитнівське ЛГ» та «Заріченське ЛГ» переважали ліси першого класу пожежної небезпеки (близько 35 %), а середній клас пожежної небезпеки становив від 2,1 до 2,3. Водночас саме в цих лісогосподарських підприємствах зафіксовано найбільшу кількість пожеж. Велику частку території в усіх лісогосподарських підприємствах займали ліси 2 та 3 КПН, що зумовлено великою питомою вагою сосняків.

Найвищу середню горимість лісів (табл. 3.1) за кількістю випадків («надзвичайну») визначено в ДП «Остківське ЛГ» (287 випадків на 1 млн. га). Для ДП «Зарічненське ЛГ» (170 випадків на 1 млн) виявлено високий ступінь відносної горимості. Для інших лісогосподарських підприємств зафіксовано ступінь вище середнього. Тільки в ДП «Рокитнівське ЛГ» із найменшим показником горимості за кількістю випадків (24 випадки на 1 млн) зареєстровано середній ступінь відносної горимості.

Найбільшу відносну горимість за площею («нижчу за середню») зафіксовано у двох лісогосподарських підприємствах – ДП «Зарічненське ЛГ» та ДП «Остківське ЛГ». В усіх інших господарствах відзначено низький ступінь відносної горимості. Найбільшу середню площу однієї пожежі виявлено в ДП «Остківське ЛГ» – 1,44 га та в ДП «Зарічненське ЛГ» – 1,02 га, найменшу – у ДП «Рокитнівське ЛГ» – 0,09 га (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Середня й відносна горимість лісів лісогосподарських підприємств Рівненщини за період 2002–2017 рр.

Державне підприємство	Середня горимість за рік				Середня площа однієї пожежі, га
	за кількістю випадків		за площею		
	на 1 млн га площі ЛФ	відносна горимість	На 1000 га площі ЛФ, га	відносна горимість	
Зарічненське ЛГ	170	Вис.	0,17	Н ср.	1,02
Костопільське ЛГ	57	В. ср.	0,02	Низ.	0,29
Клесівське ЛГ	59	В. ср.	0,02	Низ.	0,38
Остківське ЛГ	287	Над.	0,41	Н ср.	1,44
Рокитнівське ЛГ	24	Ср.	0,01	Низ.	0,09
Сарненське ЛГ	76	В. ср.	0,05	Низ.	0,60

Частота виникнення та негативні наслідки пожеж різко зростали в посушливі роки. За період 2002–2017 рр. зафіксовано чотири роки – 2002 (169 випадків), 2009 (44 випадки), 2011 (38 випадків) та 2015 (30 випадків), – коли за період пожежного максимуму (квітень – вересень) випало менше ніж 300 мм опадів, а гідротермічний коефіцієнт Селянінова становив 0,5–0,9, тобто погодні умови були посушливими. За ці роки було зафіксовано 281 випадок пожеж, або 56 % від загальної кількості за 2002–2017 рр. Проте ще впродовж трьох років – 2006 (57 випадків пожеж), 2007 (28 випадків) та 2012 (30 випадків) – трапилося 115 пожеж. Це загалом становить 87 % усіх пожеж за досліджуваний період.

Розраховані дані за температурою повітря та кількістю опадів дали змогу охарактеризувати погодні умови впродовж 2000–2017 рр. За кількістю опадів аномально сухими для Полісся були 2011 та 2015 рр., сухими – 2009 та 2017. За температурою повітря аномально теплими виявилися 2008, 2012, 2014, 2015 рр.

З іншого боку, хоча впродовж 2012–2014 рр. щорічно випадало понад 600 мм опадів, у період пожежного максимуму їхня кількість була від 390 до 465 мм. Температура була значно вищою за багаторічну норму, що збігається з твердженням спеціалістів про підвищення температури повітря в Україні [313]. Так, 2013 рік посів третє місце серед найтепліших, а 2014 належав до десяти найтепліших за останні 54 роки. Влітку 2013 р. температура повітря підвищилася на всій території на 1,0–1,5°C, що було зумовлене дуже високою мінімальною температурою. Середня температура за 2014 р. була вищою за кліматичну норму на 1,6°C. Крім того, якщо значні додатні аномалії середньої температури у 2013 р. були зумовлені високими значеннями мінімальної температури, то у 2014 р. – максимальної температури. Особливостями термічного режиму цих років були тривалі безморозні періоди, а в період вегетації – значна кількість спекотних та посушливих днів. Але водночас у ДП «Костопільське ЛГ» з невисоким класом пожежної небезпеки, де за всі попередні роки зареєстровано лише 5 пожеж, у 2015 р. зафіксовано 15 випадків пожеж із загальною площею 4,15 га.

На пожежну небезпеку найбільшою мірою впливають погодні умови в окремі місяці. Прикладом можуть бути 2002 та 2003 рр., коли простежувалася залежність кількості випадків загорянь від погодних умов у різні місяці року (рис. 3.4).

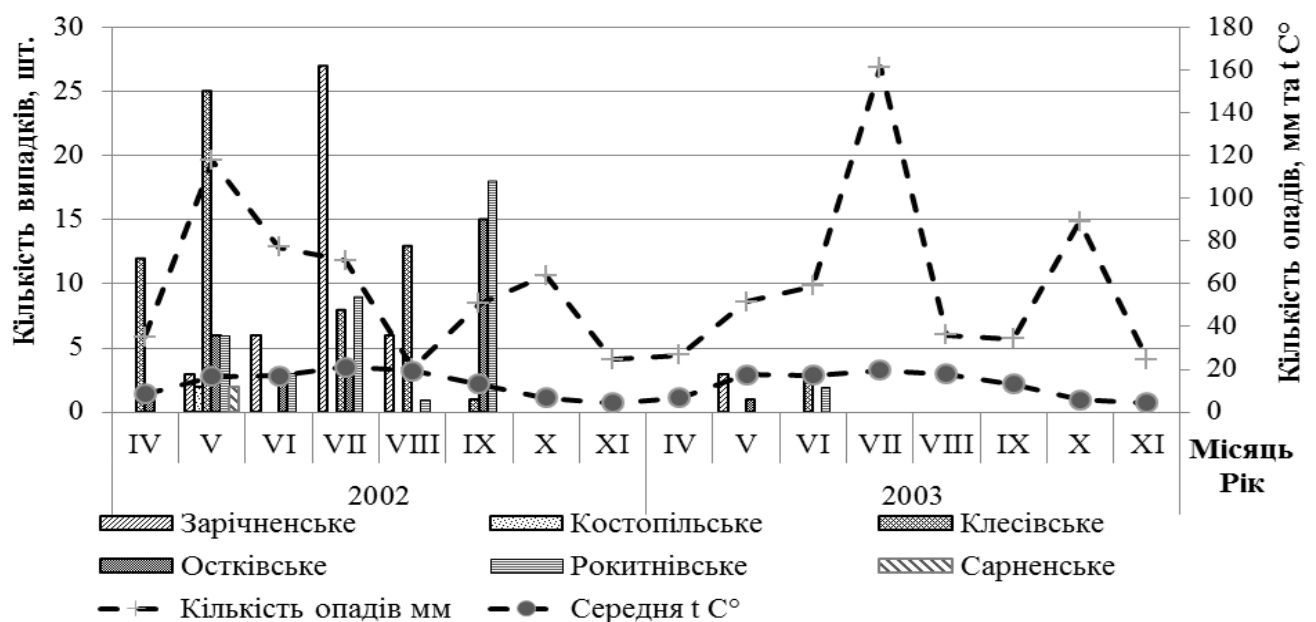


Рис. 3.4 – Кількість пожеж, температура та опади за місяцями у 2002 та 2003 рр. у лісгосподарських підприємствах Рівненщини

Аналіз багаторічних даних щодо виникнення лісових пожеж дав змогу визначити періоди пожежного максимуму, тобто час, коли кількість пожеж перевищує середньомісячний показник, та виявити пожежний пік, або місяці з найбільшою кількістю пожеж.

Згідно з даними щодо лісових пожеж за період з 2002 до 2017 р. (рис. 3.5), максимальну кількість і площу пожеж зафіксовано в травні: у ДП «Клесівське ЛГ» – 38 % за кількістю та 48 % за площею, у ДП «Остківське ЛГ» – 45 та 48 % відповідно і в ДП «Зарічненське ЛГ» – 51 та 71 % відповідно. У ДП «Сарненське ЛГ» максимальне значення за кількістю (29 %) зареєстровано в травні, за площею (46 %) – у серпні. У ДП «Костопільське ЛГ» максимуми було відзначено у квітні: за кількістю пожеж – 53 %, за площею – 66 %. Лише в ДП «Рокитнівське ЛГ» максимальні значення (35 % загальної кількості та 29 % площі) зафіксовано у вересні.

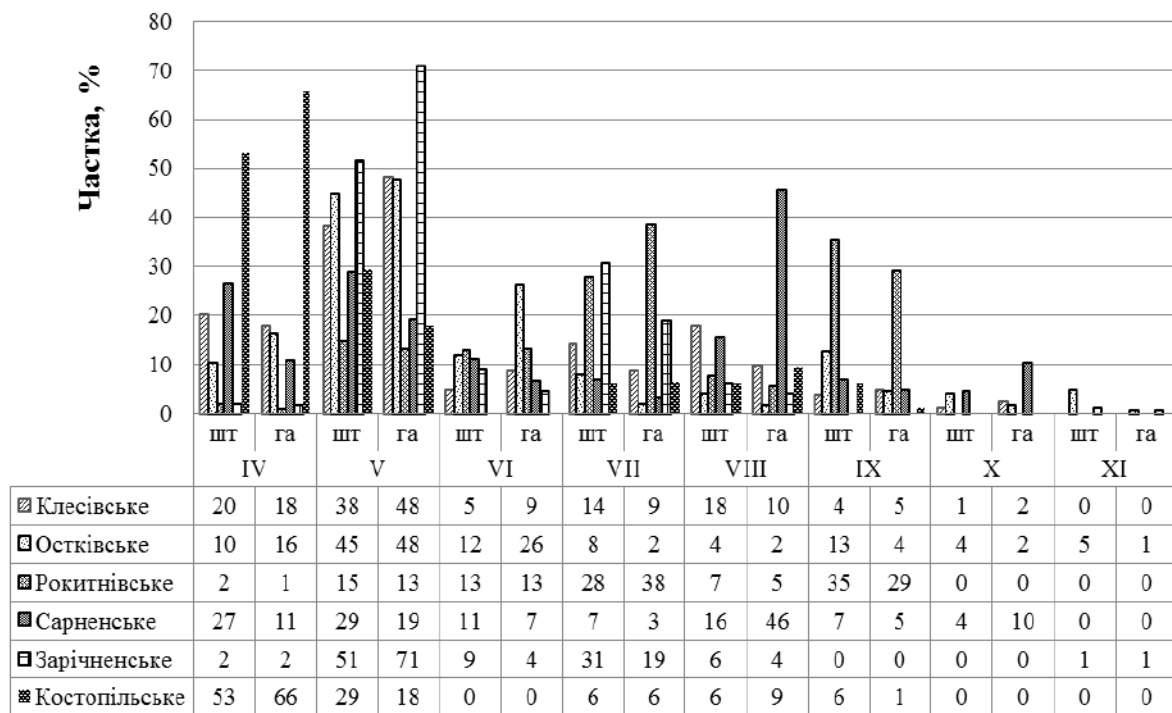


Рис. 3.5 – Розподіл кількості та площі лісових пожеж за місяцями у лісогосподарських підприємствах Рівненщини за досліджуваний період

В інші місяці частка площі пожеж була меншою, а в деякі місяці для окремих підприємств випадків пожеж взагалі не було зареєстровано.

Для уточнення ймовірності виникнення пожеж впродовж пожежонебезпечного періоду було встановлено дати першої та останньої пожежі для окремих лісогосподарських підприємств (табл. 3.2). За даними 2002–2014 рр. перша пожежа в усіх підприємствах траплялася у квітні, її дата коливалася у межах 27 днів. Дати останньої пожежі дуже різнилися. Наприклад, у ДП «Остківське ЛГ» та ДП «Зарічненське ЛГ» останній випадок зафіксовано в листопаді, у ДП «Клесівське ЛГ» та ДП «Сарненське ЛГ» – у жовтні, а в ДП «Рокитнівське ЛГ» та ДП «Костопільське ЛГ» – у вересні. Зважаючи на це, періоди між першою та останньою пожежами в досліджуваних підприємствах помітно різнилися (див. табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Дати першої та останньої пожеж в окремих лісогосподарських підприємствах Ріненщини та число днів між ними

Державне підприємство	Дата пожежі		Днів між першою та останньою пожежами
	першої	останньої	
Остківське ЛГ	01.04.02	07.11.05	216
Зарічненське ЛГ	28.04.09	13.11.05	195
Клесівське ЛГ	10.04.02	07.10.11	177
Рокитнівське ЛГ	27.04.09	18.09.11	141
Сарненське ЛГ	09.04.09	04.10.11	175
Костопільське ЛГ	09.04.09	05.09.11	146

Кількість пожеж у більшості лісогосподарських підприємств у вихідні дні була незначною. Пожежі найчастіше виникали в середині тижня, але дні тижня не співпадали (рис. 3.6). Так, у ДП «Сарненське ЛГ», ДП «Зарічненське ЛГ» та ДП «Костопільське ЛГ» найбільшу кількість відзначено в середу. Переважна більшість випадків у ДП «Остківське ЛГ» (від 19 до 26 %) трапилася в п'ятницю, а максимальну площу пожеж у цей день зафіксовано лише в ДП «Рокитнівське ЛГ». В інші дні тижня максимальну площу пожеж зареєстровано в четвер у ДП «Клесівське ЛГ» (26 %) та в неділю у ДП «Остківське ЛГ» (32 %)

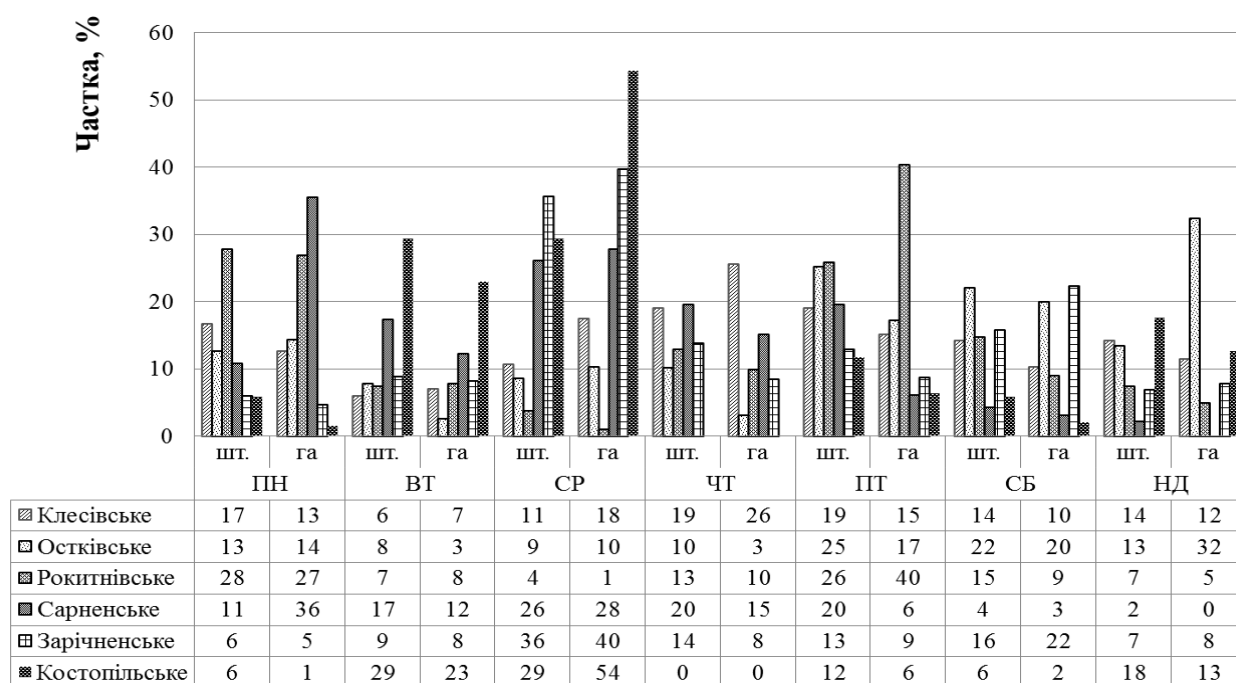


Рис. 3.6 – Розподіл кількості випадків лісових пожеж у лісогосподарських підприємствах Ріненщини за днями тижня

Максимальна частка від загальної кількості пожеж (від 41 до 72 %) припала на групу із площею від 0,11 до 0,50 га (рис. 3.7). Пожеж площею від 5 до 10 га не зафіксовано зовсім, але в ДП «Остківське ЛГ» (1 випадок) та Сарненське ЛГ (2 випадки) сталися пожежі площею від 10 до 50 га. У державних підприємствах «Клесівське ЛГ», «Рокитнівське ЛГ» та «Костопільське ЛГ» друге місце за кількістю становила група з найменшою площею (від 0,011 до 0,100 га) – від 24 до 39 %. У трьох інших лісгосподарських підприємствах значна частка припала на пожежі площею 0,51–1,00 га та 1,1–5,0 га (від 14 до 30 %).

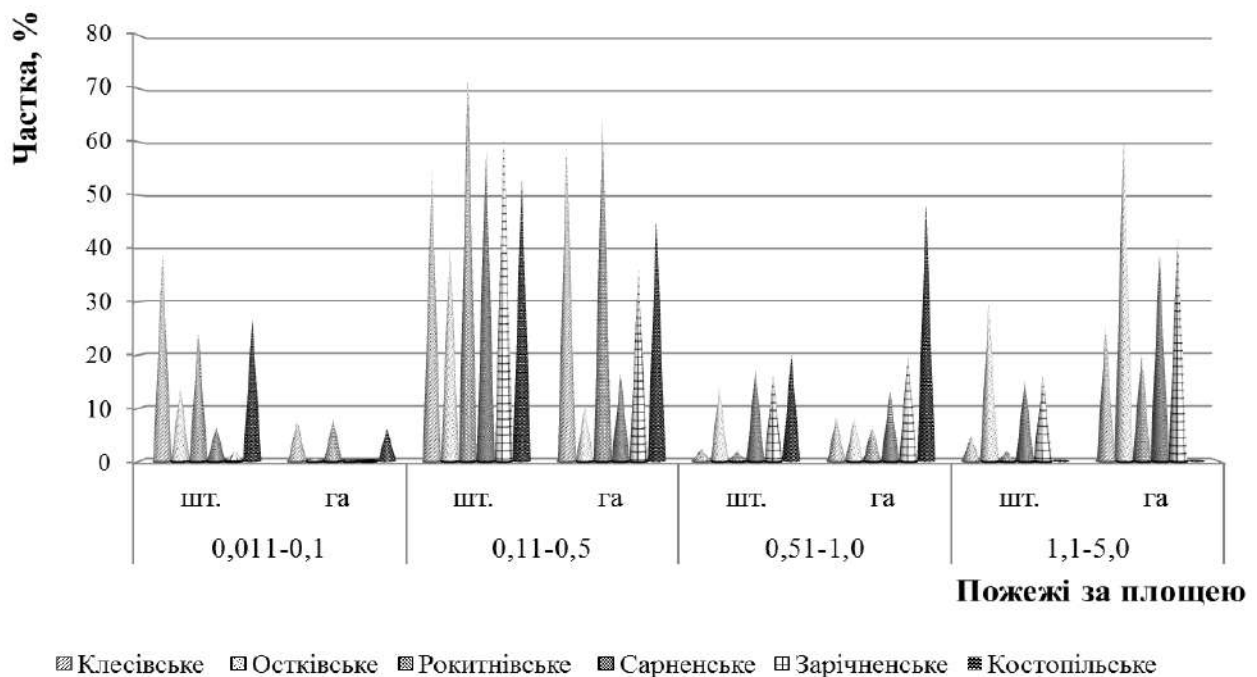


Рис. 3.7 – Розподіл лісових пожеж у лісгосподарських підприємствах Рівненщини за досліджуваний період за площею

3.1.2 Таксаційна характеристика сосняків, пошкоджених пожежами

Переважна більшість пожеж (70–90 %) припала на сосняки (табл. 3.3). Це пояснюється тим, що частка соснових насаджень становила від 64 до 81 % площі лісів лісгосподарських підприємств (рис. 3.8). Друге місце посідали насадження берези повислої (*Betula pendula* Roth), частка пошкодження пожежами яких становила від 2 до 19 %; їхня площа в лісовому фонді – від 13 до 16 %. Тільки в ДП «Зарічненське ЛГ» друге місце як за кількістю випадків (13), так і за площею пожеж (18 %) посідали насадження вільхи чорної (*Alnus glutinosa* L.), оскільки на насадження цієї породи припадає 17 % площі лісів ДП «Зарічненське ЛГ». У цьому лісгосподарському підприємстві зафіксовано також пожежі в насадженнях дуба звичайного (*Quercus robur* L.): 2 % за кількістю випадків та 4 % за площею пожеж.

Таблиця 3.3 – Розподіл кількості та площі лісових пожеж у лісогосподарських підприємствах Рівненщини за породами

Державне підприємство	Показник	Сосна звичайна	Вільха чорна	Дуб звичайний	Береза повисла	Разом
Клесівське ЛГ	Кількість, випадків	<u>85</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>8</u>	<u>93</u>
		92	0	0	8	100
	Площа, га	<u>27,2</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>2,1</u>	<u>29,3</u>
		93	0	0	7	100
Рокитнівське ЛГ	Кількість, випадків	<u>125</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>127</u>
		98	0	0	2	100
	Площа, га	<u>170</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>3,1</u>	<u>173</u>
		98	0	0	2	100
Сарненське ЛГ	Кількість, випадків	<u>50</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>4</u>	<u>54</u>
		93	0	0	8	100
	Площа, га	<u>11,3</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,9</u>	<u>12,2</u>
		93	0	0	7	100
Костопільське ЛГ	Кількість, випадків	<u>45</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>3</u>	<u>48</u>
		94	0	0	6	100
	Площа, га	<u>43,5</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>10,0</u>	<u>53,5</u>
		81	0	0	19	100
Остківське ЛГ	Кількість, випадків	<u>98</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>3</u>	<u>101</u>
		97	0	0	3	100
	Площа, га	<u>75,6</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>0,5</u>	<u>76,08</u>
		99	0	0	1	100
Зарічненське ЛГ	Кількість, випадків	<u>24</u>	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>4</u>	<u>32</u>
		74	13	2	12	100
	Площа, га	<u>6,6</u>	<u>1,7</u>	<u>0,4</u>	<u>0,8</u>	<u>9,48</u>
		70	18	4	9	100

Примітка. Чисельник – кількість пожеж (випадків) або площа (га); знаменник – %.

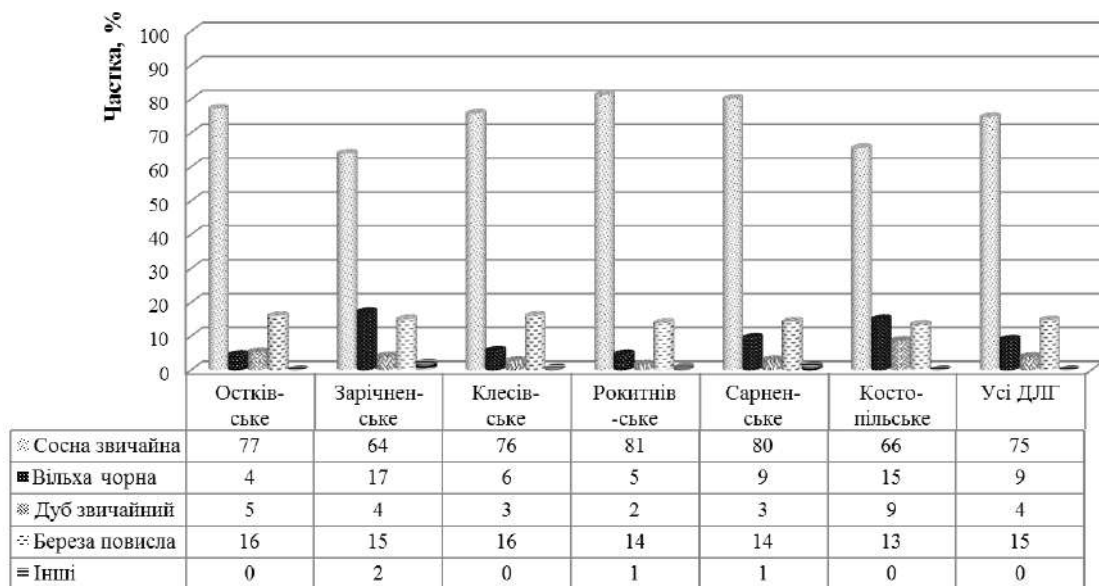


Рис. 3.8 – Розподіл загальної площі лісів лісогосподарських підприємств Рівненщини за породами

Стимувальним фактором щодо виникнення пожеж є те, що більшість сосняків належать до свіжих, вологих і сирих гігروتопів (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Розподіл площі лісів у лісогосподарських підприємствах за типами лісу, %

Тип лісу	Державне підприємство				
	Клесівське ЛГ	Сарненське ЛГ	Рокитнівське ЛГ	Остківське ЛГ	Разом
A ₁ -С	2,7	7,0	2,4	6,8	4,6
A ₂ -С	12,1	15,8	10,5	13,8	13,3
A ₃ -С	6,7	3,0	2,3	3,5	4,1
A ₄ -С	3,3	0,8	0,9	2,5	1,9
A ₅ -С	5,2	0,1	4,7	2,3	3,3
B ₂ -ДС	8,5	12,7	5,0	8,0	8,8
B ₃ -ДС	30,0	27,3	29	25,9	29,2
B ₄ -ДС	12,7	4,6	16,7	11,7	12
B ₄ -ДС	1,4	8,4	3,5	0,1	3,7
B ₅ -БС	2,5	0,3	8,1	5,7	4,3
C ₃ -ГДС	4,7	4,5	2,4	8,1	4,7
C ₃ -ГД	0,2	1,1	0,9	2,7	1,1
C ₄ -ВЛч	4,8	2,2	4,0	3,6	3,8
C ₄ -ВЛс	0,4	6,0	0,2	0,0	1,8

За середньою кількістю пожеж на рік і відносною горимістю серед усіх типів лісу перше місце посідали насадження в борах (рис. 3.9). У всіх лісогосподарських підприємствах максимальною була горимість в умовах свіжого соснового бору (239 випадків на 1 млн га).

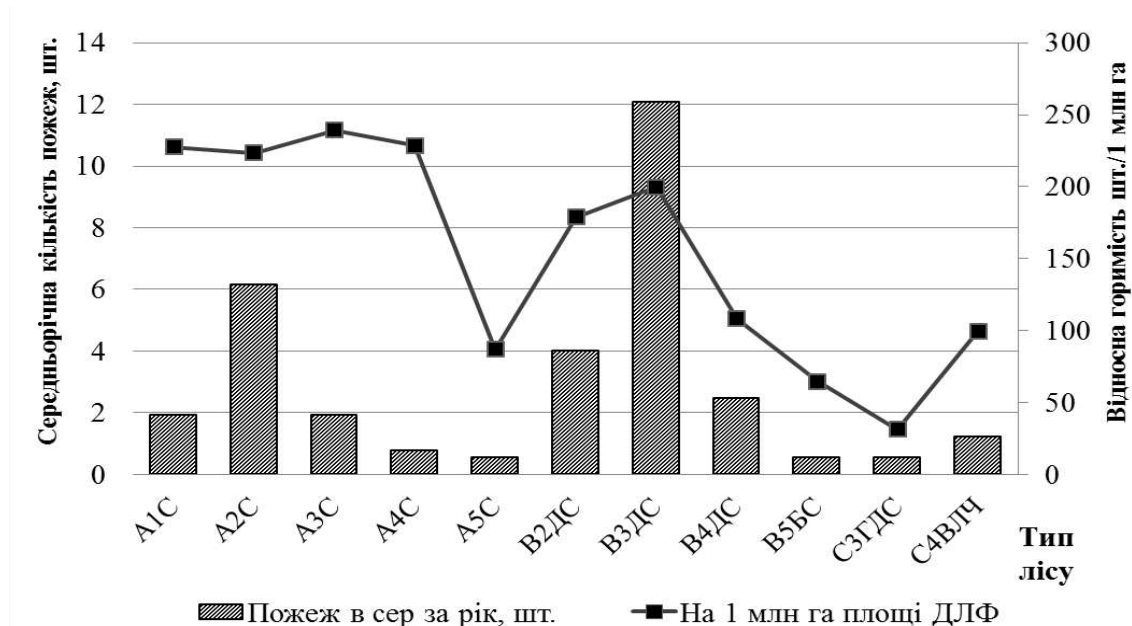


Рис. 3.9 – Середня кількість пожеж (за рік) та відносна горимість (випадків на 1 млн га) у різних типах лісу в лісогосподарських підприємствах Рівненщини

Найбільшу середньорічну кількість пожеж зареєстровано в насадженнях V класу віку, а відносну горимість – у насадженнях VII та VIII класів віку (відповідно 240 та 242 випадки на 1 млн га). Водночас у насадженнях XI та XII класів віку зафіксовано невелику кількість пожеж на малій площі, тому відносна горимість була високою (рис. 3.10).

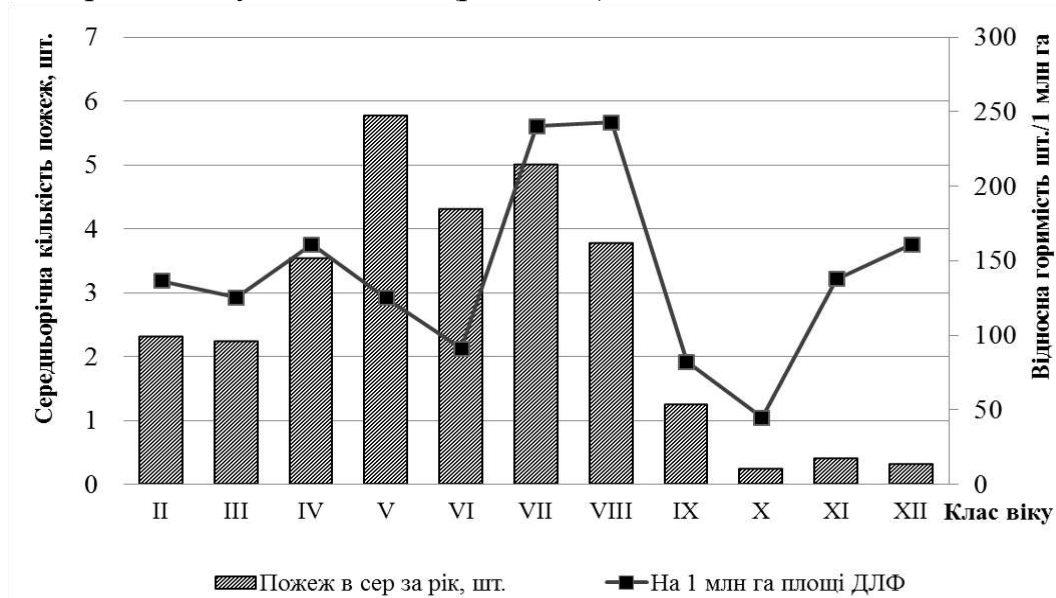


Рис. 3.10 – Середня кількість пожеж (за рік) та відносна горимість (випадків на 1 млн га) у насадженнях різних класів віку в лісогосподарських підприємствах Рівненщини

Найбільшою середньорічна кількість пожеж була в сосняках із повнотою 0,7–0,8, відносна горимість – у насадженнях із повнотою 0,9 (рис. 3.11).

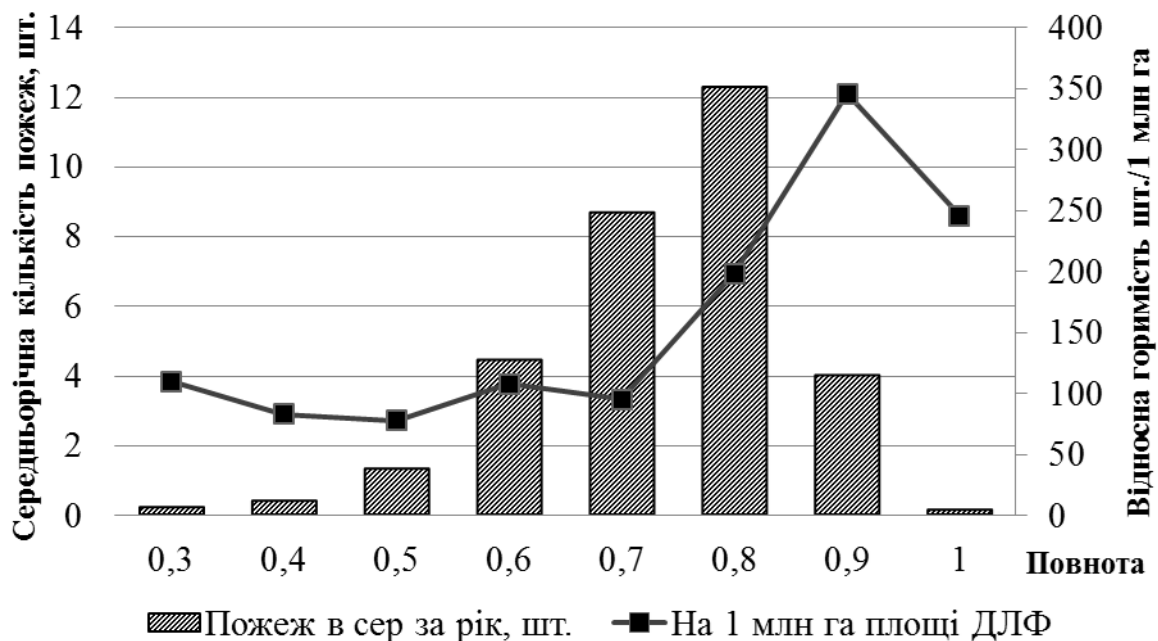


Рис. 3.11 – Середня кількість пожеж (за рік) та відносна горимість (випадків на 1 млн га) залежно від повноти насаджень у лісогосподарських підприємствах Рівненщини

Відносна горимість за кількістю випадків у різних типах лісу зменшувалася зі збільшенням трофності та вологості ґрунту (рис. 3.12).

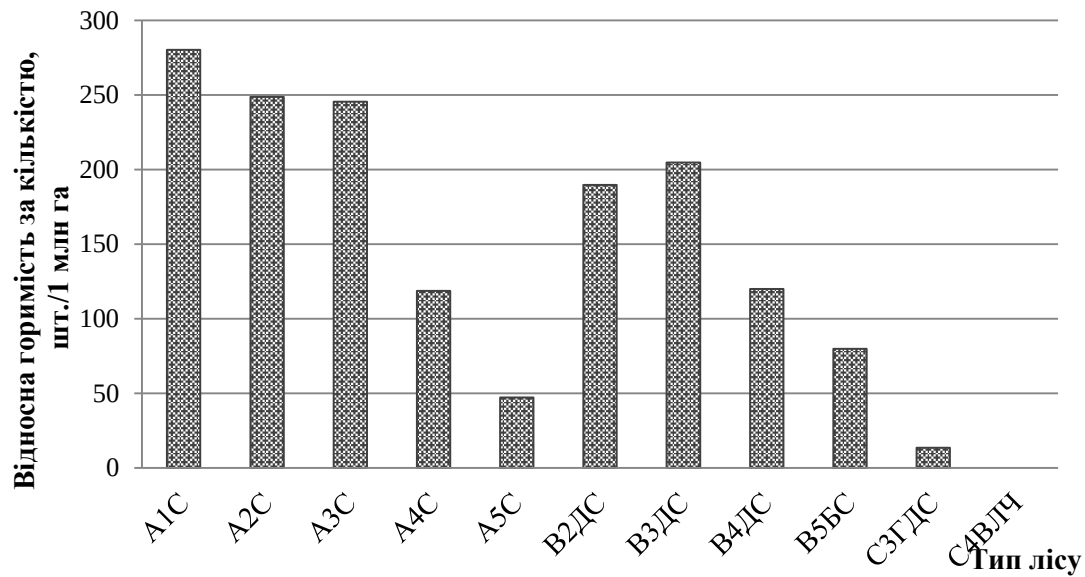


Рис. 3.12 – Відносна горимість за кількістю випадків у різних типах лісу в перерахунку на площу соснових лісів

Для A₁C характерними також були максимальні значення горимості за площею на 1000 га території лісового фонду як для горимості сосняків (0,28 га/1000 га), так і для загальної горимості (0,23 га/1000 га). Найменшу горимість сосняків визначено для C₃-гДC (рис. 3.13).

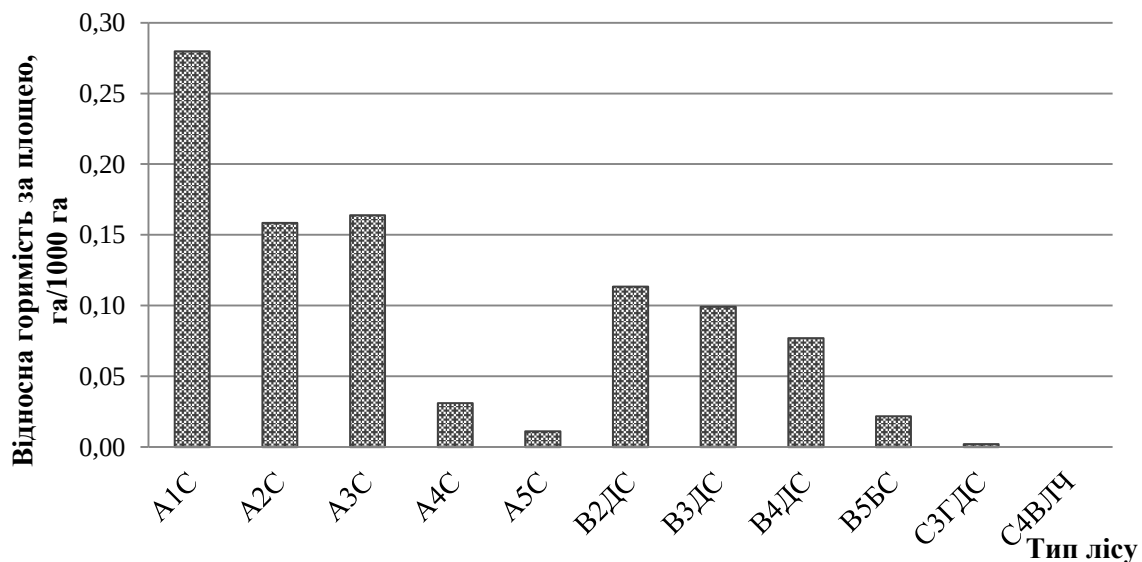


Рис. 3.13 – Відносна горимість за площею пожеж у різних типах лісу в перерахунку на площу соснових лісів

Відносна горимість за площею в перерахунку на всю площу лісів є меншою, ніж горимість сосняків. Тому показник відносної горимості у перерахунку на загальну площу лісів ЛФ суттєво знижує оцінку горимості сосняків.

Відносна горимість сосняків зменшувалася зі збільшенням вологості ґрунту. Отже, вологість ґрунту є одним із найважливіших факторів, що впливають на виникнення пожеж у різних типах лісу.

Відносна горимість за кількістю випадків у перерахунку на всю площу лісів становила від 31 (С₃-гдС) до 239 випадків (А₃-С) на 1 млн га, а для соснових насаджень – від 0 (С₄-Влч) до 269 випадків (А₁-С).

Відносна загальна горимість і горимість соснових лісів за класами віку були найвищими для I, VII, VIII та XII класів віку, отже найсильніше ушкоджувалися молодняки та середньовікові насадження (рис. 3.14). Максимальні значення горимості як за загальною площею лісів, так і за площею сосняків відзначено в соснових насадженнях IV класу віку (рис. 3.15).

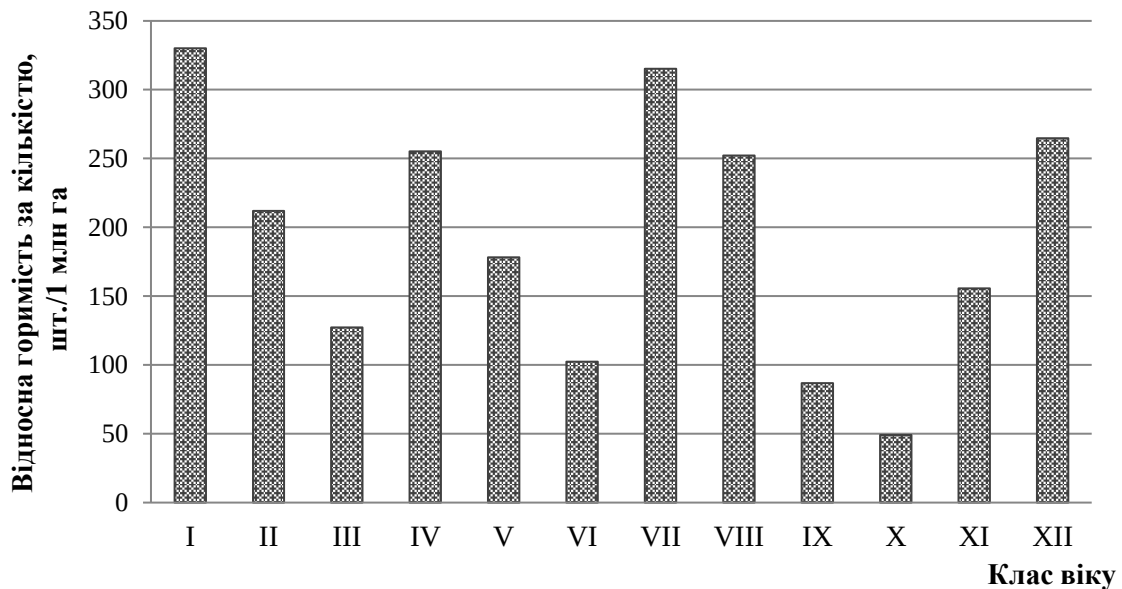


Рис. 3.14 – Відносна горимість за кількістю випадків у насадженнях різних класів віку в перерахунку на площу соснових лісів

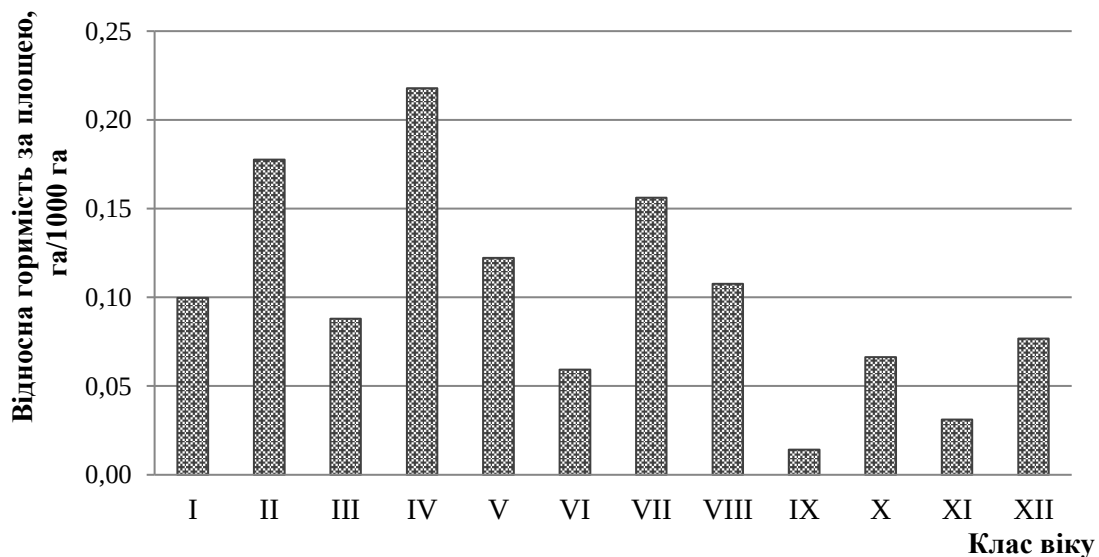


Рис. 3.15 – Відносна горимість за площею пожеж у насадженнях різних класів віку в перерахунку на площу соснових лісів

Найбільшу відносну горимість як за кількістю, так і за площею зафіксовано для сосняків із повнотою 0,9 як для всієї площі, так і окремо для соснових насаджень (рис. 3.16–3.17). Дещо менші, але також доволі високі значення горимості зареєстровано в насадженнях із повнотою 0,8. У деревостанах із меншою повнотою горимість як за кількістю, так і за площею була значно меншою.

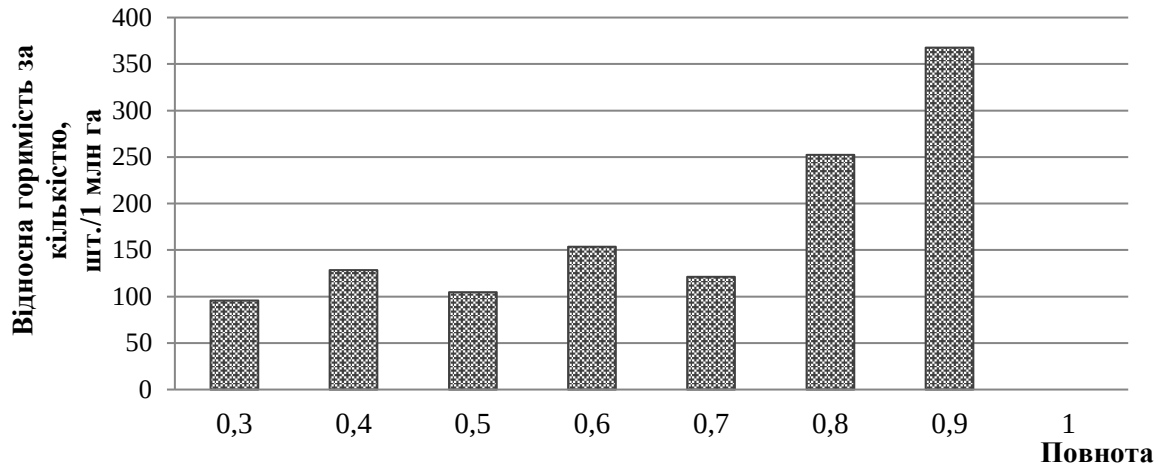


Рис. 3.16 – Відносна горимість за кількістю випадків у насадженнях різної повноти в перерахунку на площу соснових лісів

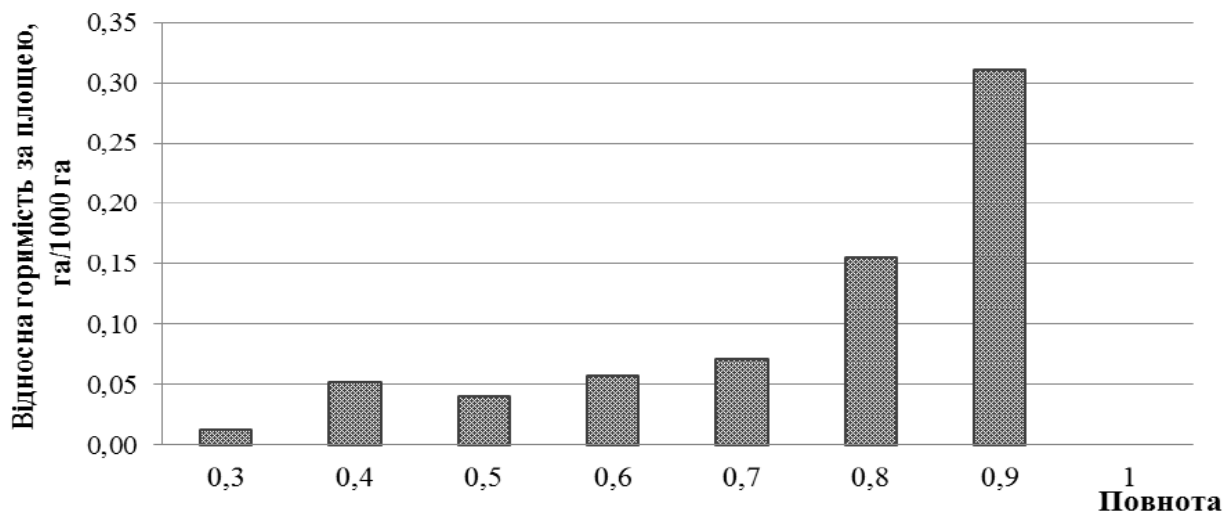


Рис. 3.17 – Відносна горимість за площею пожеж у насадженнях різної повноти в перерахунку на площу соснових лісів

3.1.3 Просторові тенденції виникнення пожеж

Зафіксовано, що у безпосередній близькості від населеного пункту, на відстані до 0,5 км, показники кількості пожеж та їх площі приблизно однакові. Помітне збільшення кількості пожеж та їхньої площі визначено за відстані від 1,1 до 4,0 км, а максимальну кількість зафіксовано для відстані 2,1–3,0 км та понад 5,0 км. Площа пожеж на відстані 4–5 км від населеного пункту сильно зменшується (рис. 3.18).

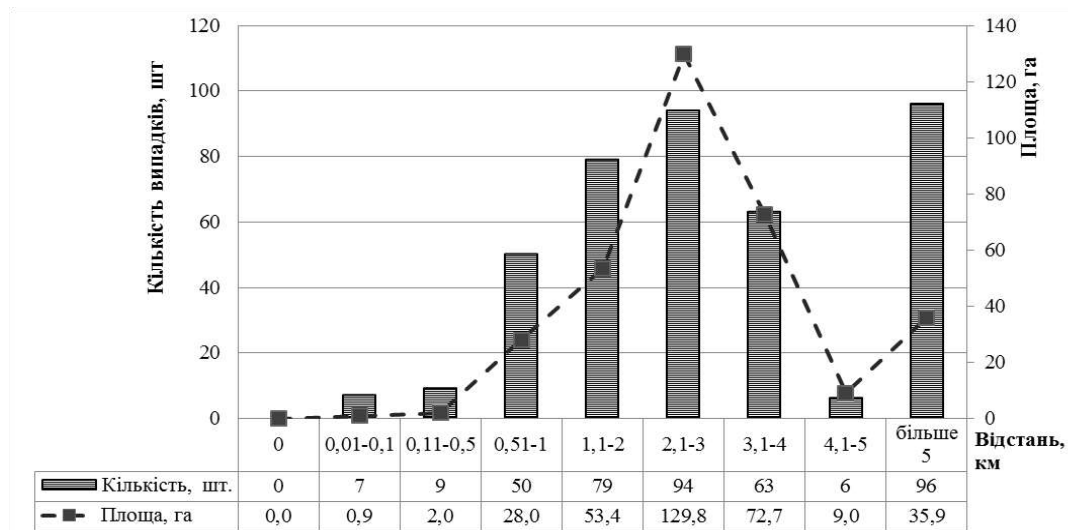


Рис. 3.18 – Кількість і площа пожеж на різній відстані від населеного пункту

Чинники кількості і площі пожеж на різних відстанях від дороги подібні. Так, максимуми як кількості, так і площі пожеж відзначено на відстані до 2,0 км від дороги, мінімальне значення для обох показників зафіксовано для відстані 3,1–4,0 км. На відстані понад 4,0 км пожеж взагалі не зафіксовано. Отже, найбільша пожежна небезпека існує саме для насаджень, що межують із дорогами і які найчастіше відвідує населення (рис. 3.19).

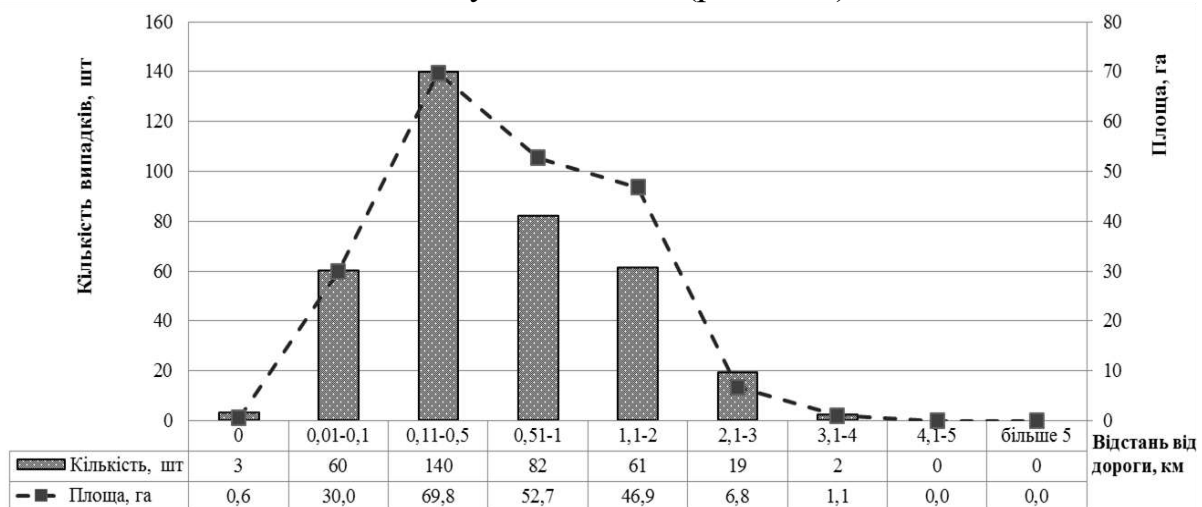


Рис. 3.19 – Кількість і площа пожеж на різній відстані від дороги

Детальний аналіз пожеж у кварталах окремих л-в виявив місця, де пожежі в окремі роки повторюються. Значну кількість кварталів з трьома випадками виявлено в Кам'янському л-ві ДП «Остківське ЛГ». У цьому ж л-ві відзначено й максимальну кількість кварталів, де трапилося чотири випадки. Найбільш небезпечні квартали, де кількість пожеж становила п'ять і більше випадків, виявлено лише в деяких л-вах ДП «Остківське ЛГ», ДП «Зарічненське ЛГ» та ДП «Клесівське ЛГ», а в Локницькому л-ві ДП «Зарічненське ЛГ» відзначено максимальний показник – три квартали, що мали п'ять і більше пожеж (табл. 3.5)

Таблиця 3.5 – Частота виникнення та розподіл пожеж за кварталами л-в у період 2002–2017 рр.

Л-во	Загалом випадків пожеж	Кількість пожеж			
		2	3	4	> 5
ДП «Остківське ЛГ»					
Біловізьке	19	4, 13, 22, 61	–	3	–
Дубнівське	29	7, 12, 19, 25, 64	16	–	42
Кам'янське	54	29, 37,38, 46, 49	14, 19, 33, 36, 43, 47	50, 53	51
Кисорицьке	7	9	–	–	–
Мушнянське	7	–	37	–	–
Остківське	6	2, 12	–	–	–
ДП «Зарічненське ЛГ»					
Вичівське	23	13, 15, 20	–	–	19, 37
Дубрівське	8	34	32	–	–
Локницьке	33	42	–	–	52, 60, 62
Мутвицьке	2	–	–	–	–
Олександрівське	23	20	–	18	36, 4
Річицьке	7	–	12	–	–
ДП «Клесівське ЛГ»					
Єльнівське	13	–	–	43	42
Клесівське	7	32	–	–	–
Любонське	5	20	–	–	–
Лязівське	14	15	26	–	–
Першотравенське	9	54	–	15	–
Сехівське	11	36	–	–	–
Томашгородське	12	10, 38, 46	–	37	–
Федорівське	7	8, 64	–	–	–
Ясногірське	5	37	–	–	–
ДП «Рокитнівське ЛГ»					
Березівське	15	25	32, 34	–	–
Борівське	6	91, 93	–	–	–
Глиннівське	17	41, 94	112	–	–
Карпилівське	4	19	–	–	–
Масевіцьке	8	1, 12	–	–	–
ДП «Сарненське ЛГ»					
Біловізьке	3	2	–	–	–
Сарненське	13	39, 101	91	–	–
Страшівське	9	–	–	65	–
Тиннеське	3	48	–	–	–
ДП «Костопільське ЛГ»					
Мащанське	11	50	–	43	–
Моквинське	4	24	–	–	–

3.2 Особливості формування й параметри горіння підстилки та пірогенні зміни ґрунтів соснових лісів

3.2.1 Запас та особливості структури лісової підстилки як показники ризику виникнення пожеж у соснових лісах Поліської частини Рівненщини

Успішне прогнозування виникнення та розвитку пожеж можливе лише на основі пірологічних характеристик ЛГМ [150], насамперед однієї з основних його складових – підстилки. Особливо важливим це є для сосняків Полісся [57], які мають значні запаси підстилки (рис. 3.20). Таксаційну характеристику сосняків, в яких вивчали підстилку, наведено в табл. 3.6.

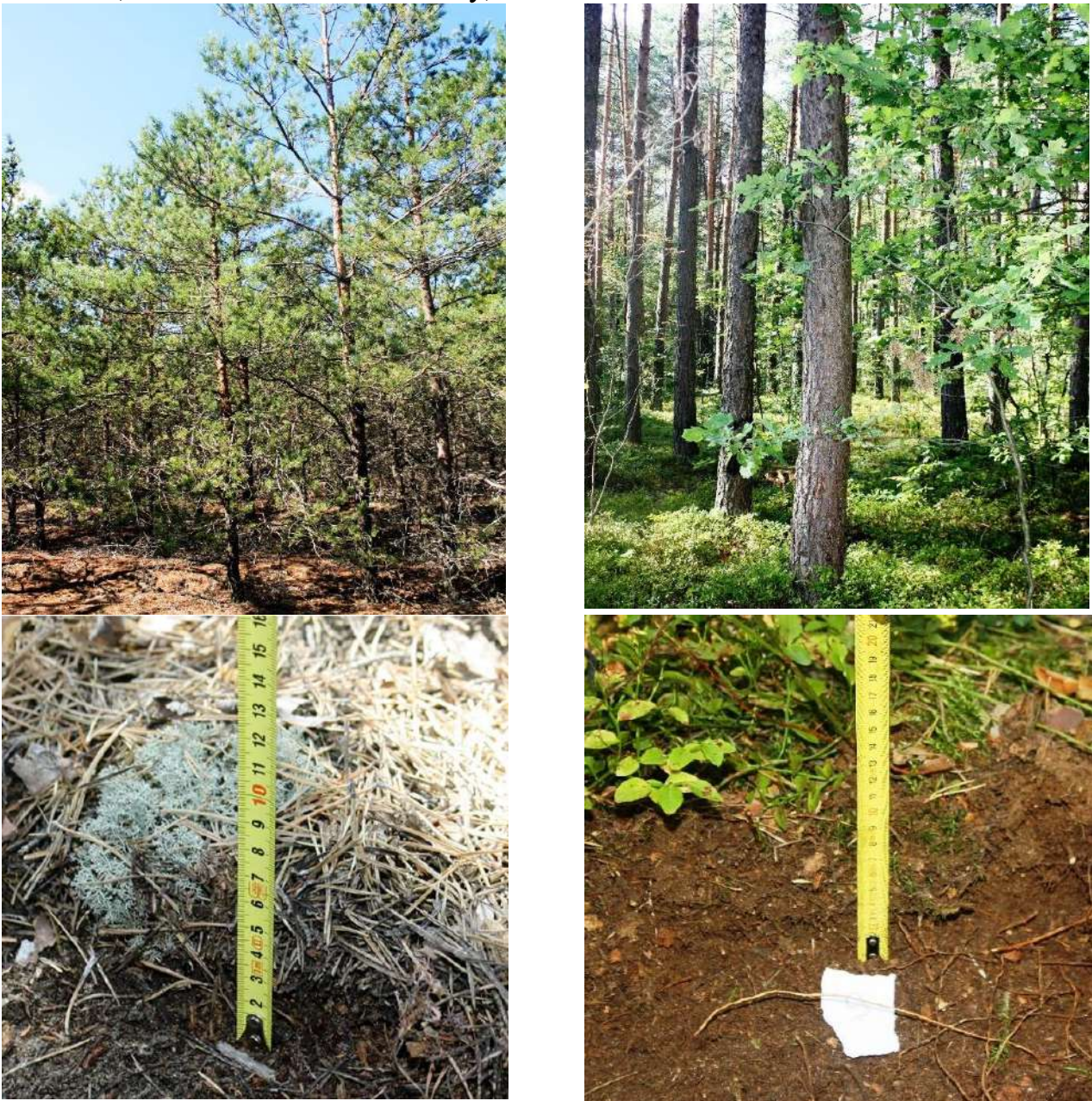


Рис. 3.20 – Типові для Полісся сосняки та потужність підстилки в них (ліворуч – сосновий деревостан в умовах А₁; праворуч – у В₃) (ДП «Остківське ЛГ», Дубнівське л-во, кв.59, вид.3 (ліворуч) та ДП «Костопільське ЛГ», Мащанське л-во, кв.48, вид.5 (праворуч))

Таблиця 3.6 – Таксаційна характеристика чистих соснових насаджень, в яких визначали запаси підстилки

Л-во, -кв.-вид.	ТЛУ	Вік, років	Повнота	Клас бонітету	$H_{сер}, м$	$D_{сер}, см$	$M, м^3/га$
Мащанське -49-2	B_3	18	0,7	I	5	5	16
Дубнівське – 49-18	A_1	26	0,8	II	8	9	75
Мащанське -49-5	B_3	28	0,8	I	10	10	88
Мушнянське -54-38	B_3	35	0,8	I^b	16	18	230
Мащанське -66-7	B_3	38	0,8	I	13	14	180
Мушнянське -52-49	B_3	49	0,8	I^a	20	20	320
Дубнівське-59-13	A_3	58	0,8	II	15	16	210
Мушнянське -54-16	B_3	61	0,7	I^a	23	25	320
Мушнянське-52-46	B_3	66	0,7	I	21	26	310
Мащанське -48-5	B_3	71	0,8	I^a	25	26	410
Мащанське-40-19	B_3	80	0,7	I	26	33	380
Мушнянське-50-2	B_3	86	0,7	I^a	30	38	430

Більшість соснових лісів поліської частини Рівненщини ростуть в умовах вологого субору, тому структуру та особливості лісової підстилки досліджували в чистих сосняках різного віку в цих умовах. Запас підстилки в таких лісах становив від 124 до 830 ц/га, що значно перевищує обсяги, визначені іншими авторами [144, 163].

Середній запас підстилки в сосняках для різних вікових груп в умовах B_3 до віку 20–30 років майже не різнився (рис. 3.21). В 49-річному сосняку в умовах B_3 маса лісової підстилки в північній частині Полісся (ДП «Остківське ЛГ») була достовірно більшою, ніж у південній (ДП «Костопільське ЛГ») ($F_f = 86,9$; $F_t = 4,5$ при $p = 0,01$).

У соснових насадженнях, однорідних за гігратопом, у багатших трофотопіях (суборах) накопичуються більші запаси підстилки, ніж у бідних умовах (борах). Так, якщо порівнювати 60-річні сосняки, то в борових умовах запас підстилки становив 355 ц/га, а в суборових – 703 ц/га. В умовах сугрудю запас мортмаси був значно меншим, що свідчить про інтенсивніший процес розкладу підстилки (рис. 3.22).

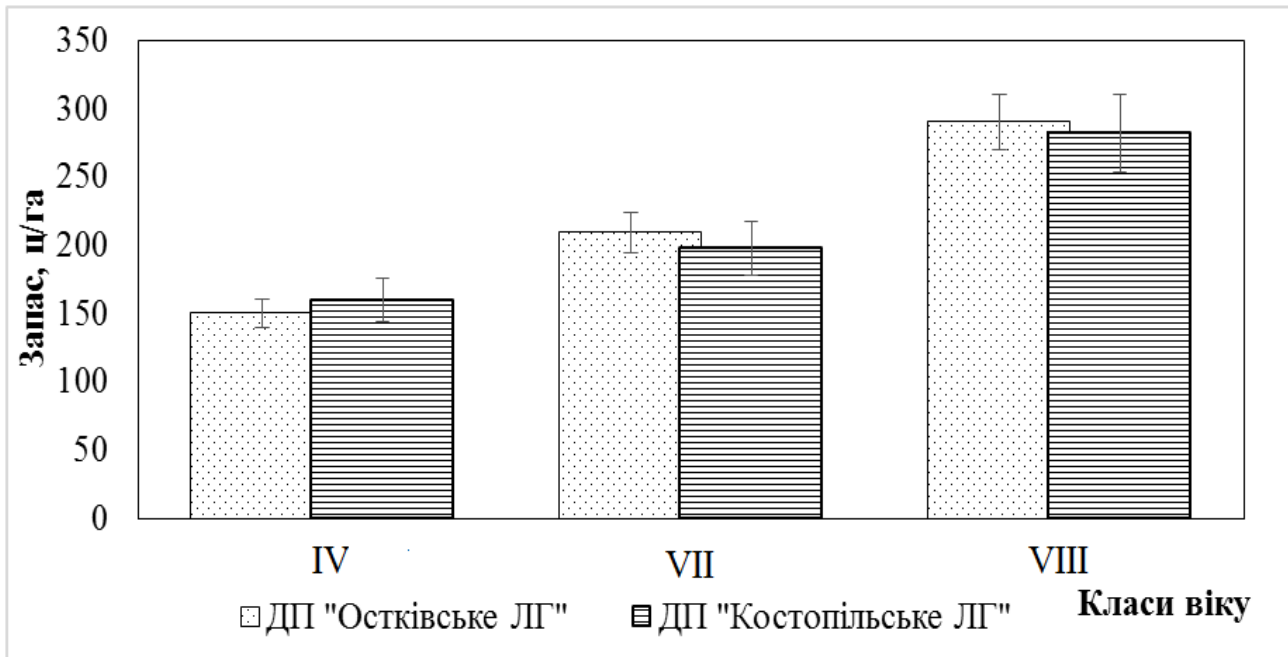


Рис. 3.21 – Запаси підстилки в соснових насадженнях різних класів віку північної (ДП «Остківське ЛГ») та південної (ДП «Костопільське ЛГ») частин Полісся

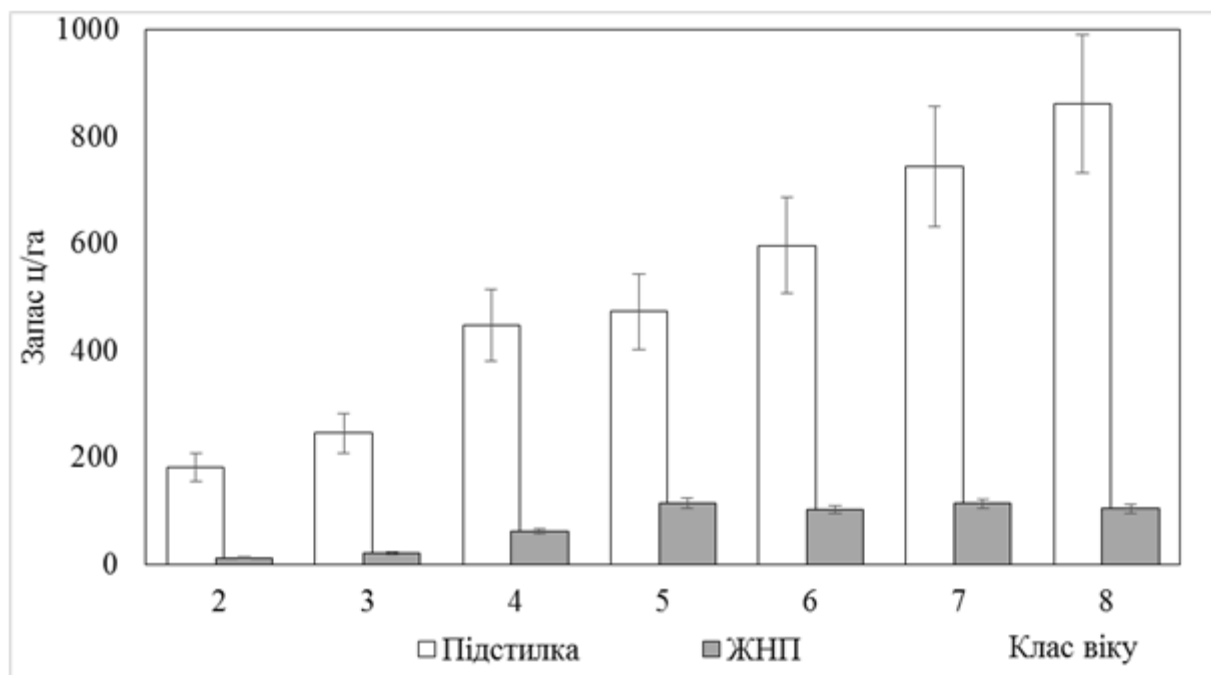


Рис. 3.22 – Запас підстилки в соснових насадженнях різних класів віку, ц/га Тут або на рисунку розшифрувати, що таке ЖНП

Між віком сосняків і середнім запасом лісової підстилки в них виявлено сильний прямий кореляційний зв'язок ($r = 0,87$; $p = 0,05$). Найменший запас підстилки визначено у віці 20–30 років (124–246 ц/га). У 40 років запас став у 2,3–2,6 разу більшим. Максимальним запас підстилки був у 80-річних сосняках – 830 ц/га (рис. 3.23).

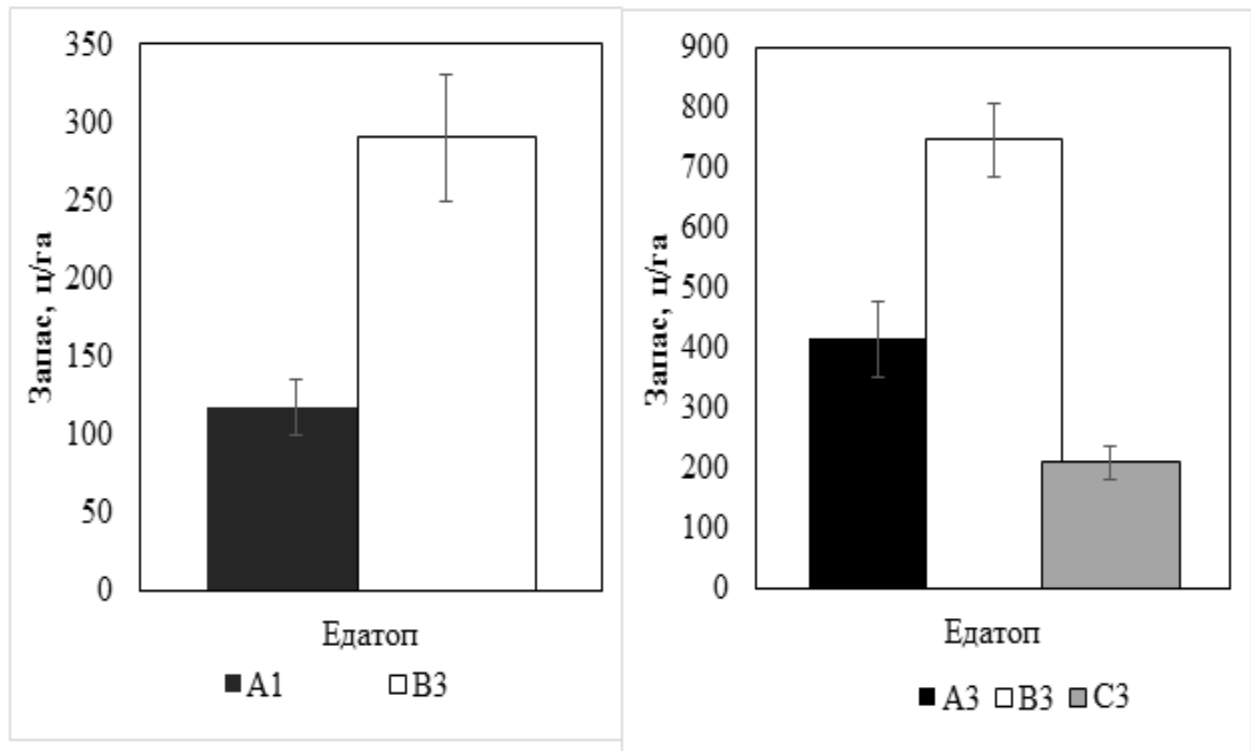


Рис. 3.23 – Запас підстилки та живого надґрунтового покриву в соснових лісостанах залежно від ТЛУ

Оскільки запас підстилки збільшується з віком, можна стверджувати, що загроза пошкодження пожежею дерев сосни має таку ж тенденцію.

Поряд із фітодетритом (хвою, гілками, шишками), що надходить на поверхню ґрунту, суттєве значення для формування підстилки має ЖНП. Запас ЖНП у сухих гіротопах є незначним, оскільки він формується лишайниками та злаками, проте ризик виникнення пожежі є найвищим, оскільки вони швидко висихають і займаються.

У вологих борах надґрунтовий покрив формується за рахунок мохів, а у вологих суборах – мохів, чорниці та брусниці. Запас ЖНП може сягати 114 ц/га. Хоча рослини ЖНП у В₃ мають набагато меншу здатність до загоряння, за посушливих погодних умов, коли покрив висихає, значний їхній обсяг становитиме надзвичайну загрозу.

Найбільшим запас підстилки був біля стовбура, найменшим – у просторі між кронами, де опад з дерев є мінімальним (табл. 3.7). Різниця запасів підстилки в різних частинах насаджень може сягати 150–200 % ($F_f = 43,65$; $F_t = 3,40$ при $p = 0,01$).

Від запасу підстилки біля стовбура дерева залежить ступінь пошкодження стовбура низовою пожежею [194] внаслідок теплопровідності ґрунту та тепловипромінювання [125, 194]. У вологих і мокрих гіротопах у дерев формуються кореневі лапи, пошкодження яких пожежею призводить до їхнього швидкого всихання та падіння внаслідок вітровалу [75, 77, 78].

Таблиця 3.7 – Запас підстилки та живого надґрунтового покритву в соснових лісостанах, ц/га

Л-во-кв.-вид.	ТЛУ	Клас віку	Запас підстилки			Запас живого надґрунтового покритву		
			біля стовбура	на межі проєкції крони	у просторі між проєкціями крон	біля стовбура	на межі проєкції крони	у просторі між проєкціями крон
Мащанське-49-2	B ₃	II	209	240	97	4	8	26
Дубнівське-49-18	A ₁	III	125	127	121	2	0	0
Мащанське-49-5	B ₃	III	318	246	175	18	18	29
Мушнянське-54-38	B ₃	IV	462	550	393	63	60	68
Мащанське-66-7	B ₃	IV	494	452	430	21	17	47
Мушнянське-52-49	B ₃	V	625	565	520	103	111	130
Дубнівське-59-13	A ₃	VI	557	322	185	127	102	37
Мушнянське-54-16	B ₃	VI	803	720	585	98	66	146
Мушнянське-52-46	B ₃	VII	816	701	486	95	107	140
Мащанське-48-5	B ₃	VII	758	660	402	50	64	59
Мащанське-40-19	B ₃	VIII	980	825	699	30	30	81
Мушнянське-50-2	B ₃	VIII	610	1043	839	92	88	133

У 20–30-річних насадженнях запас підстилки шару Н був незначним і формувався переважно біля стовбура, зменшуючись у міру віддалення від стовбура (табл. 3.8). У просторі між проєкціями крони запаси цього шару були незначними або взагалі відсутніми. Так, в ДП «Костопільське ЛГ» у віці 20 років, в умовах B₃, маса гуміфікованого шару біля стовбура становила 79 ц/га, на межі проєкції крони вона зменшувалася до 47 ц/га, а в просторі між кронами шар Н взагалі був відсутній. Для сосняків III класу віку в умовах B₃ не виявлено чіткого розмежування шарів F та Н, тому останній не виділяли, адже він був на стадії формування.

Таблиця 3.8 – Запас різних шарів підстилки в соснових насадженнях Полісся, ц/га

Л-во-кв.-вид.	ТЛУ	Клас віку	Шар підстилки	Біля стовбура дерев	На межі проєкції крони	У просторі між проєкціями крон	Середнє
Мащанське-49-2	В ₃	II	L	79	53	32	55
			F	122	58	47	76
			H	79	47	0	42
Дубнівське-49-18	А ₁	III	L	33	22	10	21
			F	55	39	24	39
			H	86	43	38	56
Мащанське-49-5	В ₃	III	L	143	143	74	120
			F	214	157	140	170
			H	0	0	0	0
Мушнянське-54-38	В ₃	IV	L	144	103	90	112
			F	160	132	101	131
			H	283	203	129	205
Мащанське-66-7	В ₃	IV	L	164	125	96	128
			F	171	159	123	151
			H	256	177	149	194
Мушнянське -52-49	В ₃	V	L	34	25	16	25
			F	178	174	165	172
			H	293	189	137	207
Дубнівське-59-13	А ₂	VI	L	87	46	15	49
			F	192	101	27	107
			H	435	212	130	259
Мушнянське-54-16	В ₃	VI	L	87	87	52	75
			F	414	275	227	305
			H	465	355	273	365
Мушнянське -52-46	В ₃	VII	L	181	123	55	119
			F	214	153	142	170
			H	438	320	242	333
Мащанське-48-5	В ₃	VII	L	96	40	0	45
			F	157	127	90	125
			H	505	475	301	427
Мащанське-40-19	В ₃	VIII	L	129	103	89	107
			F	227	191	144	187
			H	708	486	467	554
Мушнянське-50-2	В ₃	VIII	L	165	93	83	114
			F	349	311	127	262
			H	610	469	380	486

Запас підстилки зменшується в міру віддалення від стовбура. Так, у 70–80-річних сосняках у шарі Н біля стовбура запас підстилки коливався у межах 438–708 ц/га, на межі проєкції крони – у межах 320–486 ц/га, а у просторі між проєкціями крон перебувала у межах 242–467 ц/га (рис 3.24).

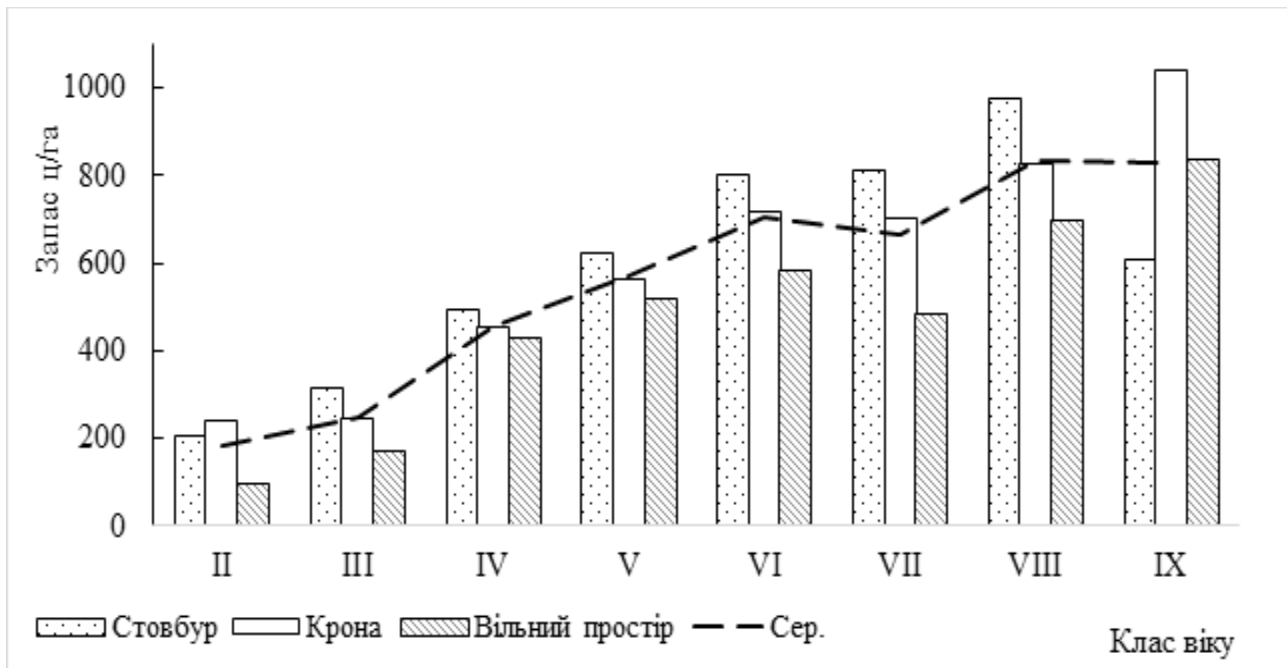


Рис. 3.24 – Зміна запасу підстилки з віком залежно від місця відбору зразків у сосновому насадженні (*Сер. – середній запас лісової підстилки у насадженні відповідного класу віку)

Товщина підстилки є найпростішим у визначенні параметром і надзвичайно зручним індикатором порушень біологічного кругообігу в лісових екосистемах [53]. Товщина підстилки змінювалася від 5,1 до 16,8 см, збільшуючись із віком насадження ($r = 0,6$; $p = 0,05$). У віці 15–20 років середня товщина підстилки становила 6,2 см, а у 80 років – 11,5 см (рис. 3.25). У межах проєкції крони товщина підстилки змінювалася від 5,4 до 16,8 см, а у просторі між проєкціями крон – від 5,1 до 11,5 см (табл. 3.9).

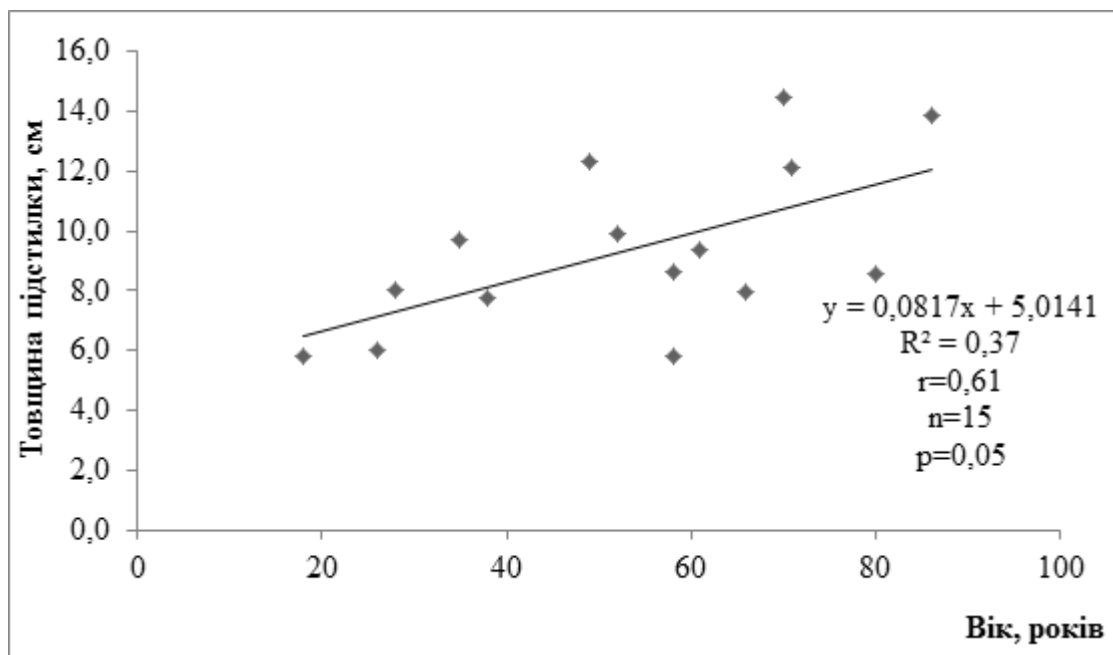


Рис.3.25 – Зміна товщини підстилки з віком у соснових насадженнях

Таблиця 3.9 – Товщина підстилки в соснових лісостанах, см

Л-во-кв.-вид.	ТЛУ	Вік	Місце відбору		
			біля стовбура	на межі проєкції крони	між кронами
Мащанське-49-2	B ₃	18	6,2	6,1	5,1
Дубнівське -49-18	A ₁	26	5,6	5,4	7,0
Мащанське -49-5	B ₃	28	11,1	7,2	5,9
Мушнянське -54-38	B ₃	35	10,5	11,6	6,9
Мащанське -66-7	B ₃	38	8,4	8,7	6,1
Мушнянське -52-49	B ₃	49	11,3	13,7	11,9
Дубнівське-59-13	A ₃	58	7,9	6,5	11,5
Мушнянське -54-16	B ₃	61	11,7	7,7	8,8
Мащанське-48-5	B ₃	66	7,8	8,6	7,5
Мушнянське-52-46	B ₃	71	11,3	13,3	11,7
Мащанське-40-19	B ₃	80	8,9	9,0	7,8
Мушнянське 50-2	B ₃	86	13,8	16,8	10,8
Дубнівське-56-28	B ₃	52	8,7	9,5	11,5
Мащанське-40-20	B ₃	58	6,2	6,2	5,2

Регресійним аналізом (рис. 3.26) встановлено, що на 76 % запас підстилки визначався її товщиною ($R^2 = 0,76$; $p = 0,05$). Отримане регресійне рівняння дає можливість швидко оцінити запаси підстилки в насадженні. Ймовірність загоряння підстилки залежить насамперед від її вологості. Загоряння можливе за вологості менше ніж 30 %, а за вологості понад 50 %, навіть за наявності джерел вогню, лісова підстилка не загорається [166].

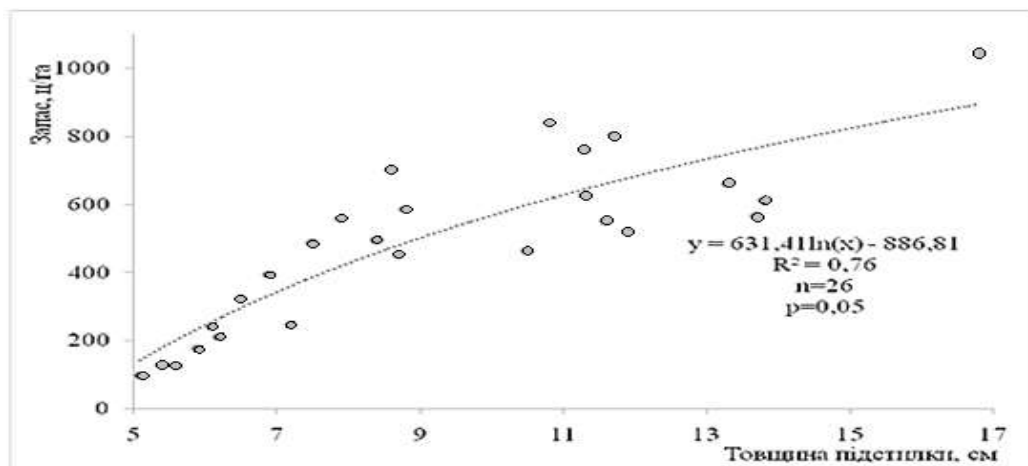


Рис. 3.26 – Залежність між запасом і товщиною лісової підстилки в соснових насадженнях

Запаси підстилки визначали 20 серпня та 19–22 вересня 2016 р. За період із квітня до 20 серпня випало 293 мм опадів, і на момент відбору вологість підстилки для шару L становила 44,4 %, для шару F – 51,3 %, для шару Н – 39,7 % (рис. 3.27). Різниця між максимальним та мінімальним значеннями була великою: для L – 32–52 %, F – 40–60 %, Н – 35–45 %.

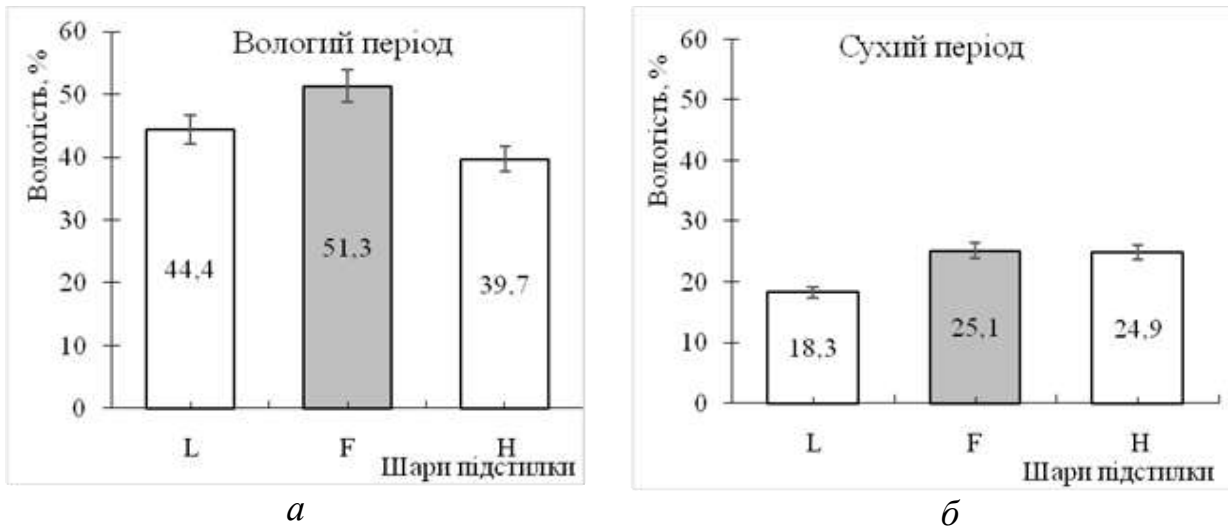


Рис. 3.27 – Вологість шарів підстилки в соснових лісостанах: *а* – вологий період; *б* – сухий період

За період до наступного відбору зразків лісової підстилки випало лише 5 мм опадів. Середня добова температура коливалася від 21 до 32°C. Тому вологість шару L зменшилася до 18,3 %, шару F – до 25,1 %, шару H – до 24,9 %; зменшення становило відповідно 2,42, 2,04 та 1,59 разу. Таким чином, відносний ступінь втрати вологи зменшується вглиб профілю лісової підстилки. Інтервал між максимальними й мінімальними значеннями становив: для шару L – 5–27 %, для шару F – 11–32 %, для шару H – 20–35 %. За місяць бездощової спекотної погоди вологість підстилки зменшилася до рівня займання за умови наявності джерел вогню.

Найменшу вологість зафіксовано в шарі L, який найшвидше висихає. Щодо шарів F і H, то нижчий шар не завжди мав найвищу вологість. Можна припустити, що, з одного боку, за невеликої кількості опадів через велику щільність середнього шару волога не надходить глибше. З іншого боку, в досліджуваному типі лісу, як уже зазначалося, горизонт H є густо пронизаним корінням, яке активно поглинає вологу, наявну в цьому шарі (рис.3.28).



Рис.3.28 – Коріння сосни, яким густо пронизаний гуміфікований горизонт лісової підстилки (Мушнянське л-во, ДП «Остківське ЛГ»)

За однакової вологості лісової підстилки здатність до загоряння та інтенсивність горіння під час низових пожеж залежать від її щільності (об'ємної маси) (табл. 3.10).

Таблиця 3.10 – Об'ємна маса підстилки в соснових насадженнях в умовах В_з, г/дм³

Л-во-кв.-вид.	Клас віку	Місце відбору зразків			
		біля стовбура	на межі крони	між кронами	Середнє
Мащанське -49-2	II	33,7	39,6	19,1	31,5
Мащанське -49-5	III	28,7	34,3	29,6	30,6
Дубнівське-56-28	III	35,1	43,0	31,4	36,2
Мушнянське-54-38	IV	44,0	47,5	56,8	48,4
Мащанське -66-7	IV	58,9	51,9	70,9	59,4
Мушнянське-52-49	V	55,3	41,2	43,7	46,4
Мащанське-40-20	VI	55,1	61,0	62,9	59,5
Мушнянське-54-16	VI	68,9	93,9	66,2	74,8
Мушнянське-52-46	VII	105,3	81,7	65,0	84,1
Мащанське-40-19	VIII	110,1	91,6	89,3	97,3

Згідно з результатами досліджень Н. П. Курбатського [141], об'ємна маса підстилки суттєво варіює (від 36 до 110 г/дм³), залежить від ТЛУ та зменшується зі збільшенням вологості місцезростань. Проведені нами дослідження (табл. 3.10) надали можливість встановити діапазон мінливості значень об'ємної маси: 30,6–97,3 г/дм³. Зміна щільності підстилки пов'язана з віком деревостанів, едатопом, повнотою, бонітетом тощо. Кореляційний зв'язок між об'ємною масою й віком сосняків є сильним ($r = 0,73$) та апроксимується рівнянням прямої $y = 0,7458x + 15,47$. Об'ємна маса підстилки зростає з віком. Так, якщо у сосняках II–III класу віку середня об'ємна маса підстилки становить 30,6–36,2 г/дм³, то в сосняках VI–VIII класу віку – 74,8–97,3 г/дм³, тобто зростає у 2,1–3,2 разу. Пірологічне значення зростання запасів підстилки та об'ємної маси є різним. У разі зростання запасів збільшуються час і температура горіння, тоді як збільшення щільності уповільнює швидкість горіння.

До віку 50–60 років максимальне значення об'ємної маси реєстрували зазвичай на межі проєкції крони, а в старших сосняках, навпаки, біля стовбура. Різниця між цими двома мікрозонами зростає зі збільшенням віку сосняків (див. табл. 3.10). Якщо у 30–40 років різниця між мікрозонами становила 6–8 г/дм³, то у 70–80 років – 20–24 г/дм³.

Такі зміни запасів та щільності підстилки пов'язані з особливостями її формування. Щільність підстилки, а значить, й інтенсивність горіння залежать від складу мортмаси в шарах підстилки (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 – Розподіл мортмаси за фракціями в різних шарах підстилки

Л-во-кв.-вид.	ТЛУ	Клас віку	Шар підстилки	Маса підстилки, ц/га	Розподіл підстилки за фракціями, %			
					Хвоя	Гілки	Шишки	Без-структурна мортмаса
Мащанське-49-2	В ₃	II	L	55	100,0	0,0	0,0	0,0
			F	76	0,0	0,0	7,0	93,0
			H	42	0,0	0,0	0,0	100,0
Мащанське-66-7	В ₃	IV	L	128	89,1	6,2	4,7	0,0
			F	151	0,0	17,5	0,9	81,7
			H	194	0,0	0,0	0,0	100,0
Мушнянське-54-16	В ₃	V	L	25	90,0	4,8	5,2	0,0
			F	172	0,0	0,0	0,0	100,0
			H	207	0,0	0,0	0,0	100,0
Мушнянське-52-46	В ₃	VI	L	75	81,1	6,7	12,3	0,0
			F	305	0,0	0,0	0,0	100,0
			H	365	0,0	0,0	0,0	100,0
Мащанське-40-19	В ₃	VII	L	45	75,1	22,2	2,7	0,0
			F	125	0,0	15,0	8,6	76,4
			H	427	0,0	5,8	7,0	87,2
Мушнянське-50-2	В ₃	VIII	L	114	93,9	3,2	2,9	0,0
			F	262	0,0	0,0	0,0	100,0
			H	486	0,0	0,0	0,0	100,0
Мащанське-40-19	В ₃	VIII	L	107	100,0	0,0	0,0	0,0
			F	187	0,0	0,0	0,0	100,0
			H	554	0,0	0,0	0,0	100,0

Основною складовою мортмаси опадового шару була хвоя. Гілки та шишки становили відповідно 2–12 і 3–15 % від загального запасу. Цей шар підстилки разом із трав'яним покривом [49] віднесено до I групи ЛГМ, які є «провідниками горіння». Температура горіння верхнього опадового шару коливалася в межах 354–444°C [59], що пов'язане з невеликою його товщиною.

Ферментативний шар F складався з коричнево-бурих органічних залишків, які напіврозклалися та втратили початкову форму та міцність. Він був пронизаний тонким корінням рослин та гіфами грибів. Частка безструктурної мортмаси становила 80–100 %. Значний запас та пухка структура підстилки з порожнинами сприяли доступу повітря та збільшенню температури горіння. Саме під час горіння зразків цього горизонту було зафіксовано максимальні значення температури горіння підстилки в повітряно-сухому стані –370–513°C [59].

Найнижчий шар гуміфікації H, темно-бурий, чорний складався з однорідної, часто порошкоподібної, доволі щільно спресованої маси. Для цього шару характерні значний уміст піску (від 9,4 до 19,5 %) і найвища вологість. Температура його горіння є найнижчою – 200–300°C [59]. Часто цей горизонт

впродовж значного періоду часу горить без полум'я. Тривалий режим горіння шару Н призводить до погіршення як якості ґрунтів, так і постпірогенного розвитку сосняків.

Лісовій підстилці притаманна просторова ієрархічність процесів, крім того кожна наступна взаємодія неможлива без попередніх процесів, а попередні етапи трансформації відбуваються у вище розташованих структурах підстилкового профілю [3, 234].

Співвідношення між шарами підстилки зі зростанням віку сосняків суттєво змінюється (рис. 3.29). У насадженнях до 40 років частки шарів L і F є майже рівними, а частка Н є незначною або зовсім відсутньою. У насадженнях віком понад 50 років частки F і Н різко зростають; для шару F максимальне значення зафіксовано в 50–60 років, для Н – після 70 років. Причиною є значне збільшення запасів фітодетриту в цих шарах підстилки.

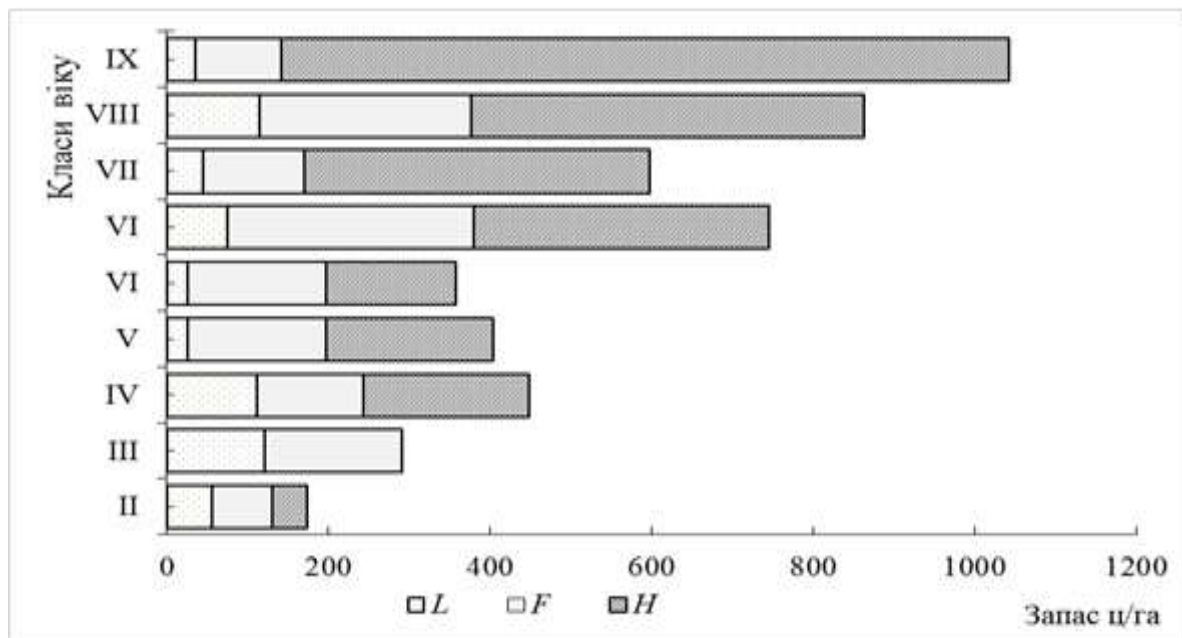


Рис. 3.29 – Зміна співвідношення шарів підстилки з віком у соснових лісостанах

За відношенням маси нижнього до вищерозташованого шару можна оцінити інтенсивність процесу розкладення мортмаси [233]. Індекс накопичення мортмаси в шарі F в 50 років коливався від 5,2 до 10,3 (табл. 3.12), тобто в результаті гальмування розкладу мортмаси накопичувалося від 3 до 10 річних запасів опадового горизонту L. Після 70 років у шарі Н накопичується 2–3 річних запаси опадового шару

Запаси лісової підстилки за групами ЛГМ у різних частинах насадження також різнилися. Найбільший запас виявлено біля стовбура (залежно від віку та едатопу запас ЛГМ I групи коливався від 35 до 276 ц/га, II групи – від 141 до 879 ц/га), а найменший – у просторі між проєкціями крон (запас ЛГМ I групи – від 10 до 216 ц/га, II групи – від 471 до 677 ц/га) (табл. 3.13).

Таблиця 3.12 – Коефіцієнти накопичення мортмаси в шарах підстилки в соснових лісостанах залежно від віку

Л-во-кв.-вид.	Клас віку	Співвідношення шарів підстилки	Біля стовбура дерев	На межі проєкції крони	У просторі між проєкціями крон	Середнє
Мащанське-49-2	II	F/L	1,5	1,1	1,5	1,4
		H/F	0,6	0,8	–	0,6
Мащанське-66-7	IV	F/L	1,0	1,3	1,3	1,2
		H/F	1,5	1,1	1,2	1,3
Мушнянське-52-49	V	F/L	5,2	7,0	10,3	6,9
		H/F	1,6	1,1	0,8	1,2
Мушнянське-54-16	VI	F/L	4,8	3,2	4,4	4,1
		H/F	1,1	1,3	1,2	1,2
Мушнянське-52-46	VII	F/L	1,2	1,2	2,6	1,4
		H/F	2,0	2,1	1,7	2,0
Мащанське-40-19	VIII	F/L	1,8	1,9	1,6	1,7
		H/F	3,1	2,5	3,2	3,0
Мушнянське-50-2	VIII	F/L	2,1	3,3	1,5	2,3
		H/F	1,7	1,5	3,0	1,9

Як відомо [49], шар L підстилки разом із сухими рештками трави та мохів і лишайників відносять до I групи ЛГМ, а шари F і H – до II групи ЛГМ. У сосняках Полісся маса ЛГМ II групи є на 65,6 % більшою, ніж I групи (див. табл. 3.13).

Таблиця 3.13 – Розподіл запасу лісових горючих матеріалів у соснових насадженнях за групами горимості, ц/га

Л-во-кв.-вид.	ТЛУ	Клас віку	Розподіл за мікронами та групами горимості							
			Біля стовбура		На межі проєкції крони		У просторі між проєкціями крон		Середнє	
			I	II	I	II	I	II	I	II
Мащанське-49-2	B ₃	II	87	121	59	181	40	57	62	120
Мащанське-49-5	B ₃	III	141	177	132	114	66	109	113	133
Мушнянське-54-38	B ₃	IV	103	359	156	394	90	303	116	352
Мащанське-66-7	B ₃	IV	96	398	155	297	125	305	125	333
Мушнянське-52-49	B ₃	V	69	556	109	455	118	402	99	471
Мушнянське-54-16	B ₃	VI	65	739	138	581	147	438	117	586
Мушнянське-52-46	B ₃	VII	149	666	142	558	66	420	119	548
Мащанське-48-5	B ₃	VII	113	645	40	620	0	402	51	556
Мащанське-40-19	B ₃	VIII	122	858	146	678	110	589	126	708
Мушнянське-50-2	B ₃	VIII	86	524	98	945	81	758	88	742

3.2.2 Температурні режими горіння підстилки соснових лісостанів

Моноліти лісової підстилки були відібрані в соснових насадженнях ДП «Остківське ЛГ» Рівненського обласного управління лісового та мисливського господарства. Їхню таксаційну характеристику наведено в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Таксаційна характеристика соснових насаджень, в яких відібрано моноліти підстилки

№ ППП	Л-во*	Кв.	Вид.	Вік	ТЛУ	Склад	D, см	H, м	Бонітет	Повнота	Запас на 1 га
Повітряно сухий стан											
1	Блв	50	16	45	A ₂	10Сз	14,4	8,1	4	0,8	160
2	Блв	61	11	58	A ₂	10Сз	20,4	17,2	2	0,8	256
3	Блв	54	24	41	A ₃	8Сз2Бп	16,5	15,3	1	0,7	167
4	Муш	50	7	76	B ₂	10Сз	32,6	26,3	1А	0,9	401
5	Муш	52	28	40	B ₃	9Сз1Бп	20,6	17,4	1	0,8	261
6	Муш	50	10	76	B ₃	8Сз2Бп	32,6	26,2	1	0,8	358
Абсолютно сухий стан											
7	Дуб	53	16	49	A ₁₋₂	10Сз	20,5	18,3	1	0,7	229
8	Муш	52	33	45	B ₂	8Сз2Бп	22,6	18,3	1	0,7	229
Абсолютно сухий стан + вітер											
9	Бдв	54	24	41	A ₃	8Сз2Бп	16,5	15,3	1	0,7	167
10	Блв	46	6	40	B ₃	8Сз2Бп	26,8	17,4	1	0,8	208
11	Дуб	64	14	52	B ₃	9Сз1Бп	20,5	19,3	1	0,7	216
12	Блв	54	3	41	A ₄	10Сз	12,4	7,2	4	0,8	210

Моноліти підстилки в повітряно-сухому стані з трофотопу А досліджували на ППП, закладених у різних л-вах (див. табл. 3.14). Із монолітів підстилки в повітряно-сухому стані два (ППП 1 і 2) було відібрано зі свіжого (A₂) і один (ППП 3) – із вологого (A₃) бору. Типову для монолітів ППП 1–3 зміну температури підстилки під час проходження фронту горіння, виявлену під час дослідження моноліту ППП 2 (A₂), продемонстровано на рис. 3.30.

Товщина підстилки монолітів із ППП 1, 2 (A₂) становила 4–5 см, а максимальна температура в шарах коливалася від 131 до 295°C. Найменшу температуру зафіксовано в нижньому шарі підстилки. У моноліті з ППП 1 максимальну температуру (від 265 до 295°C) відзначено в шарі F, а в моноліті з ППП 2 такий діапазон температур зафіксовано як у шарі L, так і в F.

Товщина підстилки третього моноліту (ППП 3) з вологого бору сягала 6,5 см. Максимальна температура в шарі 0–3 см була більшою, ніж у монолітів із A₂, і становила 320–370°C із максимумом у листопадному та гуміфікованому шарах, що пов'язане з більшим запасом підстилки.

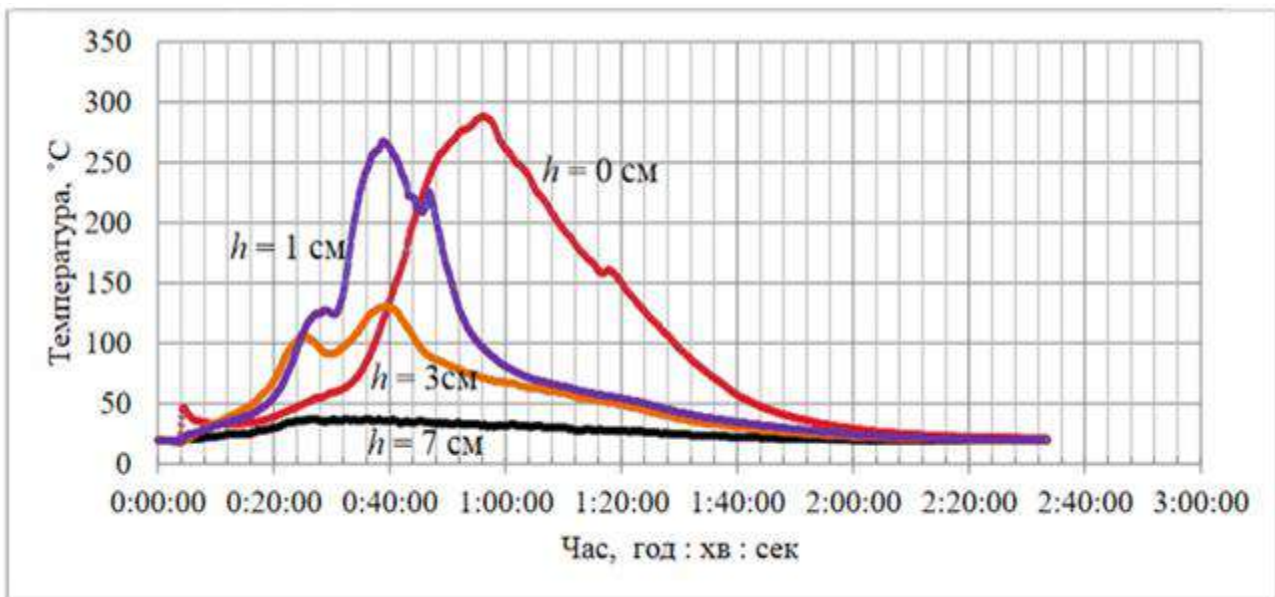


Рис. 3.30 – Динаміка температури горіння повітряно-сухої підстилки (ППП 2, А₂; h – відстань до термопарі від поверхні підстилки ($h = 0$))

Зважаючи на графіки (див. рис. 3.30) та візуальне спостереження за процесом горіння, можна відзначити такі загальні особливості горіння:



Рис. 3.31 – Межа проходження фронту тління підстилки (фото з лабораторії пірології кафедри фізико-математичних дисциплін Національного університету цивільного захисту України)

1. На поверхні монолітів ($h = 0$) на початку горіння температура не перевищувала 50°C , що пояснюється швидким переміщенням поверхневого фронту полум'я в напрямку до датчика температури. Це зумовлене невеликою густиною палива та добрим доступом кисню. Після проходження фронту полум'я температура на поверхні моноліту знижувалася. Зменшення вмісту кисню в заповненому попелом поверхневому шарі знижує температуру, але створює умови 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. 3.31 наведено фото зразка збоку, на якому видно межу проходження фронту тління.

2. Шари на глибині $h = 1\text{--}2$ см, які здебільшого відповідають F шарам, мають більше мікрооб'ємів з киснем і є кращими провідниками парогазу, який утворюється під час тління, тому зростання температури в цих шарах було більшим.

3. У міру збільшення глибини підстилки відбувається ущільнення паливного матеріалу та зменшення вмісту кисню в ньому. Тому зростання температури в цих шарах відбувається повільніше, ніж в описаних вище випадках, а температури горіння будуть нижчими.

Зауважимо, що криві температурних залежностей можуть містити декілька максимумів. Додаткові локальні максимуми зумовлені неоднорідністю підстилки, тобто нерівномірним розподілом лісового горючого матеріалу з різною теплотвірною здатністю.

Один із *монолітів підстилки в повітряно-сухому стані з трофотону В* було відібрано зі свіжого субору (B_2 , ППП 4) та два – із вологого (B_3 , ППП 5–6). Температура їхнього горіння була вищою, ніж монолітів із борів (рис. 3.32).

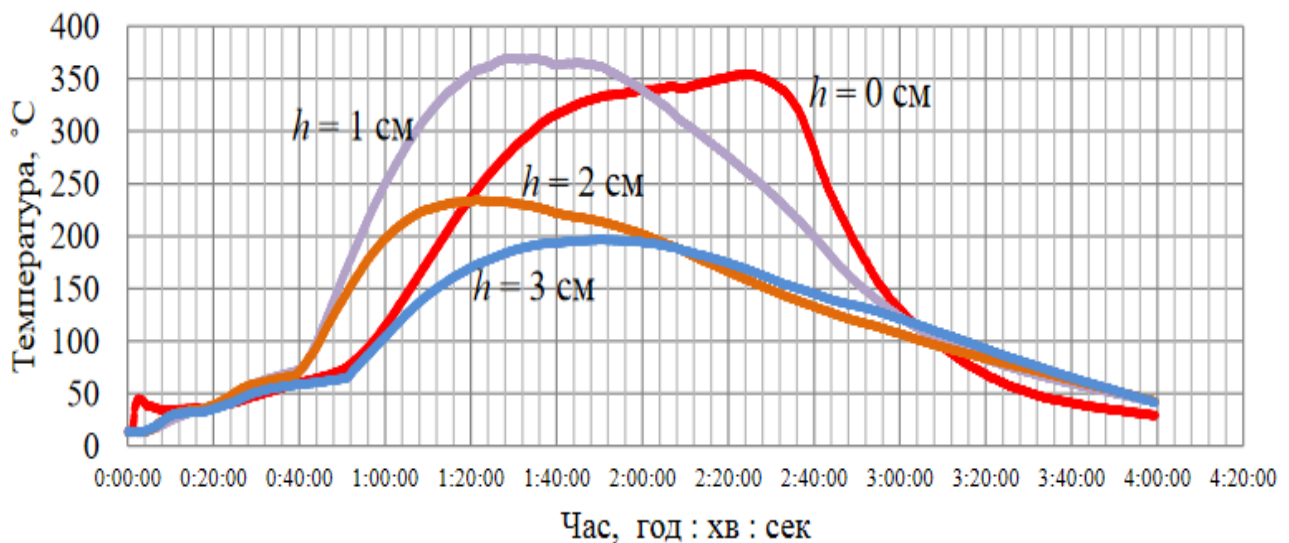


Рис. 3.32 – Динаміка температури горіння повітряно-сухого моноліту підстилки зі свіжого субору (ППП4) (h – відстань до термопари від поверхні підстилки ($h = 0$))

Діапазон температур горіння в цих зразках був різним. У моноліті ППП 4 (із B_2) максимальна температура перебувала в межах від 197 до 370°C, а в монолітах із B_3 – від 198 до 450°C (ППП 5) і від 302 до 502°C (ППП 6). Температура горіння зменшувалася вниз по профілю моноліту. Найнижчою вона була в шарі Н на глибині $h > 3$ см – 200–300°C, що пов'язане зі щільною структурою мортмаси та значною домішкою пилу й піску.

Максимальні значення температур горіння зареєстровано в середньому шарі (глибина 1–2 см) – 370–513°C. Для нього характерними є значний запас палива та крихка дірчаста структура, що сприяє доступу повітря й збільшенню температури горіння. Основні закономірності процесів, відзначені вище в пунктах 1–3 для монолітів із бору, є характерними й для підстилки із суборів. Різниця полягає в збільшенні температури максимумів (на 50–100°C), що є природним, оскільки підстилки в типі В мають більший запас паливного матеріалу.

Окрім цього, для підстилки із суборів характерною є значно менша швидкість горіння у всіх шарах, якщо порівняти з підстилкою з борів (табл. 3.15). Причиною такої різниці у швидкості є, вочевидь, відмінність щільності паливного матеріалу лісових підстилок різних типів умов росту.

Таблиця 3.15 – Середня швидкість руху фронту вогню під час горіння підстилки, м/год

Трофотоп	Глибина шарів зразка, см			
	0	1	2	3
А	Без вітру			
	0,119	0,132	0,109	0,075
	Швидкість вітру 1,5 м/с			
	0,153	0,199	0,110	0,090
В	Без вітру			
	0,075	0,047	0,052	0,050
	Швидкість вітру 1,5 м/с			
	0,242	0,129	0,106	0,075

Моноліти абсолютно сухої підстилки. Температура горіння підстилки в монолітах в абсолютно-сухому стані значно зростає. Так, температура горіння підстилки в моноліті з ППП 7 з товщиною до 4 см коливалася від 333 до 655°C, а в моноліті з ППП 8 – від 347 до 525°C. Найнижчою була температура горіння у шарі Н – 333–347°C, а найвищою – у шарі F – 525–655°C.

Моноліти абсолютно сухої підстилки з імітацією вітру. Спалено моноліт (ППП 9) із А₁ (рис. 3.33, а) та два (ППП 10, 11) із В₃ (рис. 3.33, б).

Зростання швидкості повітряних потоків призводить до збільшення температури горіння підстилки, оскільки завдяки цьому в ній збільшується вміст кисню. Так, температура горіння підстилки із соснового насадження сухого бору (ППП 9) сягала 279–456°C (рис. 3.33, а). При цьому найвищі температури зареєстровано в листопадному та верхній частині гуміфікованого шару, відповідно 456 і 432°C. Ще вищі температури відзначено під час горіння абсолютно сухої підстилки з вологого субору (ППП 11, рис. 3.33, б). За товщини підстилки 7,5–8,0 см температура горіння мортмаси у ферментативному шарі сягала 686–703°C, а в листопадному й верхній частині гуміфікованого шару – 586°C. У нижній частині шару Н вона становила 270°C.

Наявність вітру призводила до збільшення максимумів температур. Але якщо до глибини 1 см температура підвищувалася на 10–50°C, то для глибших шарів вона сягала 200–250°C. 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 незначну конвекцію та інтенсивне збагачення киснем.

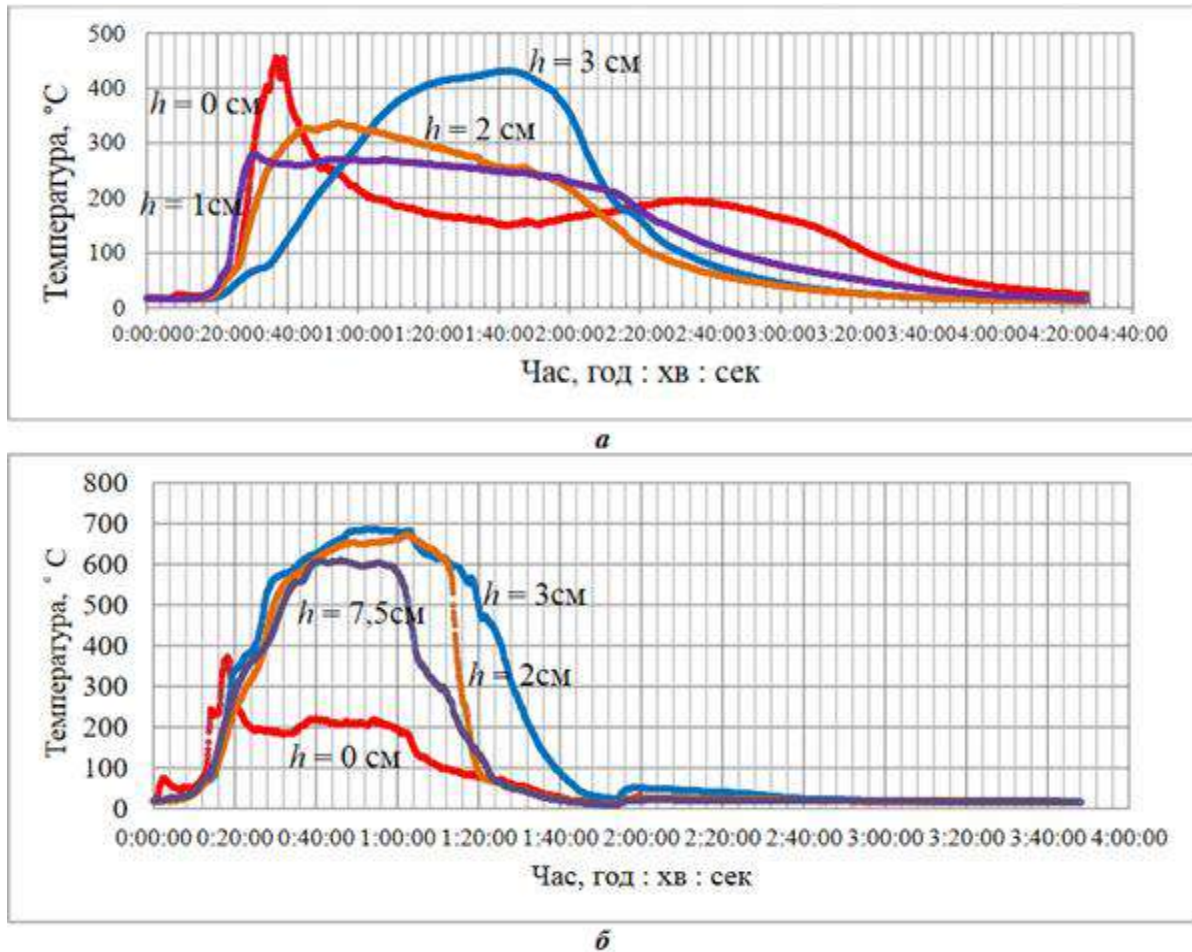


Рис. 3.33 – Температури горіння монолітів з ППП 9, АЗ (а) за швидкості вітру 1 м/с і з ППП 11, ВЗ (б) за швидкості вітру 1,5 м/с (h – відстань від поверхні підстилки ($h = 0$))

3.2.3 Вплив теплового випромінювання на лісові ґрунти

Термальне пошкодження тканин корневих систем є особливо небезпечним для рослин [83], але його механізм вивчено недостатньо.

Дернові слаборозвинені піщані ґрунти. Експеримент із першим монолітом проведено 22 червня. Хоча на момент його відбору зафіксовано високу пожежну небезпеку за Нестеровим (ПН 6524 – IV КПН), вологість ґрунту була високою, оскільки з 11 до 20 червня випало 67 мм опадів.

Ґрунт до початку нагрівання мав температуру 25°C. Моноліт нагрівали впродовж 30 хвилин. На поверхні ґрунту (рис. 3.34) температура зростала до моменту припинення нагрівання й досягла 304°C. Після припинення нагрівання температура на поверхні ґрунту різко знизилась, а в нижніх шарах профілю вона й надалі зростала: на глибинах 2 і 4 см – ще впродовж 7–8 хвилин, на глибині 6 см – 16 хвилин, на глибині 10 см – 20 хвилин.

Подібна тенденція щодо зміни температури існувала й на інших глибинах, але в міру заглиблення в ґрунт температура знижувалася. Так, на глибині 2 см температура сягнула максимуму в 118°C на 37-й хвилині, на глибині 4 см – 76°C на 38-й, на глибині 6 см – 67°C на 46-й, а на глибині 10 см максимум у 64°C було зафіксовано на 50-й хвилині. Різниця між максимальними температурами на глибині 2 см і на поверхні ґрунту становила 141°C, а на глибині 10 см – 171°C.

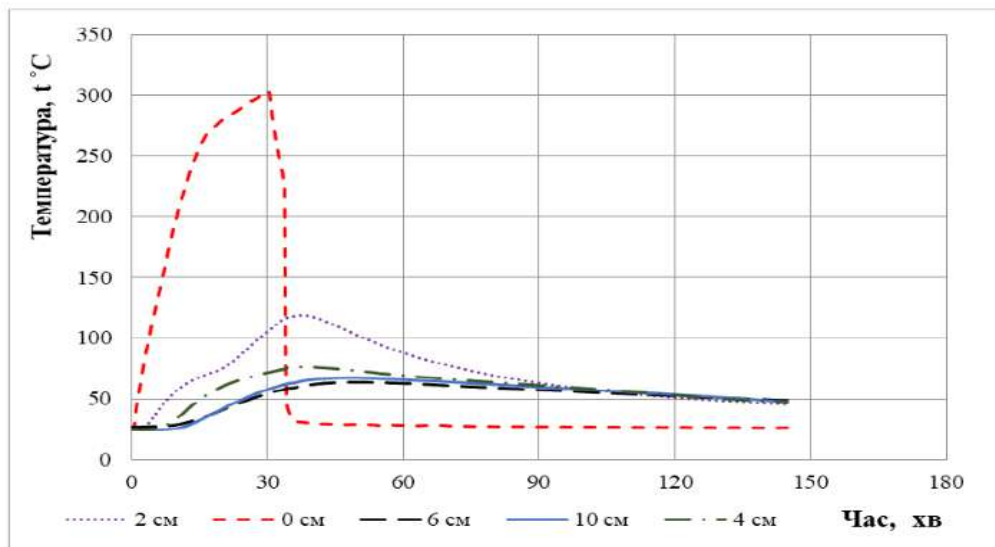


Рис. 3.34 – Залежність температури вологого піщаного ґрунту на різних глибинах від часу нагрівання

Суттєвість відмінностей зміни температури ґрунту на різних глибинах доведено статистично ($F_f = 28,64$; $p = 0,01$). Сила впливу фактора за Снедекором $h^2 = 0,87$ свідчить, що розходження у швидкості нагрівання вологого піщаного ґрунту на 87 % визначалося глибиною заміру.

Щоб з'ясувати середні яких груп дисперсійного комплексу різняться між собою, застосовано тест Тьюки (Tukey HSD). Виявлено, що на рівні значущості $p = 0,05$ достовірно різнилися групи 0 см та 4, 6, 10 см. Групи 0 та 2 см достовірно не різнилися. Групи 4, 6 та 10 см між собою достовірно також не різнилися. Таким чином, середні температури ґрунту на глибині понад 4 см не розрізнялися, статистично значущі відмінності виявлено лише під час порівняння температури ґрунту на незначній глибині (0–2 см) із даними з глибших шарів ґрунту, що вказує на слабку теплопровідність вологого піщаного ґрунту.

Експеримент із другим монолітом із дернових слаборозвинених піщаних ґрунтів проведено 8 серпня. За період з 20 липня до 1 серпня випало лише 5 мм опадів. Температура ґрунту до початку нагрівання була 26°C. У момент відбору зафіксовано високий рівень комплексного показника пожежної небезпеки (ПН 7833 – IV КПН), а вологість повітря становила лише 42 %. Моноліт нагрівали впродовж 30 хвилин. Максимальна температура на поверхні ґрунту становила 375°C (рис. 3.35). Після припинення нагрівання вона ще трималася 25 хвилин, а далі почала швидко падати. На глибині 2 см максимальну температуру в 314°C зафіксовано на 50-й хвилині, на глибині 4 см максимум у 185°C – на 70-й хвилині, на глибині 6 см – 120°C на 90-й хвилині, на глибині 10 см максимум 67°C – на 120-й хвилині від початку експерименту.

Суттєвість відмінностей змін температури ґрунту на різних глибинах сухого піщаного ґрунту доведено статистично ($F_f = 745,9$; $p = 0,01$). Сила впливу фактора за Снедекором $h^2 = 0,99$ свідчить, що розходження у швидкості нагрівання сухого піщаного ґрунту визначалося глибиною заміру на 99 %. Тестом Тьюки виявлено, що на рівні значущості $p = 0,05$ всі групи достовірно розрізнялися, тобто середні температури ґрунту на всіх глибинах впродовж експерименту різнилися, і такі відмінності були статистично значущими. Це вказує на значно більшу теплопровідність сухого піщаного ґрунту, якщо порівняти з вологим.

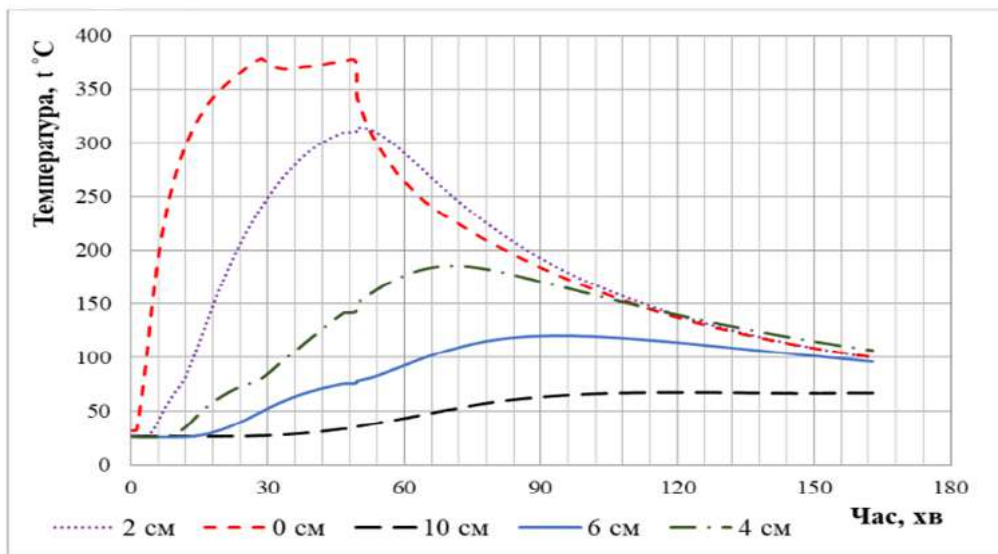


Рис. 3.35 – Залежність температури сухого піщаного ґрунту на різних глибинах від часу нагрівання

В обох випадках після припинення нагрівання впродовж двох годин спостерігали поширення тепла вглиб профілю. Проте процеси теплообміну в сухому піщаному ґрунті, якщо порівняти з першим монолітом, були тривалішими й відзначалися вищою температурою. Зокрема, хоча різниця між температурою на глибині 10 см і на поверхні ґрунту перевищувала 300°C, було досягнуто температури 67°C, яка є летальною для тканин камбію корневих систем.

Сірі лісові ґрунти. Експеримент із першим монолітом із сірого лісового ґрунту проведено 4 липня. Період до відбору монолітів відзначався сильними зливами, з 20.06 до 01.07 випало 96 мм опадів.

Температура ґрунту до початку дослідів становила 24°C. Моноліт нагрівали впродовж 40 хвилин. Температура на поверхні ґрунту досягла максимуму в 302°C (рис. 3.36). Після припинення нагрівання температура на поверхні ґрунту через 30 хвилин знизилася до 150°C, а ще через годину становила 60°C. Практично синхронно нагрівався ґрунт на глибині 1 см, але максимум температури становив 280°C.

Деякі іншими були зміни температури на більшій глибині моноліту. Так, на глибині 5 см температура досягла максимуму 70°C після 53 хвилин від початку нагрівання (на 15-й хвилині після вимкнення нагрівання), на глибині 10 см максимум у 42°C зафіксовано лише через 1,5 години (через годину після вимкнення джерела теплового випромінювання), на глибині 15 см максимум у 40°C спостерігали через 2 години 40 хвилин (через дві години після нагрівання).

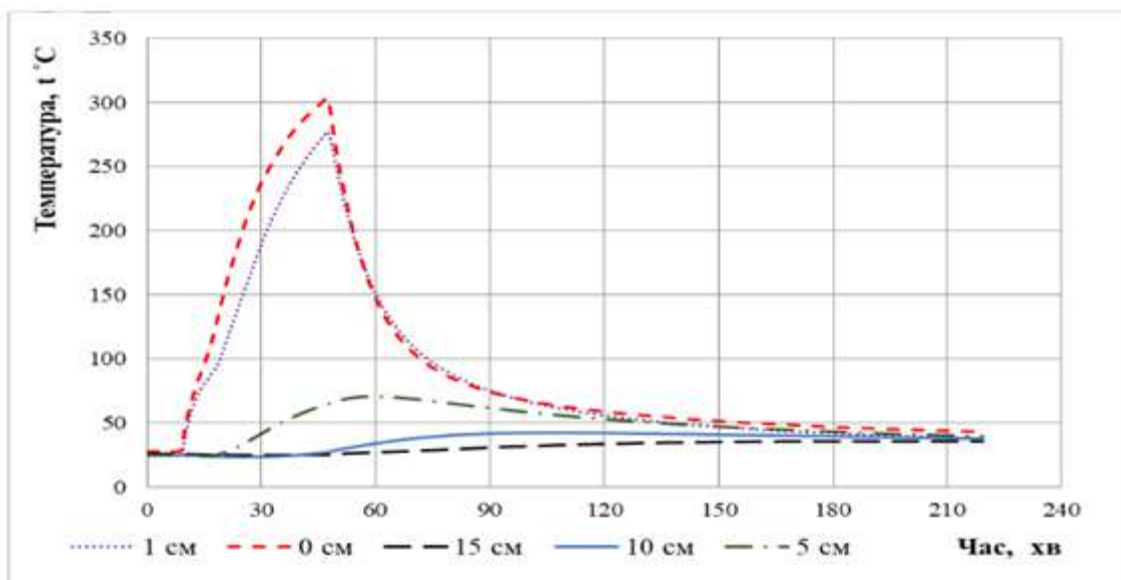


Рис.3.36 – Залежність температури вологого сірого лісового ґрунту на різних глибинах від часу нагрівання

Відмінності зміни температури на різних глибинах сірого лісового ґрунту є статистично достовірними ($F_f = 984,2$; $p = 0,01$; $h^2 = 0,99$). Тестом Тьюки виявлено, що на рівні значущості $p = 0,05$ достовірно різнилися групи «поверхня ґрунту», 2 см, та 10 см, групи 4 та 6 см достовірно не різнилися між собою.

Експеримент із другим монолітом із сірих ґрунтів проведено 22 вересня. За період із 1 до 20 вересня випало лише 4 мм опадів. Комплексний показник ПН становив 10223, тобто клас пожежної небезпеки був найвищим – V.

Температура ґрунту до початку нагрівання становила 17°C. Максимум температури на поверхні ґрунту – 450°C – було зафіксовано через 1,5 години нагрівання (рис. 3.37). Після припинення нагрівання температура почала стрімко знижуватися і на другій годині від початку експерименту становила 150°C, а ще через 30 хвилин – 100°C.

Температура на глибині 2 см почала зростати через 5 хвилин від початку нагрівання й досягла максимуму у 200°C. Зниження почалося практично відразу після припинення нагрівання. Майже синхронно відбувалася зміна температури на глибинах 4 і 6 см. Максимум у 80°C зафіксовано через 10 хвилин після припинення нагрівання. Що стосується глибини 10 см, то зростання температури розпочалося на 20-й хвилині від початку нагрівання й тривало впродовж усього експерименту, досягнувши рівня 50°C.

Відмінності зміни температури на різних глибинах сірого лісового ґрунту були статистично достовірними ($F_f = 364,5$; $p = 0,01$; $h^2 = 0,98$). Тестом Тьюки виявлено, що на рівні значущості $p = 0,05$ достовірно різнилися групи «поверхня ґрунту», 2 см, та 4 см; групи 6 та 10 см достовірно не різнилися між собою.

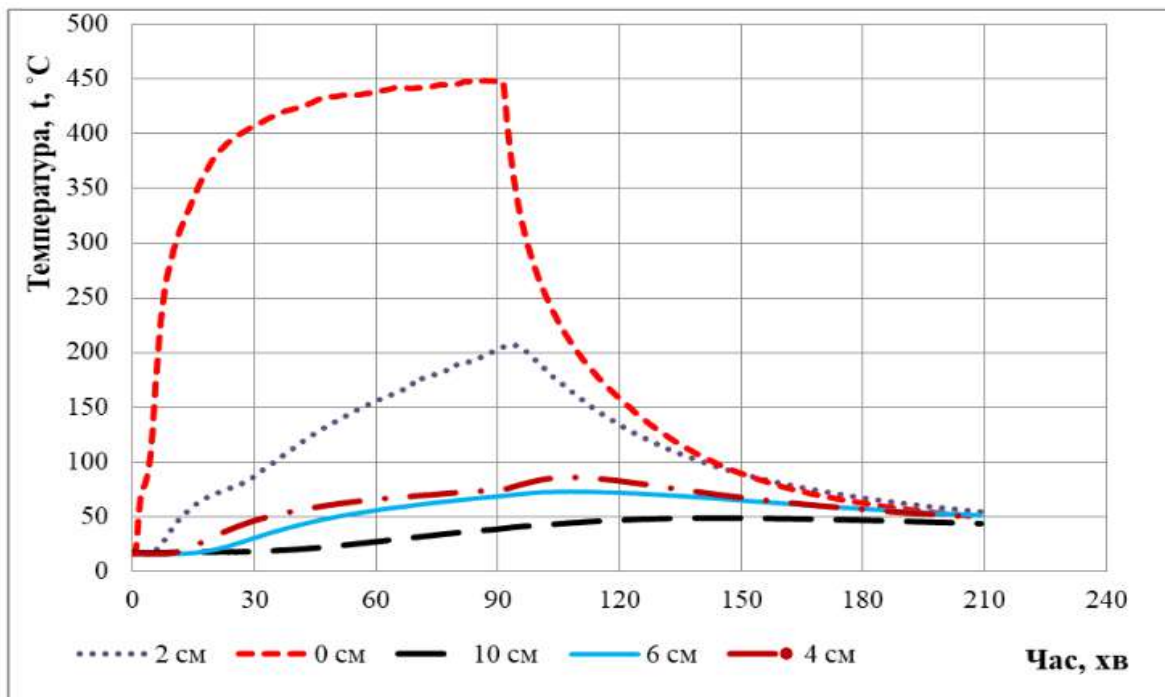


Рис. 3.37 – Залежність температури сухого сірого лісового ґрунту на різних глибинах від часу нагрівання

Слід відзначити особливість температурного режиму ґрунтів, яка була найбільш помітною на глибинах 10–15 см. Так, із початком нагрівання впродовж нетривалого часу відбувалося невелике охолодження глибинних шарів (рис. 3.38). Очевидно, цей ефект зумовлений випаровуванням під дією тепла, що призводить до незначного зменшення температури глибинних шарів. Із проникненням тепла вглиб температура відновлюється до початкової, а потім починається нагрівання глибинного шару із запізненням відносно часу початку

теплового опромінювання. Приклад цього ефекту для сірого лісового ґрунту можна спостерігати для глибини 10 см (див. рис. 3.36), де відбувалось охолодження на $1,5^{\circ}\text{C}$ відносно початкової температури, а збільшення температури відносно початкової розпочалося лише через 40 хвилин після початку нагрівання поверхні. На глибині 15 см відбувалось охолодження на $1,2^{\circ}\text{C}$, а збільшення температури відносно початкової розпочалося лише через 51 хвилину після початку нагрівання поверхні. Ефект охолодження був менш помітним на піщаних ґрунтах. Певно, цей процес має місце завжди, але його внесок у теплопередачу в різних умовах різниться, і його слід оцінювати за передаванням тепла за рахунок теплопровідності.

Залежно від типу ґрунту всі варіанти можна розділити на вологі й сухі. Температури у вологих варіантах були значно нижчими. Наприклад, у сухому варіанті дернових слаборозвинених піщаних ґрунтів температура поверхні ґрунту була на 70°C вищою, ніж у вологому (378°C проти 304°C). Ще більшою ця різниця була в сірих лісових ґрунтах – 200°C .

Нагрівання сухих дернових слаборозвинених піщаних ґрунтів углиб профілю відбувається сильніше, ніж вологих. Наприклад, якщо в сухих ґрунтах на глибині 4 см температура сягала 186°C , то у вологих лише 76°C ; на глибині 6 см температура в сухих ґрунтах була 120°C проти 67°C у вологих. У сірих лісових ґрунтах ця тенденція була не такою виразною.

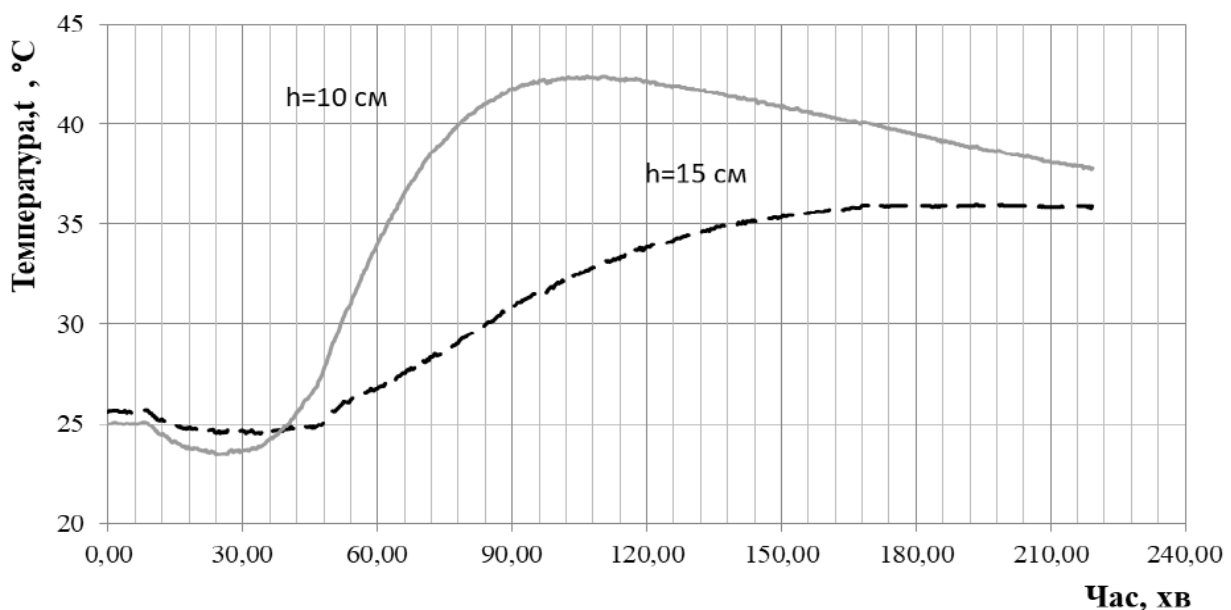


Рис. 3.38 – Залежність температури сірого лісового ґрунту на глибинах 10 і 15 см від часу нагрівання

Слід зауважити, що піщані ґрунти прогрівалися сильніше, ніж суглинисті. У піщаних ґрунтах на глибині 10 см температура становила $63\text{--}67^{\circ}\text{C}$, у суглинистих – $42\text{--}49^{\circ}\text{C}$. Тобто рівень нагріву в першому випадку був летальним, а в другому – лімітувальним.

3.2.4 Пірогенні зміни хімізму ґрунтів соснових насаджень

Внаслідок лісових пожеж відбувається часткове або повне згорання підстилки. Температура горіння підстилки зі свіжого бору в повітряно-сухому стані може сягати 295°C, в абсолютно сухому – 655°C [59].

Згідно з нашими дослідженнями реакція попелу підстилки, спаленої під час експерименту, коливалася від слабо лужної (рН = 7,71) до сильно лужної (рН = 8,69) (табл. 3.16). Залежності значення рН попелу підстилки від ТЛУ не виявлено. Подібне значення рН водного витягу (8,63) виявлено у попелі підстилки, зібраному під час пожежі в Рокитнянському л-ві, кв. 54, вид. 27, у 2015 р. Реакція верхнього гумусового горизонту дернових опідзолених ґрунтів на алювіальних пісках була сильно кислою (табл. 3.16). Значення рН водного витягу коливалася від 3,58 до 3,85. Надходження лужного попелу до ґрунту призводило до певного підлугування, і значення рН зростало до 4,35–4,50, тобто реакція розчину ставала кислою. Щоправда, така ситуація зберігалася впродовж незначного періоду. Якщо перепадали дощі, то вже через тиждень значення рН водного витягу знижувалося до 4,00–4,20, а через місяць – до 3,9. Надалі (через рік-два) у соснових насадженнях, які зазнали лісових пожеж, підкислення ґрунтів перевищувало природний рівень.

Той факт, що пірогенна трансформація підстилок супроводжується зміною кислотності поверхневих горизонтів ґрунту, відзначали й інші дослідники. Так, Ю. Н. Краснощеков [127] встановив, що реакція водного витягу ґрунтів Байкальської природної території змінюється від кислої до слаболужної. В умовах Північного Степу через місяць після пожежі у верхньому шарі ґрунту (0–2 см) реакція водного витягу також змінювалася від кислої до слабо лужної [179]. Водночас помічене нами в Поліссі підлугування ґрунту є значно меншим; причиною цього є сильноокисла реакція досліджуваних ґрунтів.

Таблиця 3.16 – рН попелу підстилки в соснових насадженнях Полісся

Місце відбору: Л-во, кв., вид.	ТЛУ	рН водного витягу
Дубнівське, кв. 56, вид. 1	A ₁	8,66
Біловізьке, кв. 54, вид. 3	A ₃	8,16
Мушнянське, кв. 52, вид. 33	B ₂	7,85
Мушнянське, кв. 50, вид. 7,	B ₂	8,01
Мушнянське, кв. 52, вид. 33	B ₂	7,71
Дубнівське, кв. 64, вид. 14	B ₃	8,60
Біловізьке, кв. 46, вид. 6	B ₃	8,69

Згадані вище та інші автори відзначали поступове зменшення підлугування верхнього гумусового горизонту. Сильне підлугування ґрунтів зафіксовано під час аеротехногенного забруднення довкілля викидами

цементних виробництв [55]. Інтенсивність підлугування ґрунтів залежить від рівня викидів. Причиною підлугування є аномальне накопичення лужних металів, насамперед кальцію. У разі зменшення об'єму викидів підлугування ґрунтів знижується, але в зоні сильної седиментації аномальне підлугування не зникає навіть через багато років після зменшення викидів. Тобто таких різких змін хімізму, як у випадках після пожеж, не відзначено.

Причиною пірогенних змін кислотності також є високий вміст у попелі лужних металів (див. табл. 3.17). У водному витягу із 79,2 мг-екв/100 г іонів 89,4 % становлять саме лужні катіони, але при цьому серед них домінують іони кальцію – 68,6 %, на магній припадає майже 20 %. Частка натрію становить 10,5 %, калію – менше ніж 1,1 %.

Таблиця 3.17 – Вміст іонів у водному витягу верхнього гумусового горизонту ґрунтів соснових насаджень, пошкоджених пожежами

Період після пожежі	pH	Катіони					Аніони				Катіони + Аніони
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сума	Cl ⁻	HCO ²⁻	NO ²⁻	Сума	
1 день	8,63	1,01	7,4	48,6	13,8	70,81	5,40	3,00	0,025	8,425	79,235
1 день	4,50	45	133	805	350	1378	240	320	12	572	1950
1 день	4,35	31	123	750	250	1154	190	380	12	582	1736
1 день	4,40	34	134	700	290	1158	180	360	8	548	1706
7 днів	4,20	20	33	180	110	343	150	250	11	411	754
8 днів	4,00	18	36	250	160	464	160	270	2	432	896
1 місяць	3,90	17	39	170	170	396	140	180	2	322	718
1 рік	3,35	18	35	250	110	413	120	210	2	332	745
2 роки	3,35	10	28	150	20	208	200	150	4	354	562
Контроль	3,80	12	29	130	60	231	140	150	3	293	524
Контроль	3,68	12	29	190	80	311	140	180	2	322	633
Контроль	3,58	11	25	180	50	266	160	160	2	322	588
Контроль	3,66	12	17	100	50	179	140	200	2	342	521

Сума лужних катіонів у водному витягу з верхнього горизонту коливалася від 179 до 311·10⁻³ мг-екв/100 г ґрунту. Відразу після пожежі сума лужних катіонів зростала в 3,7–7,7 разу. Але уже через тиждень цей показник суттєво знизився у 2,9–3,8 разу. Таке зниження відбувалося після дощів. Надалі сума лужних катіонів поступово зменшувалася й наближалася до рівня контролю. За вмістом катіони розташовувалися в такому порядку: Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺. Але якщо вміст катіонів кальцію зростав у 3,7–8,0 разу, магнію – у 5,8–7,0 разу, натрію – у 4,6–7,9 разу, то калію – лише у 2,8–3,0 разу.

Як бачимо, надходження лужного попелу до ґрунту призводить до зростання вмісту лужних катіонів у водному витягу. Схожа ситуація спостерігається із обмінними катіонами, які пов'язані вбирним колоїдним комплексом ґрунту (табл. 3.18). У досліджуваних ґрунтах сума увібраних катіонів, або сума увібраних основ, є дуже низькою – меншою за 5,0. Після надходження попелу до ґрунту значення місткості катіонного обміну зростає

проти контролю у 2,0–2,3 разу й відповідає низькому рівню. Але вже за тиждень воно знову падає до рівня 4,81–5,47 мг-екв/100 г ґрунту. Такий рівень утримується й надалі. Хоча це є дещо вищим, ніж на контролі, проте відповідає дуже низькому рівню.

Вміст обмінного кальцію на контролі (2,0–2,25 мг-екв/100 г ґрунту) відповідає дуже низькому рівню, а вміст магнію (1,43–1,63 мг-екв/100 г ґрунту) – середньому рівню. Відразу після пожежі вміст обмінного кальцію зріс проти контролю у 2,1–2,5 разу, а магнію – в 1,9–2,4 разу, що відповідає середньому й високому рівням відповідно. Проте, як і у випадку з водним витягом, уміст обмінних катіонів практично відразу почав знижуватися. Значно меншими були коливання вмісту обмінних калію й натрію. Дуже важливим є співвідношення в ґрунтовому колоїдному вбирному комплексі між обмінними катіонами H^+ і Al^{3+} та Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (див. табл. 3.18). Перші характеризують потенційну (гідролітичну) кислотність ґрунту, інші – місткість катіонного обміну, або суму увібраних основ. Поряд зі зростанням умісту лужних катіонів відбувається зменшення вмісту катіонів H^+ і Al^{3+} , тобто гідролітичної кислотності. Після пожежі вона знижується до 5,69–5,91 мг-екв/100 г ґрунту, тоді як на контролі коливається від 8,03 до 10,05 мг-екв/100 г ґрунту.

Таблиця 3.18 – Вміст обмінних катіонів у верхньому гумусовому горизонті ґрунтів соснових насаджень, пошкоджених пожежами

Період після пожежі	Гідролітична кислотність мг-екв/100 г ґрунту	Обмінні катіони, мг-екв/100г ґрунту					Сума поглинання	% насичення основами
		K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Сума		
1 день	0	55,01	1,45	1087,5	341,3	1485,26	1485,26	100,00
1 день	130,6	1,19	0,71	87,5	143,8	233,20	363,80	64,10
1 день	5,91	0,20	0,48	37,5	53,75	91,93	97,84	93,96
1 день	8,97	0,21	0,55	25,0	20,0	45,76	54,73	83,61
7 днів	3,94	0,19	0,28	25,0	21,25	46,72	50,66	92,22
8 днів	6,34	0,18	0,4	20,25	18,75	39,58	45,92	86,19
1 місяць	4,59	0,18	0,65	20,25	16,25	37,33	41,92	89,05
1 рік	24,28	0,18	0,45	22,5	15,0	38,13	62,41	61,10
2 рік	7,44	0,19	0,45	22,5	16,25	39,39	46,83	84,11
Контроль	5,03	0,14	0,39	20,25	16,25	37,03	42,06	88,04
Контроль	8,97	0,16	0,38	21,25	15,0	36,79	45,76	80,40
Контроль	15,75	0,13	0,58	20,0	16,25	36,96	52,71	70,12
Контроль	5,69	0,13	0,39	20,0	17,5	38,02	43,71	86,98
Контроль	10,5	0,14	0,38	22,5	16,25	39,27	49,77	78,90

Водночас, якщо після пожежі з часом вміст обмінних лужних катіонів знижується практично до рівня контролю, то гідролітична кислотність навіть через два роки після пожежі є меншою, ніж на контролі.

Сума поглинання у непошкоджених вогнем ґрунтах коливається від 12,12 до 14,50 мг-екв/100 г ґрунту. Після пожежі за рахунок лужних катіонів вона

зростає до 13,3–15,7 мг-екв/100 г ґрунту. Зі збільшенням періоду після пожежі об'єм поглинання зменшується.

3.3 Особливості післяпожежного розвитку сосняків у Поліссі

Лісові пожежі призводять до значного погіршення стану лісових насаджень. Пірогенні зміни лісостанів визначаються інтенсивністю пожежі та розподілом потоків теплової енергії, які залежатимуть від:

- 1) аномальності погодних умов;
- 2) кількісних та якісних показників ЛГМ [193].

Як зазначено вище, під час низової пожежі конвективним потоком пошкоджуються бруньки та хвоя, тепловим випромінюванням – стовбур, теплопровідністю – коріння дерев [90, 120, 125]. Відповідно до критеріїв аномальності клімату, запропонованих нами для Рівненщини [77, 90], 2010 р. класифіковано як «аномально мокрий», 2012 – як «мокрый», 2013 та 2014 рр. – як «нормальні», і лише 2011 р. визначено як «сухий».

3.3.1 Особливості пошкодження сосняків у «мокрі» та «нормальні» роки. Пошкодження стовбура тепловипромінюванням

У 2011–2014 рр. під час низових пожеж у сосняках домінувало пошкодження стовбура. Закладені ППП були різними за віком (30–80 років), ТЛУ, масштабами пошкодження; пожежі в них сталися в різний час (табл. 3.19).

Таблиця 3.19 – Таксаційна характеристика пошкоджених низовими пожежами середньовікових сосняків в лісах Полісся

№ ПП	ЛГ*	Л-во**	Кв.	Вид.	Вік, років	ТЛУ	D, см	Клас бонітету	Повнога	M, м³/га	% ділових	Рік пожежі
1	Ост	Кам	24	4	24	A ₂	8,3	II	0,81	68	0	2011
2	Ркт	Мсц	30	3	56	A ₂	18,5	II	0,68	186	70	2010
3	Срн	Нем	19	7	48	A ₃	21,6	I	0,75	264	70	2012
4	Ркт	Мсц	29	21	61	A ₂	18,8	I	0,70	290	70	2012
5	Ост	Кам	19	1	52	A ₂	15,4	II	0,9	260	80	2011
6	Ост	Кам	19	1	52	A ₂	15,4	II	0,90	260	80	2012
7	Ост	Кам	14	11	59	B ₄	20,8	II	0,80	280	80	2011
8	Срн	Срн	104	22	60	B ₃	24,0	II	0,83	244	80	2011
9	Срн	Нем	19	3	62	B ₃	24,9	I	0,75	325	70	2012
10	Срн	Срн	68	2	71	B ₂	27,9	I	0,74	396	90	2010
11	Срн	Срн	38	10	85	B ₂	37,2	I	0,66	355	90	2010
12	Срн	Нем	19	9	86	B ₃	35,7	II	0,71	360	70	2012

Продовження табл. 3.19

№ ПП	ЛГ*	Л-во**	Кв.	Вид.	Вік, років	ТЛУ	D, см	Клас бонітету	Повнота	M, м³/га	% ділових	Рік пожежі
13	Зар	Лок	60	18	68	B ₃	16,8	I	0,70	340	70	2012
14	Зар	Лок	51	24	51	B ₃	19,7	I	0,89	190	65	2012
15	Зар	Лок	51	24	51	B ₃	17,5	I	0,89	190	65	2012
16	Зар	Лок	60	18	68	B ₃	16,5	I	0,70	340	70	2012
17	Зар	Лок	52	37	27	B ₃	8,2	II	0,90	40	0	2012
18	Срн	Нем	19	9	85	B ₃	33,0	II	0,71	360	70	2012
19	Срн	Нем	19	11	61	B ₃	25,0	II	0,64	266	70	2012
20	Ост	Кам	54	33	86	B ₃	27,4	II	0,80	276	80	2013
21	Ост	Кам	54	33	86	B ₂	24,0	II	0,80	276	80	2013
22	РКТ	РКТ	31	5	32	A ₂	9,5	III	0,84	84	0	2013
23	РКТ	РКТ	31	8	58	A ₂	17,7	II	0,70	227	70	2013
24	Срн	Нем	19	3	69	B ₃	24,0	I	0,73	319	70	2012
25	Срн	Нем	19	3	69	B ₃	24,0	I	0,73	319	70	2012
26	Срн	Нем	19	7	56	B ₃	18,0	1	0,74	254	70	2012
27	Срн	Нем	19	9	119	B ₃	38,0	3	0,52	191	70	2012
28	РКТ	РКТ	31	13	72	A ₂	24,0	2	0,50	180	80	2013
29	РКТ	РКТ	31	17	54	A ₂	22,0	2	0,75	260	70	2013
30	РКТ	РКТ	21	42	72	A ₂	24,0	2	0,70	300	70	2013
31	РКТ	РКТ	31	8	62	A ₂	20,0	2	0,70	220	70	2013
32	РКТ	РКТ	21	42	72	A ₂	24,0	2	0,70	300	70	2013
33	РКТ	РКТ	21	42	72	A ₂	24,0	2	0,70	300	70	2013
38	РКТ	РКТ	10	44	26	B ₂	10,0	2	0,60	20	5	2014
39	РКТ	РКТ	10	43	31	B ₂	10,0	2	0,80	50	5	2014
40	РКТ	РКТ	10	45	21	B ₂	10,0	2	0,40	20	5	2014
41	РКТ	РКТ	10	49	66	B ₂	20,0	2	0,50	150	30	2014
42	РКТ	РКТ	10	38	61	B ₂	22,0	4	0,50	130	14	2014
43	Влд	Центр	47	3	66	A ₃	22,0	2	0,55	175	45	2014
44	Влд	Центр	47	12	56	B ₄	20,0	3	0,60	120	55	2014
45	Влд	Центр	47	3	66	A ₃	22,0	2	0,55	175	45	2014
47	Ост	Блв	38	14	65	B ₂	24,0	2	0,70	240	—	2015
48	Ост	Блв	38	13	65	A ₁	14,0	5	0,70	90	—	2015
49	Ост	Блв	38	14	65	B ₂	24,0	2	0,70	240	—	2015
50	Ост	Блв	31	9	56	A ₂	18,0	2	0,70	190	—	2015
51	Ост	Блв	31	25	63	B ₃	28,0	1A	0,80	330	—	2015
52	Ост	Блв	31	25	63	B ₃	28,0	1A	0,80	330	—	2015
53	Ост	Блв	31	25	63	B ₃	28,0	1A	0,80	330	—	2015
54	Клс	Люб	17	20	122	B ₄	28,0	3	0,70	265	65	2015
55	Клс	Люб	17	6	72	A ₄	24,0	2	0,70	260	80	2015
56	Клс	Люб	17	7	72	A ₄	24,0	2	0,70	260	80	2015
57	Клс	Люб	2	10	57	B ₃	22,0	1a	0,70	220	—	2015
58	Клс	Люб	2	9	37	A ₅	10,0	4	0,50	30	—	2015
59	Ксп	Мащ	82	28	72	B ₃	24,0	2	0,70	200	20	2015
60	Срн	Стр	—	—	10	B ₂	6	1	0,8	—	—	2013

Середня висота нагару в пошкоджених сосняках коливалася від 0,3 до 3,6 м (табл. 3.20, 3.21).

Таблиця 3.20 – Розподіл дерев у пошкоджених низовими пожежами сосняках свіжого бору та субору за категоріями санітарного стану

H наг, м	Період після пожежі, місяців	Розподіл за категоріями санітарного стану, %						I_c
		I	II	III	IV	V	VI	
Свіжий бір								
0,9	3	3	59	22	9	3	3	2,6
2,2	3	0	0	19	56	25	0	3,9
2,5	3	0	0	6	81	13	0	4,1
1,5	12	0	2	67	4	9	17	3,7
1,6	12	0	7	34	4	3	51	4,6
1,7	12	0	23	38	15	0	24	3,6
2,1	12	0	0	29	24	21	26	4,4
2,4	12	0	0	17	39	38	6	4,3
2,6	12	0	0	0	0	15	85	5,9
2,7	12	0	13	28	4	16	40	4,4
1,3	24	0	3	42	6	28	21	4,2
1,4	24	0	1	20	53	6	20	4,2
1,4	24	0	23	67	4	3	3	2,9
Свіжий субір								
0,5	4	0	3	28	0	42	28	4,6
0,6	2	7	77	10	0	0	0	2,2
0,8	4	0	9	58	3	30	0	3,5
1,0	2	0	50	20	3	3	0	2,6
1,2	2	0	13	53	27	5	2	3,3
2,3	2	0	1	19	18	61	0	4,4
3,8	2	0	0	0	37	73	0	4,6
4,0	2	0	0	0	18	82	0	4,8

За індексом стану сосняки належали до ослаблених, сильно ослаблених та всихаючих деревостанів, а одне насадження – до сухостійних (див. табл. 3.20, 3.21).

Таблиця 3.21 – Розподіл дерев у пошкоджених низовими пожежами сосняках вологого субору за категоріями санітарного стану

H наг, м	Період після пожежі, місяців	Розподіл за категоріями стану, %						I_c
		I	II	III	IV	V	VI	
Вологий субір								
0,9	4	1	25	70	3	0	1	2,8
1,1	4	0	15	85	0	0	0	2,9
1,2	4	0	31	69	0	0	0	2,7
1,3	4	0	21	71	4	3	3	2,9
1,4	4	0	25	62	8	4	1	2,9
2,4	4	0	0	19	62	20	0	4,0

Продовження табл. 3.21

H наг, м	Період після пожежі, місяців	Розподіл за категоріями стану, %						I_c
		I	II	III	IV	V	VI	
Вологий субір								
0,9	12	0	55	43	2	0	0	2,5
1,0	16	0	6	28	10	18	38	4,5
1,0	16	0	20	35	5	28	10	3,7
1,3	12	0	8	51	4	35	3	3,7
1,3	14	0	38	46	10	5	2	2,8
1,3	14	2	39	42	8	5	5	2,9
1,3	14	2	46	44	2	0	6	2,7
1,3	16	1	26	45	8	14	6	3,3
1,4	14	0	8	25	36	11	20	4,1
1,4	16	0	6	35	12	38	10	4,1
1,6	16	0	41	42	5	1	11	3,0
1,8	12	0	1	47	9	28	15	4,1
2,1	14	0	15	17	13	48	7	4,2
1,9	24	0	4	25	5	4	62	4,9
2,0	24	0	11	37	8	34	9	3,9

Виявлено тісний достовірний прямий кореляційний зв'язок ($r = 0,81$) стану дерев із висотою нагару (рис. 3.39) і дуже тісний достовірний зв'язок ($r = 0,91$) із ступенем опіку тонкої кори. Рівняння регресії має вигляд (3.1):

$$y_{(1-2)} = 0,6981x + 4,6953, \quad (3.1)$$

де x – ступінь опіку тонкої кори, м; $y_{(1-2)}$ – індекс санітарного стану.

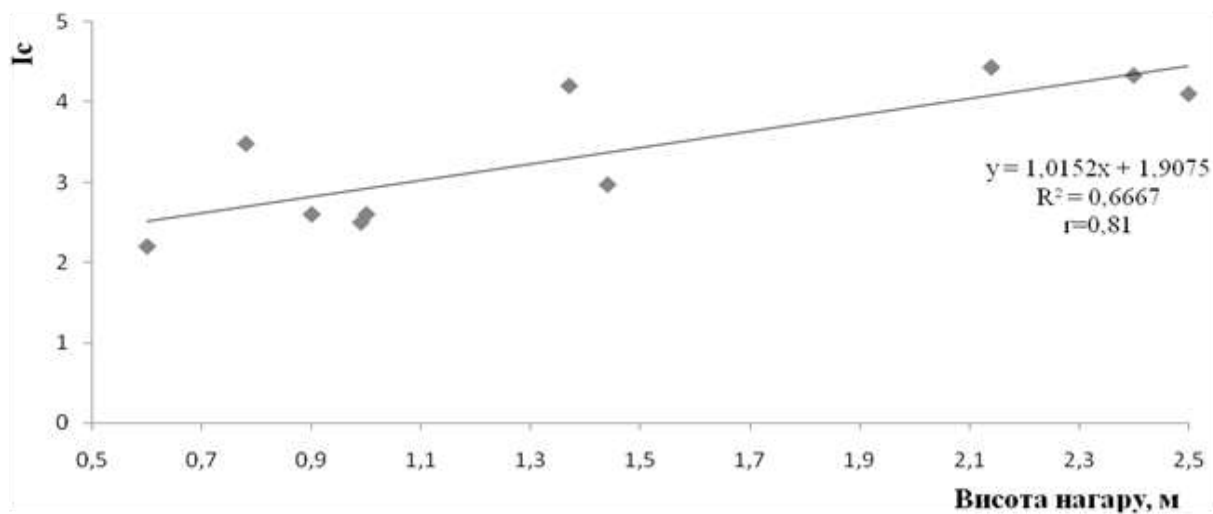


Рис.3.39 – Залежність санітарного стану від висоти нагару в сосняках у сухих і свіжих гігротопах

Коефіцієнт детермінації цієї моделі $R^2 = 0,67$ вказує на те, що на зміну стану в 67 % випадків впливає саме величина пошкодження стовбура, визначена через ступінь опіку тонкої кори. У вологих гігროтопах кореляційна залежність є слабшою (рис. 3.40). Величина коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,28$ вказує на те, що лише в 28 % випадків збільшення висоти нагору впливає на стан дерев. Зважаючи на це, для прогнозування пірогенних змін стану сосняків у вологих гігроситопах (див. табл. 3.20) недостатньо спиратися лише на значення висоти нагору на стовбурах та відносного опіку тонкої кори, оскільки в таких умовах домінує пошкодження кореневої системи.

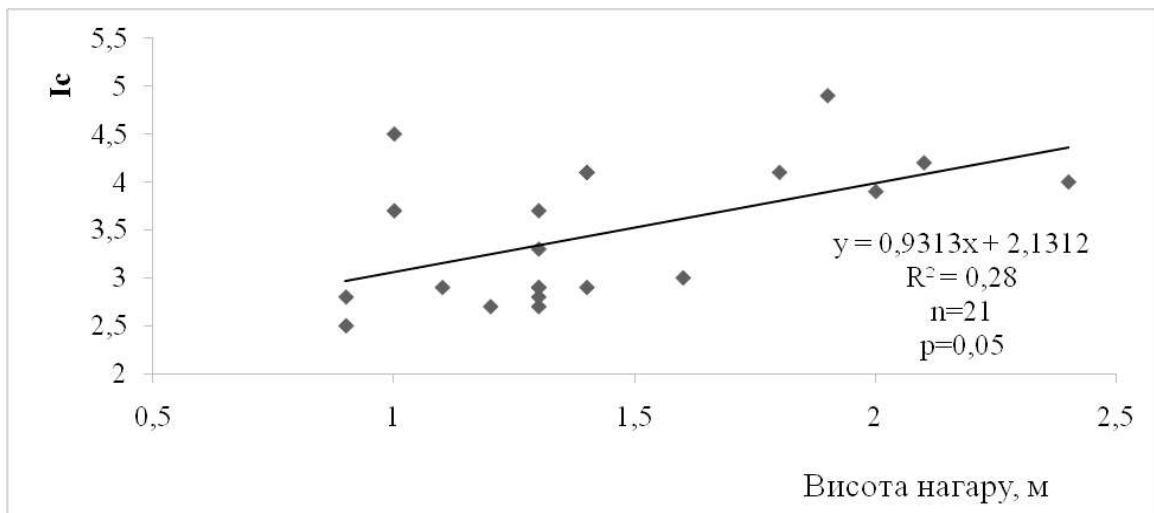


Рис.3.40 – Залежність санітарного стану від висоти нагору в сосняках у вологих гігроситопах

Погіршення стану сосняків залежить не тільки від величини пошкодження, але й від тривалості періоду після пожежі, а також від гігроситопу.

Найбільшою була кількість сухостійних дерев у сосняках із періодом після пожежі від одного року. У насадженнях із тривалістю періоду після пожежі 3–5 місяців більшість дерев належали до категорії ослаблених і сильно ослаблених (табл. 3.22). Між тривалістю періоду після пожежі й часткою сухостою встановлено помірну достовірну кореляційну залежність ($r = 0,62$; $n = 25$; $p = 0,05$) (рис. 3.41), у 38 % випадків частка сухостійних дерев визначалася тривалістю періоду після пожежі.

Таблиця 3.22 – Коефіцієнти кореляції між санітарним станом насаджень і висотою нагору на стовбурах дерев у вологих гігроситопах

Період після пожежі, років	$H_{\text{наг}}$	Відносний опік тонкої кори
до 1	0,54	0,28
1	-0,13	-1,19
2	-0,32	0,6

У вологих і сирих гігродіах найбільший відпад зареєстровано в сосняках із періодом після пожежі більше ніж рік (рис. 3.42). Найбільший відпад у сосняках сухих і свіжих гігродіах відзначено в рік пожежі (до 20,4 %). У сосняках, що ростуть у свіжих гігродіах, частка сухостою збільшувалася і через два роки сягала 48,7 %.

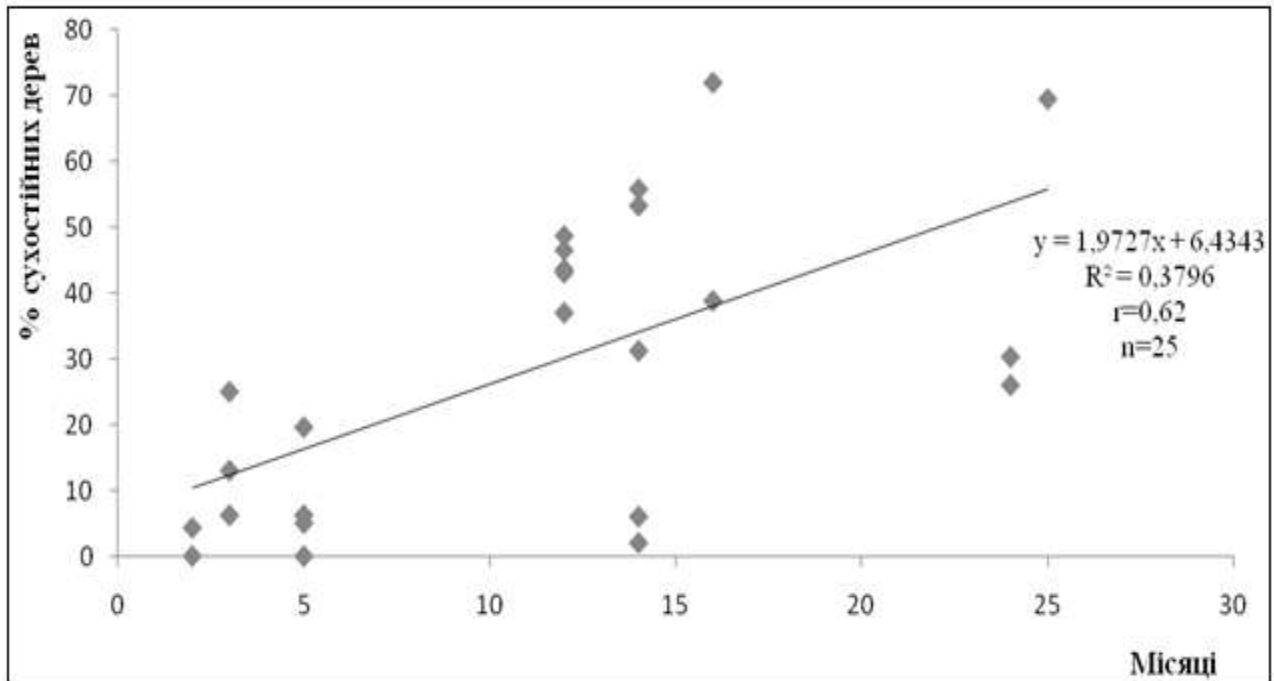


Рис. 3.41 – Залежність частки відпаду від тривалості періоду після пожежі

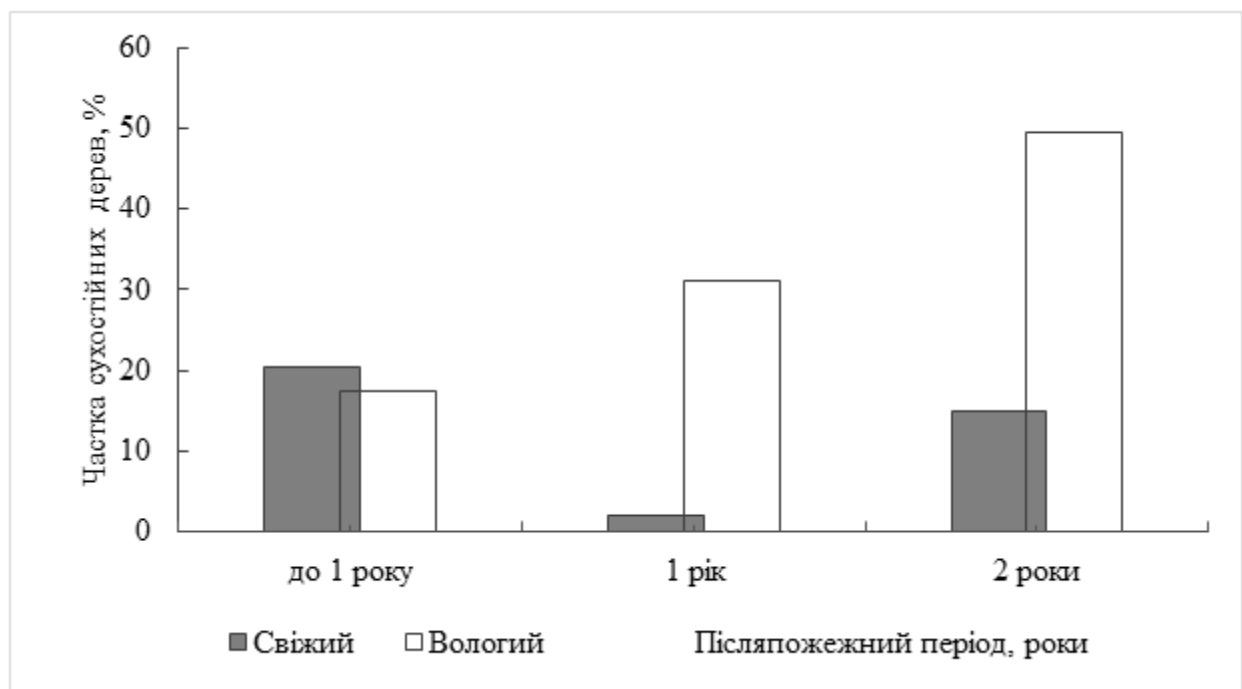


Рис.3.42 – Частка сухостою в сосняках у різних гігродіах за різної тривалості періоду після пожежі

Частка всихаючих дерев у сухих і свіжих гігртопах збільшувалася пропорційно часу: найменшою вона була в рік пожежі – 16,2 %, найбільшою – через два роки – 28,6 % (рис. 3.43, 3.44). У сосняках, що ростуть у вологих та сирих суборах, найбільше всихаючих дерев виявлено у рік пожежі – 41,8 %, через рік їхня частка становила 10,8 %, через два роки – лише 6 %.

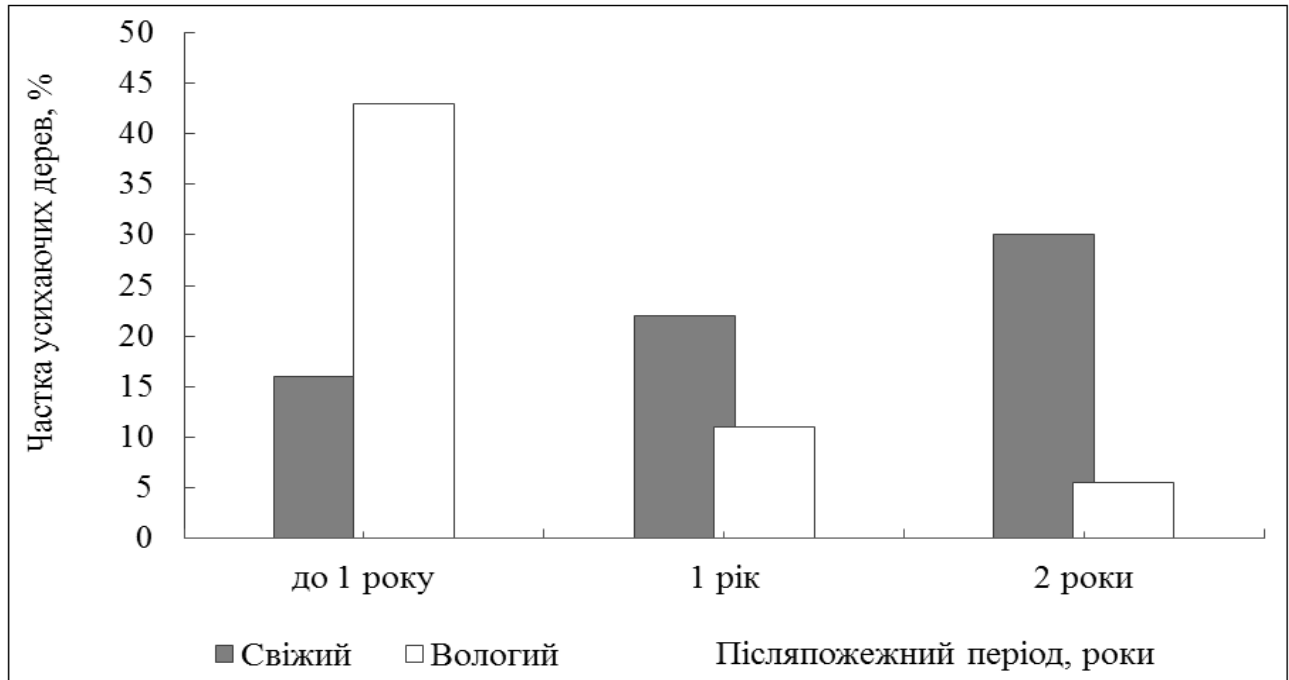


Рис.3.43 – Частка всихаючих дерев у сосняках у різних гігртопах



Рис.3.44 – Стан соснового деревостану в умовах В₂ через два роки після низової пожежі (ДП «Рокитнівське ЛГ», Мaseвицьке л-во)

3.3.2 Пошкодження корневих систем унаслідок теплопровідності

У сосняках вологого та сирого гігروتопів між санітарним станом та ступенем опіку тонкої кори відзначали лише слабкий кореляційний зв'язок, що свідчить про зменшення впливу теплового випромінювання на стовбур. Водночас зростав вплив теплопровідності ґрунту, оскільки відбулося пошкодження коріння дерев, адже в таких лісорослинних умовах у сосни формується поверхнева коренева система. Для дослідження цього впливу аналізували розподіл дерев за категоріями санітарного стану в пошкоджених низовими пожежами сосняках в умовах вологого субору (табл. 3.23).

Таблиця 3.23 – Санітарний стан сосняків в умовах вологого субору в разі пошкодження корневих систем

Період після пожежі, місяців	Розподіл дерев за категоріями стану, %						Загалом сухостою, %	I_c
	I	II	III	IV	V	VI		
4	–	31,0	69,0	–	–	–	0	$2,7 \pm 0,05$
4	–	15,0	85,0	–	–	–	0	$2,9 \pm 0,04$
4	–	21,0	71,0	3,7	2,5	2,5	5,0	$2,9 \pm 0,07$
16	0	20,0	35,0	5,0	28,0	10,0	38,0	$3,7 \pm 0,14$
16	0,6	25,8	45,4	8,0	14,1	6,1	20,2	$3,3 \pm 0,09$
16	–	40,8	41,8	5,1	1,0	11,2	12,2	$3,0 \pm 0,12$
16	–	5,6	35,2	12,0	37,6	9,6	47,2	$4,1 \pm 0,10$
Контроль	60,0	38,0	2,0	–	–	–	0	$1,3 \pm 0,02$

Під час оцінювання пошкодження корневих систем використано «ступені пошкодження корневих систем» на прикладі ППП 12 (ТЛУ В₃, Вік – 86 років) (табл. 3.24).

Таблиця 3.24 – Розподіл дерев за категоріями санітарного стану та ступенями пошкодження корневих систем (ППП 12)

Пошкодження корневих систем, бали	Розподіл дерев за категоріями стану, %			Загалом, %	I_c
	III	IV	V		
1	–	8,8	2,9	11,8	4,2
2	2,9	7,8	5,9	16,7	4,2
3	6,9	20,6	7,8	35,3	4,0
4	6,9	26,5	2,9	36,3	3,9
Загалом	16,7	63,7	19,6	100	4,0

У всихаючому сосняку майже в 90 % дерев пошкоджено кореневі лапи (рис. 3.45), а в 70 % – корені другого та третього порядку.



Рис. 3.45 – Значне пошкодження корневих лап сосни у вологих ТЛУ (ДП «Сарненське ЛГ», Немовицьке л-во, ППП12)

Водночас більшість дерев без пошкодження корневих систем належать до категорій усихаючих і всохлих. Індикаторами значного пошкодження дерев є кореневі лапи та ступінь вигорання підстилки (табл. 3.25).

Таблиця 3.25 – Індекс санітарного стану дерев у сосняках вологих гігротопів залежно від частки вигорання підстилки

ППП	Рік	Вигорання підстилки в межах проєкції крони, %										Серед- нє, %	I_c
		0–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100		
43	2014	2,8	2,5	2,7	2,7	2,7	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	27	2,7
	2015	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	–		3,5
44	2014	3,0	2,9	3,0	2,9	2,9	2,7	2,4	3,0	2,5	3,0	34	2,9
45	2014	–	3,0	–	3,0	2,0	2,8	2,5	3,2	2,9	3,5	73	2,9
	2015	–	4,0	–	3,5	4,8	3,4	4,1	4,2	5,0	5,0		4,1

Під час оцінювання стану через чотири місяці після пожежі було виявлено, що переважна більшість дерев належали до ослаблених та сильно ослаблених. У 2015 р. стан насаджень погіршився. Найбільше погіршення зафіксовано на ППП 45 (ТЛУ В₃), де в середньому вигоріло понад 70 % лісової підстилки; I_c за рік змінився з 2,9 до 4,1 (усихаюче насадження).

Погіршення стану й збільшення частки сухостійних дерев вже в рік пожежі, не пов'язане з висотою нагару та опіком тонкої кори, відзначено в іншому сосняку з пошкодженим корінням (табл. 3.26).

Таблиця 3.26 – Динаміка санітарного стану дерев (ППП 45), пошкоджених пожежею у вологому гігротопі

$H_{\text{наг, м}}$	Післяпожежний період, місяців	Розподіл за категоріями санітарного стану, %						I_c
		I	II	III	IV	V	VI	
1,02	16	0	19	36	5	29	10	3,7
	28	0	8	38	4	7	43	4,4
	40	0	0	27	21	4	47	4,7
1,08	4	0	21	79	0	0	0	2,8
	16	0	0	61	33	5	2	3,5
1,13	4	0	38	62	0	0	0	2,6
	16	0	0	64	8	28	0	3,6
1,14	16	0	5	33	11	39	11	4,2
	28	1	3	26	7	6	57	4,9
	40	5	2	19	11	1	60	4,8
1,22	16	1	26	45	7	15	6	3,3
	28	3	19	41	14	9	15	3,5
	40	0	0	37	34	3	25	4,2
1,54	4	0	3	82	6	5	3	3,2
	16	0	0	21	20	49	10	4,5
1,55	16	0	40	41	5	1	13	3,1
	28	0	14	57	11	4	14	3,5
	40	0	0	53	28	1	18	3,8

На ППП 7, закладеній у сосновому насадженні Кам'янського л-ва, кв. 14, вид. 11 (вік – 55 років, тип лісу – В₄ДС), що було пошкоджене низовою пожежею навесні 2011 р., вже у 2012 р. помічено підняття рівня ґрунтових вод і сильне заболочення (рис. 3.46). Залежності погіршення стану та збільшення відпаду внаслідок збільшення висоти нагару не зареєстровано.



Рис. 3.46 – Заболочення, спровоковане загибеллю соснових насаджень.
Кам'янське л-во, ППП 7 (ДП «ОстківськеЛГ», Кам'янське л-во)

3.3.3 Пошкодження крон дерев у молодняках конвективним потоком під час низової пожежі

На ППП 60, закладений у 10-річному сосновому молодняку (ТЛУ – В₂) після низової пожежі (див. табл. 3.19), відзначено пошкодження як стовбура, так і крони (дехромацію) (табл. 3.27).

Між рівнем дехромації та санітарним станом дерев встановлено дуже сильний прямий достовірний зв'язок ($r = 0,94$). Вивчення динаміки пошкодження дало змогу встановити летальні рівні пошкодження для дерев. Частка сухостою серед дерев IV класу Крафта була значно більшою, якщо порівняти з іншими класами Крафта (табл. 3.28).

Таблиця 3.27– Розподіл дерев соснового молодняку (ППП 60) за рівнями дехромації та категоріями санітарного стану

Категорія санітарного стану	Дехромація, %				
	0–20	21–40	41–60	61–80	81–100
I	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
II	1,9	2,3	0,0	0,0	0,0
III	0,0	4,2	8,8	12,5	0,0
IV	0,0	0,0	0,0	15,8	34,7
V	0,0	0,0	0,0	0,0	18,5
Загалом	3,3	6,5	8,8	28,3	53,1
I_c	1,9	2,5	3,0	3,1	4,0

Таблиця 3.28 – Частка відпаду дерев різних класів Крафта в сосновому молодняку, %

Дехромація, %	Клас Крафта		
	I, II	III	IV
95	16,2	17,9	25,0

Для досліджуваних дерев не встановлено тісних кореляційних зв'язків між відносною висотою нагару та дехромацією (рис. 3.47)

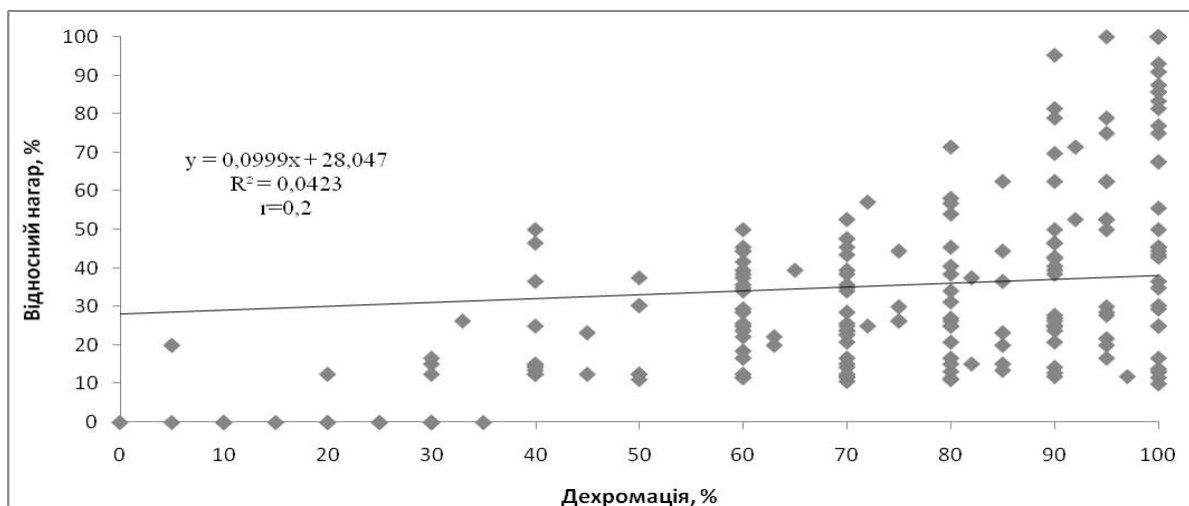


Рис. 3.47 – Залежність дехромації від відносної висоти нагару на стовбурі

Між відносною висотою нагару та індексом санітарного стану дерев виявлено дуже сильний прямий достовірний кореляційний зв'язок ($r = 0,94$) (табл. 3.29).

Таблиця 3.29 – Розподіл дерев сосни за відносною висотою нагару та санітарним станом у сосновому молодняку 10-річного віку (ППП 60)

Категорія санітарного стану	Відносна висота нагару, %										Загалом за категорією
	0–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100	
1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
2	4,7	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1
3	1,9	14,0	12,1	9,3	5,6	2,8	0,5	0,5	0,0	0,5	47,0
4	0,0	5,6	9,8	2,3	2,8	2,8	1,9	1,9	0,5	0,9	28,4
5	0,0	2,3	1,4	1,4	2,8	0,9	0,9	0,9	2,3	5,6	18,6
Загалом	7,0	22,3	23,7	13,0	11,2	6,5	3,3	3,3	2,8	7,0	100,0
I_c	2,2	3,4	3,5	3,4	3,8	3,7	4,1	4,1	4,8	4,7	–

Реакція дерев різних класів Крафта на пошкодження різнилася (табл. 3.30). Так, для дерев I та II класів Крафта критичною була відносна висота нагару 40–50 %, для III класу – 30–40 %, для IV класу – 10–20 %. Оскільки панівні дерева мають більшу висоту, ступінь пошкодження їхньої крони був значно меншим, ніж ступінь пошкодження крони відсталих у рості дерев (табл. 3.31).

Таблиця 3.30 – Санітарний стан дерев за відносною висотою нагару та класами Крафта

Відносна висота нагару, %	I_c для класу Крафта		
	I, II	III	IV
5	1,0	2,3	2,3
15	3,2	3,4	3,6
25	3,2	3,4	3,9
35	3,4	3,6	–
45	3,6	4,2	4,0
55	3,7	3,4	4,3
65	4,0	4,2	–
75	4,0	4,2	–
85	4,5	5,0	–
95	4,8	4,9	4,6

Таблиця 3.31– Частка відпаду дерев різних класів Крафта в сосновому молодняку залежно від відносної висоти нагару, %

Відносна висота нагару, %	Клас Крафта		
	I, II	III	IV
15	1,5	2,7	2,9
25	0,0	0,9	5,7
35	2,9	0,9	0,0
45	4,4	1,8	2,9
55	1,5	0	2,9
65	0,0	1,8	0,0
75	0,0	1,8	0,0
85	1,5	3,6	0,0
95	4,4	4,5	11,4
Загалом	16,2	18	25,8

3.3.4 Особливості пошкодження сосняків в аномально сухі роки

Ймовірність виникнення та інтенсивність пожежі у Поліссі, як зазначено вище, залежать від запасів та вологості підстилки. Температура горіння підстилки може перевищувати 600°C [58], що створює надзвичайну пожежну загрозу.

За умови висихання величезних запасів мортмаси навіть сосняки вологих типів лісу стають пожежонебезпечними. Така критична ситуація виникла у 2015 р. Відповідно до критеріїв аномальності клімату, запропонованих нами для Рівненщини [77, 90], вегетаційний період 2015 р. оцінено як «аномально сухий». Цьому сприяло те, що зима 2014–2015 рр. була малосніжною: впродовж січня-лютого випало лише 20 мм опадів. За період з квітня до вересня випало лише 128,9 мм опадів, зокрема в липні – лише 20 мм, а в серпні – 0,5 мм. Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) Селянінова становив 0,5, тобто погодні умови були аномально сухими. Вже на початку серпня всі шари підстилки за рівнем вологості були повітряно-сухими. Тому для пожеж, які виникали, характерним був конвективний тип передавання тепла. У результаті дії гарячих потоків повітря пошкоджувалася хвоя – спочатку ставала жовто-сіро-зеленою, а потім червоною (рис 3.48, а). Іншим негативним наслідком було згорання коріння та кореневих лап, внаслідок чого пошкоджені дерева падали (рис. 3.48, в).

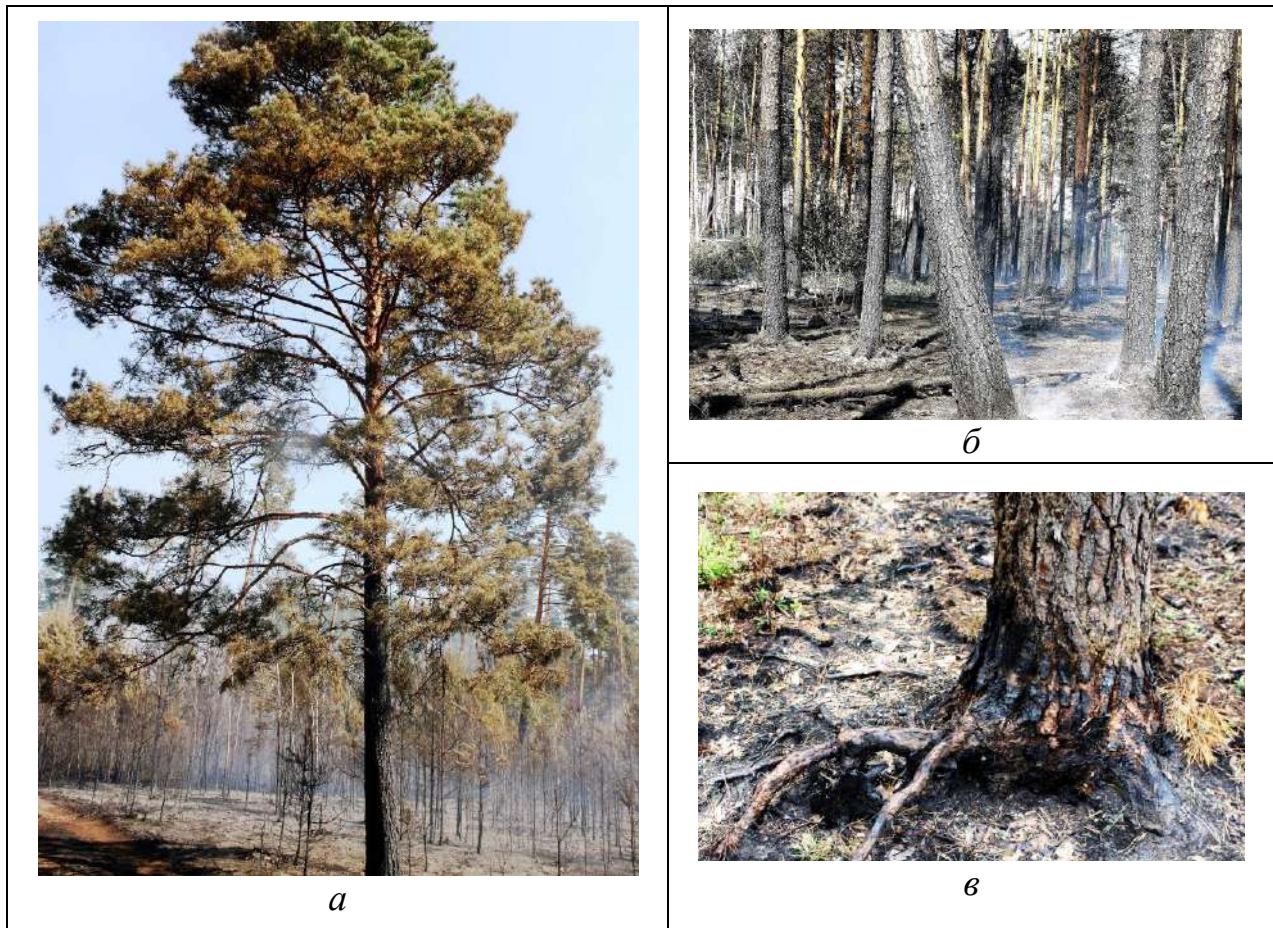


Рис. 3.48 – Типи пошкодження сосняків під час низових пожеж:
а – пошкодження крони; *б* – пошкодження стовбура; *в* – пошкодження коріння
 (ДП «Остківське ЛГ», Біловізьке л-во)

У більшості дерев відзначали комбіноване пошкодження стовбура, крони, а у вологих гігROTOпах – кореневих лап (див. рис. 3.48). Із 13 ППП, закладених у сосняках, пошкоджених пожежами у 2015 р., на шести було відзначено сильне пошкодження крони, на восьми – пошкодження кореневих лап. Висота нагару на стовбурі становила 0,3–2,5 м, тобто інтенсивність пожежі коливалася в межах від низької до високої (табл. 3.32).

Індекс санітарного стану сосняків після пожежі був у межах 3,1–4,8 (див. табл. 3.32). Найнижчий I_c мали сосняки з ураженням стовбура та одночасним пошкодженням стовбура й кореневих лап; вони були сильно ослабленими. Найгірший санітарний стан мали деревостани з пошкодженням крони. Дехромація більшості дерев перевищувала 70 %, а у 30–48 % дерев сягала 100 %.

Пожежі виникли наприкінці посушливого періоду, тому можна було сподіватися на стабілізацію й покращення стану дерев. Проте наступного року позитивних змін не відбулося. Стан сосняків суттєво не погіршився лише у варіанті з пошкодженням стовбура. У всіх інших випадках відзначено катастрофічне погіршення. Найбільші зміни відбулися в сосняках у вологих і сирих гігROTOпах, які мали пошкодження кореневих лап (ППП 54–56).

Таблиця 3.32 – Динаміка стану сосняків, пошкоджених пожежами у 2015 р.

ППП*	Вік, років	Едатоп	H наг, м	Рік	Розподіл дерев за категоріями санітарного стану, %						I _c
					I	II	III	IV	V	VI	
48К	58	A ₁	2,53	2015	0	0	53	45	0	2	3,4
				2016	0	0	57	37	4	2	3,5
58С	66	A ₂	0,88	2015	0	0	96	4	0	0	3,0
				2016	0	0	85	15	0	0	3,2
50К	49	A ₂	2,5	2015	0	0	7	39	48	7	4,5
				2016	0	0	14	44	10	32	4,6
55Кор	71	A ₄	0,31	2015	0	0	71	25	0	4	3,3
				2016	0	0	3	3	91	3	4,9
56Кор	71	A ₄	0,61	2015	0	0	48	44	0	8	3,5
				2016	0	0	0	0	94	6	5,1
53С	56	B ₂	1,09	2015	0	1	54	6	0	0	3,1
				2016	0	0	5	11	84	0	4,8
49К	58	B ₂	1,59	2015	0	0	25	42	30	3	4,1
				2016	0	0	19	41	19	21	4,4
47К	58	B ₂	2,16	2015	0	10	23	32	30	5	4,0
				2016	0	3	23	27	35	12	4,3
52С	56	B ₃	0,83	2015	0	0	79	20	2	0	3,3
				2016	0	0	28	39	32	1	4,1
59С	66	B ₃	1,13	2015	0	0	94	6	0	0	3,1
				2016	0	0	46	37	15	2	3,7
57С	51	B ₃	2,2	2015	0	0	75	19	2	4	3,3
				2016	0	0	26	29	37	9	4,3
51С	56	B ₃	2,6	2015	0	3	68	29	0	0	3,7
				2016	0	0	15	24	46	15	4,6
54Кор	121	B ₄	1,06	2015	0	0	69	25	0	6	3,4
				2016	0	0	0	0	94	6	5,1

Примітки* С – пошкодження стовбура, К – крони, Кор – кореневих систем.

3.3.5 Пошкодження стовбура дерев тепловипромінюванням у сосняках

У сосняках із пошкодженням стовбура погіршення стану виявлялося у дефоліації (табл. 3.33). У більшості сосняків дефоліація у 2015 р. становила 11–70 %, а дехромація не перевищувала 30 % або була зовсім відсутньою. У 2016 р. відбувалося погіршення санітарного стану дерев, зменшення частки дехромованої хвої та збільшення рівня дефоліації крони. Дефоліація крони збільшилася за рахунок дехромованої у 2015 р. хвої, яка опала. У 2016 р. дехромацію хвої відзначено лише у дерев категорії «свіжий сухостій».

Таблиця 3.33 – Розподіл дерев у пірогенно пошкоджених сосняках за станом крони

ППП	Рік	Показ- ник*	Пошкодження крони, %					Середньо зважений показник, %	I_c	Відпад, %
			0–10	11– 30	31– 70	71– 90	91– 100			
58	2015	Деф.	0	0	98	2	0	51,1	3,0	0
		Дех	відсутнє							
	2016	Деф.	0	6	85	9	0	51,4	3,2	0
		Дех	відсутнє							
59	2015	Деф.	0	0	93	6	2	53,7	3,1	2
		Дех	відсутнє							
	2016	Деф.	0	0	46	52	2	67,0	3,7	17
		Дех	85	15	0	0	0	7,3		
52	2015	Деф.	2	98	0	0	0	20,2	3,3	0
		Дех	3	70	27	1	0	28,9		
	2016	Деф.	0	2	74	23	1	57,2	4,1	33
		Дех	45	0	54	1	0	30,3		
57	2015	Деф.	4	0	80	16	0	53,5	3,3	4
		Дех	96	0	0	0	4	8,6		
	2016	Деф.	0	1	43	30	27	71,7	4,3	45
		Дех	63	20	17	1	0	16,6		
53	2015	Деф.	1	98	1	0	0	20,6	3,1	0
		Дех	2	91	7	0	0	22,3		
	2016	Деф.	0	0	45	49	5	66,9	4,8	84
		Дех	8	29	64	0	0	38,7		
51	2015	Деф.	0	69	31	0	0	29,8	3,7	12
		Дех	0	45	30	12	12	45,4		
	2016	Деф.	1	2	30	43	24	73,0	4,6	62
		Дех	40	60	0	0	0	14,3		

У рік пошкодження пожежею значне погіршення стану та всихання відзначали за висоти нагару понад 2,1 м: I_c сягав 3,4; частка сухостою становила 10,9 % (табл. 3.34). У разі пошкодження з висотою нагару понад 3,5 м всохло 20 % дерев. Наступного року стан дерев суттєво погіршився: значну частку сухостою відзначено навіть за мінімальних пошкоджень – 29 % за висоти нагару до 0,5 м.

Таблиця 3.34 – Індекс санітарного стану (I_c) та відпад дерев у сосняках залежно від середньої висоти нагару на стовбурі

H наг, м	I_c		Відпад, %	
	2015 р.	2016 р.	2015 р.	2016 р.
0–0,5	3,1	3,9	0,0	29,0
0,51–1,0	3,2	4,1	0,6	42,5
1,1–1,5	3,2	4,1	1,6	41,5
1,51–2,0	3,2	4,2	1,0	43,0
2,1–2,5	3,4	4,5	10,9	58,2
2,6–3,0	3,6	4,5	12,5	55,4
3,1–3,5	4,0	5,1	21,7	82,6
3,6–4,0	4,0	5,1	20,8	91,7
4,1–4,5	4,0	5,2	25,0	95,0
4,6–5,0	4,2	5,5	33,3	100,0
5,1–5,5	4,2	5,0	30,0	100,0
5,6–6,0	4,3	5,0	35,0	100,0

3.3.6 Пошкодження крони дерев конвективним потоком

Для насаджень із конвективним типом пошкодження крони характерною була наявність великої частки дерев зі значною дехромацією та дефоліацією крони (табл. 3.35).

Таблиця 3.35 – Розподіл дерев сосни за ступенем дехромації хвої та індексом санітарного стану в різних за віком та едатопами насадженнях з наявним пошкодженням крон (ППП 47 та 50)

Рік	Період після пожежі	Стан	Дехромація, %									
			0–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
2015	В рік пожежі	I_c	2,0	2,9	3,7	3,0	3,3	0,0	3,9	4,0	4,7	5,1
		Відпад	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	61,1	95
	Через рік	I_c	2,8	3,1	3,3	3,4	3,7	0,0	4,1	4,8	4,9	5,9
		Відпад	20,0	0,0	11,1	12,0	0,0	0,0	15,8	70,2	62,2	98,4
2014	В рік пожежі	I_c	3,8	2,8	2,7	3,1	3,3	3,2	3,6	4,5	4,0	4,7
		Відпад	45,0	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	22,0	50,0	14,0	71,0
	Через рік	I_c	5,2	5,1	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	6,0	6,0	6,0
		Відпад	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Колір хвої змінювався вже через декілька днів після пожежі. На ППП 49 (B_2) та ППП 50 (A_2) у третини дерев (34 %) дехромація крони сягала 100 %. Наступного року стан пошкоджених насаджень погіршився. I_c перебував у межах 3,6–4,6. У 2016 р. показники дехромації дерев знизилися за рахунок

опадання мертвої дехромованої хвої впродовж року; дехромація до 30 % була характерною лише для дерев свіжого сухостою та незначної частки всихаючих дерев.

Синергічний вплив одночасного пошкодження стовбура й крони призвів до сильного погіршення стану та появи сухостою вже через місяць після пожежі (табл. 3.36). За незначного пошкодження стовбурів (до 0,5 м) за санітарним станом насаджень оцінювали як «усихаюче», а частка сухостою становила 17 %. У разі середньої висоти нагару на стовбурі понад 4 м всихали 66,7 % дерев групи, а індекс стану становив 4,7. Через рік після пожежі стан насаджень сильно погіршився, I_c змінився до 4,2, частка сухостою збільшилася до 37,7 %.

Таблиця 3.36 – Динаміка стану сосняків у разі одночасного пошкодження стовбура й крони після пожежі

H наг м	I_c		Відпад, %	
	2015 р.	2016 р.	2015 р.	2016 р.
0–0,5	3,9	4,2	17,0	37,7
0,51–1,0	3,7	4,2	13,7	31,5
1,1–1,5	3,9	4,5	25,9	40,7
1,51–2,0	3,9	4,5	17,6	47,3
2,1–2,5	4,1	4,5	18,8	43,8
2,6–3,0	4,1	4,4	26,3	42,1
3,1–3,5	4,1	4,4	22,2	33,3
3,6–4,0	4,1	4,5	25,0	37,5
4,1–4,5	4,7	4,8	66,7	500
4,6–5,0	5,0	5,8	100,0	100,0
5,1–5,5	5,0	5,8	100,0	100,0
5,6–6,0	5,0	6,0	100,0	100,0

3.3.7 Пошкодження корневих систем унаслідок теплопровідності

На ППП у сосняках з переважним типом пошкодження корневих систем була наявна незначна частка дерев із дехромованою короною; на ППП 54 та 55 (див. табл. 3.19) дехромованої хвої в кронах взагалі не виявлено. Для насаджень із пошкодженими корневими системами характерним було стрімке погіршення стану впродовж року після пошкодження. Погіршення санітарного стану через рік після пошкодження сягнуло свого піку: I_c становив від 4,9 до 5,0, а відпад сягав 100 % (табл. 3.37).

Вплив пошкодження як стовбура, так і корневих систем повною мірою став відчутним лише через рік після пожежі, коли навіть незначні пошкодження, отримані рік тому, призвели до всихання практично всіх дерев у дослідних групах (97,2 % за середньої висоти нагару на стовбурі до 0,5 м) (табл. 3.38).

Таблиця 3.37 – Стан сосняків з переважним пошкодженням корневих систем

ППП	Рік	Показник	Пошкодження крони, %					I _c	Відпад, %
			0–10	11–30	31–70	71–90	91–100		
54	2015	Деф.	0	0	94	0	6	3,4	6
		Дех.	відсутнє						
	2016	Деф.	0	0	0	70	30	5,0	100
		Дех.	90	10	0	0	0		
55	2015	Деф.	0	0	89	8	3	3,3	3
		Дех.	відсутнє						
	2016	Деф.	0	0	89	8	3	4,9	94
		Дех.	5	5	91	0	0		
56	2015	Деф.	0	1	92	7	0	3,5	7
		Дех.	93	0	7	0	0		
	2016	Деф.	0	1	91	0	8	5,0	100
		Дех.	8	0	91	1	0		

Таблиця 3.38 – Санітарний стан та частка відпаду дерев залежно від висоти нагору в разі пошкодження кореневих лап та стовбура на ППП 54–56

$H_{\text{наг, м}}$	I_c		Відпад, %	
	2015 р.	2016 р.	2015 р.	2016 р.
0–0,5	3,5	5,0	5,6	97,0
0,51–1,0	3,3	5,0	1,9	100,0
1,1–1,5	3,3	5,0	6,3	100,0
1,51–2,0	3,8	5,0	25,0	100,0
2,1–2,5	3,5	5,0	0,0	100,0
2,6–3,0	3,0	5,0	0,0	100,0

Навесні 2016 р. у пошкоджених сосняках у сирих умовах (ППП 54–56) відзначено масове розмноження стовбурових шкідників. У липні 2016 р. частка свіжого сухостою на цих ППП перевищувала 90 % (рис. 3.49).



Рис. 3.49 – Пошкодження кореневих систем під час пожежі низької інтенсивності (ліворуч – через два тижні, праворуч – через рік після пожежі) (ППП 54, вік – 122 роки, ТЛУ – В₄, ДП «Клесівське ЛГ» Клесівське л-во)

3.4 Пірогенні зміни радіального приросту та товарності сосняків Полісся

До цього часу достатньо не оцінено втрати товарності деревостанів залежно від інтенсивності й тривалості періоду після пожежі, характеристик насадження, типу умов місцезростань. Визначення регіональних критеріїв, від яких залежать пірогенні втрати товарності, дасть змогу раціонально проектувати лісогосподарські заходи в сосняках, пошкоджених пожежами, та мінімізувати економічні збитки, спричинені ними.

Якщо в 60–80-річних сосняках зеленої зони м. Харкова частка ділової деревини становить 67–78 %, то через декілька місяців після пожежі в результаті погіршення стану дерев вона знижується до 40–55 %, через 1–2 роки – до 30 %, а через 3–4 роки – до 13–17 %. Між кількістю й часткою ділової деревини та індексом санітарного стану пошкоджених пожежами сосняків виявлено тісний зворотний достовірний кореляційний зв'язок [56]. Інтенсивність всихання після пожеж, що залежить від типів розповсюдження тепла й характеру пошкоджень, має особливості в різних регіонах України [78]. Наразі відсутні дані щодо втрат товарності деревостанів залежно від інтенсивності пожеж і тривалості періоду після них. Визначення регіональних критеріїв, від яких залежать постпірогенні втрати товарності, нададуть можливість раціонально проектувати лісогосподарські заходи в лісах, пошкоджених пожежами, та мінімізувати збитки, спричинені вогнем.

3.4.1 Зміни радіального приросту в пошкоджених пожежею сосняках. Пірогенні зміни радіального приросту в 70-річному сосняку

Оцінювання пірогенних змін радіального приросту сосняків Полісся проведено в 70-річному чистому сосняку у кв. 21, вид. 42 Рокитнівського л-ва, що пошкоджений пожежею в травні 2013 р. (тип лісу – В₃-дС) та в 50-річному сосняку у кв. 19, вид. 7 Немовицького л-ва, пошкоджене пожежею у квітні 2012 р. (тип лісу – В₂-дС). У сосняку віком 70 років (ТЛУ – В₃), пошкоджене низовою пожежею високої інтенсивності на початку травня 2012 р., висота нагару була від 1,0–3,0 м, а висота грубої кори – 3,9 м. Через 3 місяці після пожежі насадження оцінювали як сильно ослаблене ($I_c = 2,96$). У подальшому відбувалося погіршення стану. Через три роки за станом його оцінювали як всихаючий, а частка свіжого сухостою дорівнювала 18 % (табл. 3.39).

Таблиця 3.39 – Динаміка розподілу дерев за категоріями санітарного стану в пошкоджене низовою пожежею сосняку

Період після пожежі, місяців	Розподіл за категоріями стану, %						I_c
	I	II	III	IV	V	VI	
6	–	23	67	4	3	3	2,9
16	–	40	41	5	1	13	3,1
28	–	14	57	11	4	14	3,5
40	–	0	53	28	1	18	3,8

До пожежі в досліджуваному сосняку значення радіального приросту сосни перевершувало відповідні значення на контролі: 1,34 проти 0,97 мм/рік (табл. 3.40). Максимальні значення зафіксовано у 2008 р., а мінімальні – у 2009 й 2011 рр., коли за кількістю опадів вегетаційні періоди були сухими, а ГТК становив 0,9 і 0,8 відповідно.

Таблиця 3.40 – Зміни радіального приросту в досліджуваних сосняках

ППП	Вид деревини	Товщина шарів деревини, мм		Достовірність різниці		Зміна приросту після пожежі, %
		до пожежі	після пожежі	$t_{\text{факт}}$	$t_{\text{теор}}$	
Пошкоджена	Річна	1,29	0,58	2,39*	2,06	-55
	Пізня	0,51	0,16	2,36*	2,06	-68
	Рання	0,79	0,42	2,36*	2,06	-47
Контроль	Річна	1,25	1,12	0,05	2,15	-10
	Пізня	0,50	0,46	0,08	2,10	-8
	Рання	0,75	0,66	0,12	2,12	-11

Примітки *Різниця достовірна на 5%-му рівні значущості.

У пошкодженному сосняку річний радіальний приріст сосни після пожежі (2012–2016 рр.), як порівняти з періодом до пожежі (2007–2011 рр.), зменшився на 55 %. Водночас на контролі приріст зменшився лише на 10 %.

Рік пожежі (2012) за кількістю опадів був мокрим, і погодні умови були сприятливими для формування приросту, тому на контролі зафіксовано високі значення радіального приросту всіх видів деревини (рис. 3.50–3.52). Пожежа призвела до глибокої депресії приросту в пошкодженному сосняку. Частка річного приросту у 2012 р. становила 60 % від контролю (див. рис. 3.51).

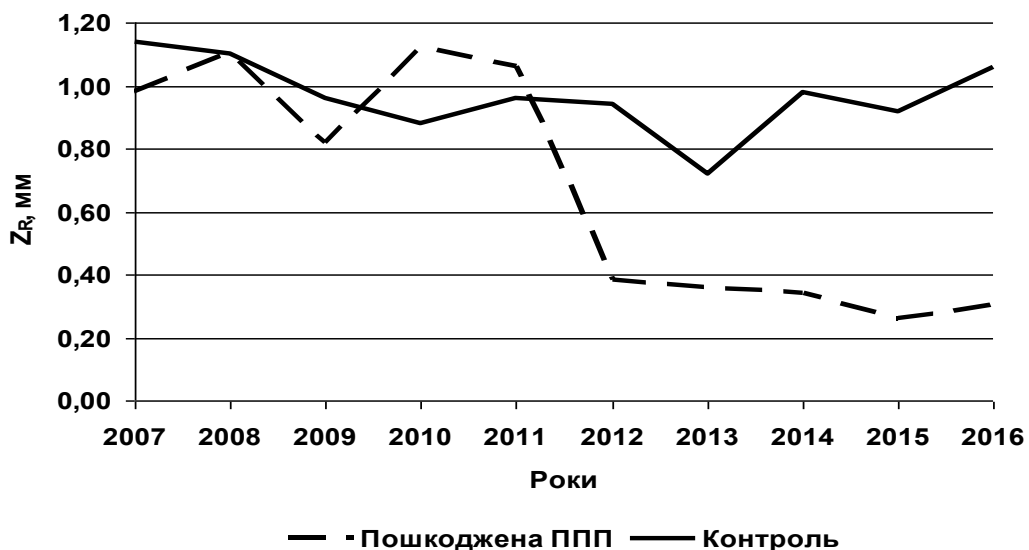


Рис. 3.50 – Динаміка радіального приросту сосни (Z_R) у контрольному насадженні та насадженні, пошкодженному пожежею 2012 р.

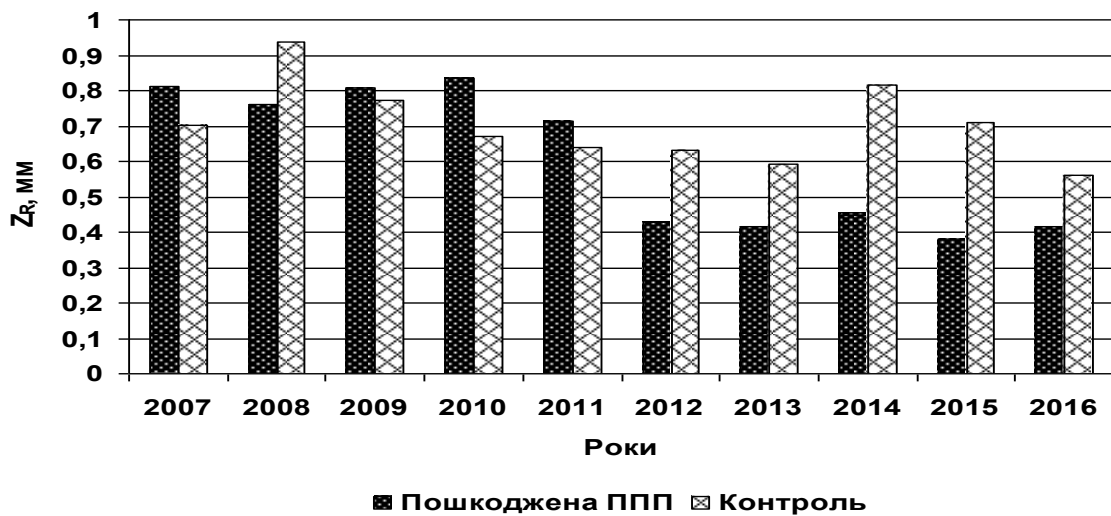


Рис. 3.51 – Динаміка товщини шару ранньої деревини (Z_R) у 70-річному сосняку

Вегетаційний період 2015 р. за кількістю опадів був аномально сухим, а 2016 р. – сухим. ГТК 0,7–0,8 свідчить про посуху впродовж цих років. Особливо посушливим був серпень 2015 р., коли випало лише 5,9 мм опадів. Через такі погодні умови радіальний приріст у 2015 р. зменшився, найбільш відчутним зменшення виявилось в пошкодженному сосняку. У наступному 2016 р. спостерігалось незначне збільшення приросту (див. рис.3.52).

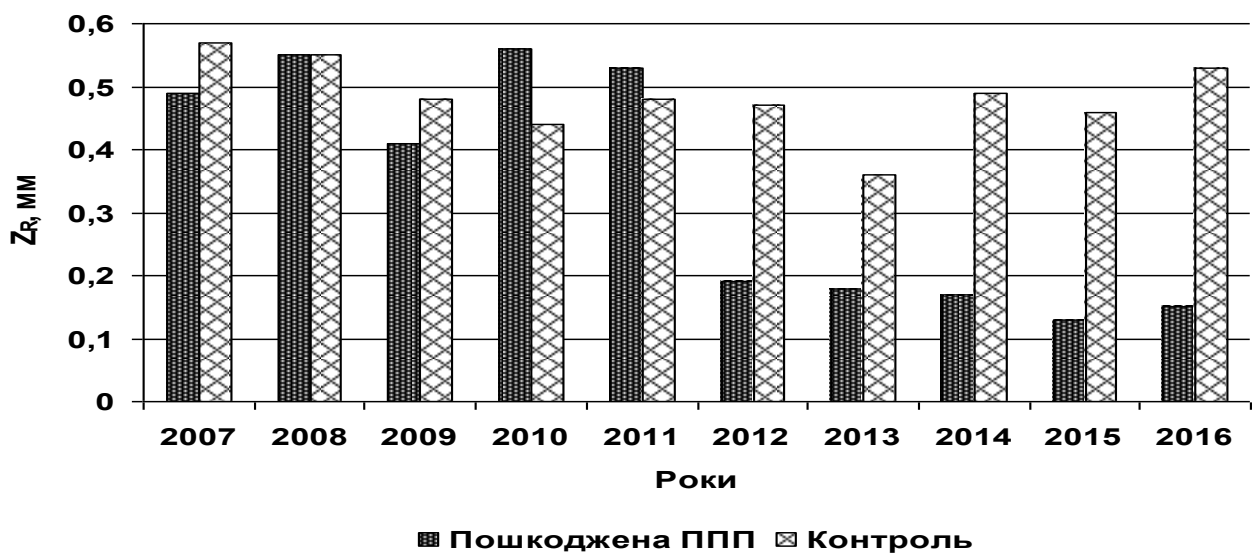


Рис. 3.52 – Динаміка товщини шару пізньої деревини (Z_R) у 70-річному сосняку

Важливим для вивчення постпірогенних змін приросту є визначення особливостей формування ранньої та пізньої деревини. Початком активного росту вважається третя декада квітня – перша половина травня. У межах річного кільця вирізняються рання деревина світлого забарвлення, яка формується в першій половині вегетаційного періоду, та пізня деревина темнішого кольору, що утворюється на завершальній стадії вегетації.

Після пожежі товщина шарів пізньої та ранньої деревини зменшилася на 68 та 47 % відповідно, в той час як на контролі вона зменшилася на 8 та 11 % (див. табл. 3.40). У рік пожежі, якщо порівняти з контролем, радіальний приріст річної деревини зменшився на 60 %, товщина шару ранньої деревини – на 32 % та пізньої деревини – на 60 %. Депресія радіального приросту в пошкодженому пожежею деревостані сталася на фоні сприятливих погодних умов (за вегетаційний період з квітня до серпня випало 392 мм опадів, що на 20 % перевершило відповідну середню норму, яка становить 312 мм).

Зменшення радіального приросту посилювалося з погіршенням стану дерев: в ослаблених воно становило 44 %, у дуже ослаблених – 49 %, в усихаючих – 75 % (рис. 3.53). Зменшення приросту усихаючих дерев почалося після сильної посухи 2009 р.

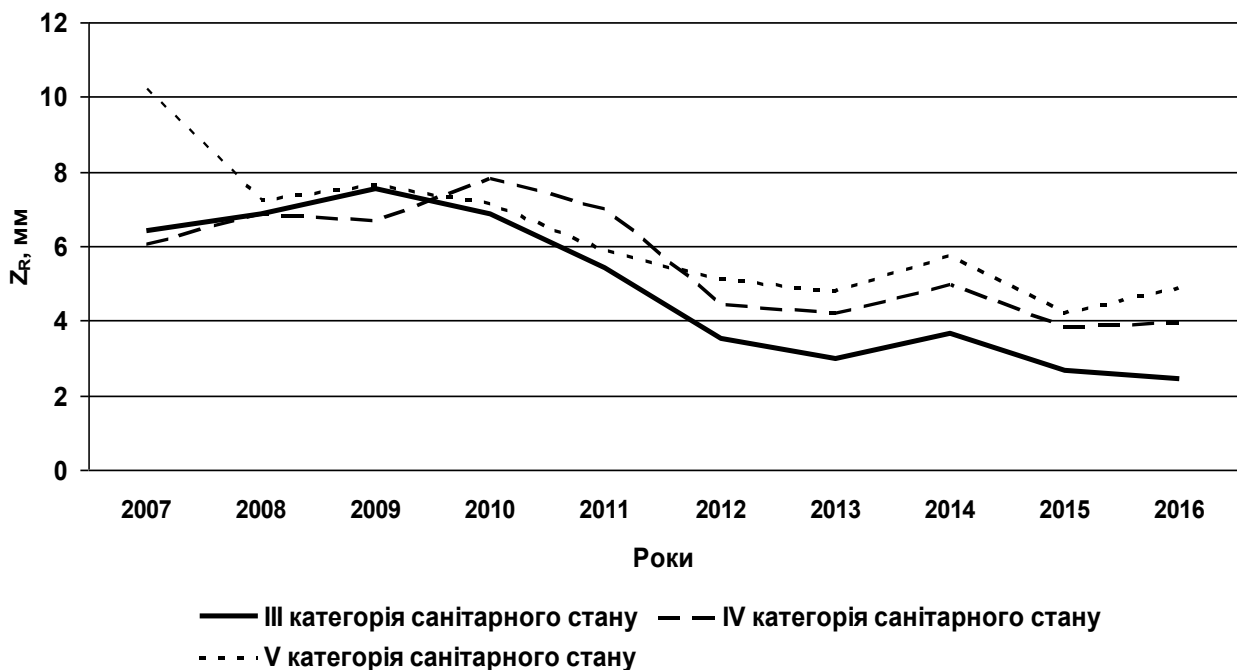


Рис. 3.53 – Динаміка радіального приросту дерев (Z_R) різних категорій санітарного стану в сосняку, пошкодженому пожежею 2012 р.

Після пожежі зменшився радіальний приріст дерев усіх класів Крафта: надпанівних – на 44 %, панівних – на 38 %, пригнічених – на 75 % (рис. 3.54). Надпанівні дерева у 2012 р. зреагували на пожежу зменшенням приросту (його мінімум припав на 2013 р.). У панівних та співпанівних дерев найменший приріст був у 2012 р. До 2016 р. приріст не відновився до передпожежного рівня і зберіг чітку ієрархічну тенденцію: найбільшим він був у панівних дерев і, відповідно, найменшим – у співпанівних.

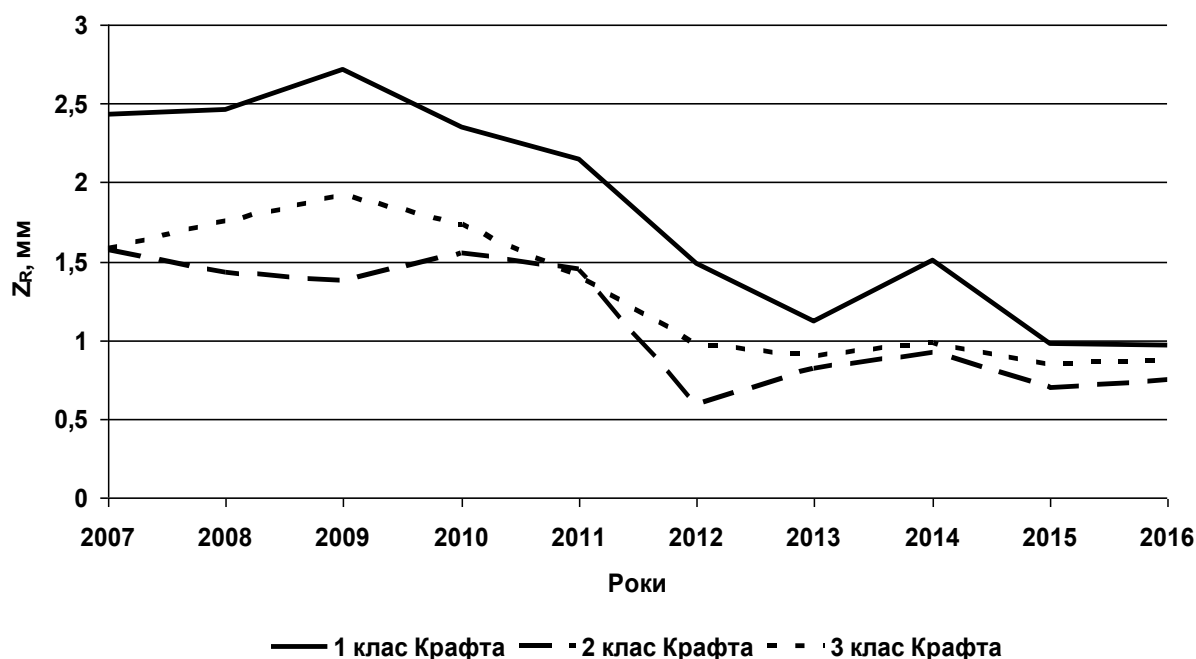


Рис. 3.54 – Динаміка радіального приросту дерев сосни (Z_R) за класами Крафта в сосняку, пошкодженому пожежею 2012 р.

Між індексами радіального приросту за 2015 р. та мінімальною висотою нагару встановлено пряму сильну кореляційну залежність ($r = 0,72$, $t_{\text{факт}} = 2,51$, $t_{\text{теор}} = 2,45$, $p = 0,05$) (рис. 3.55).

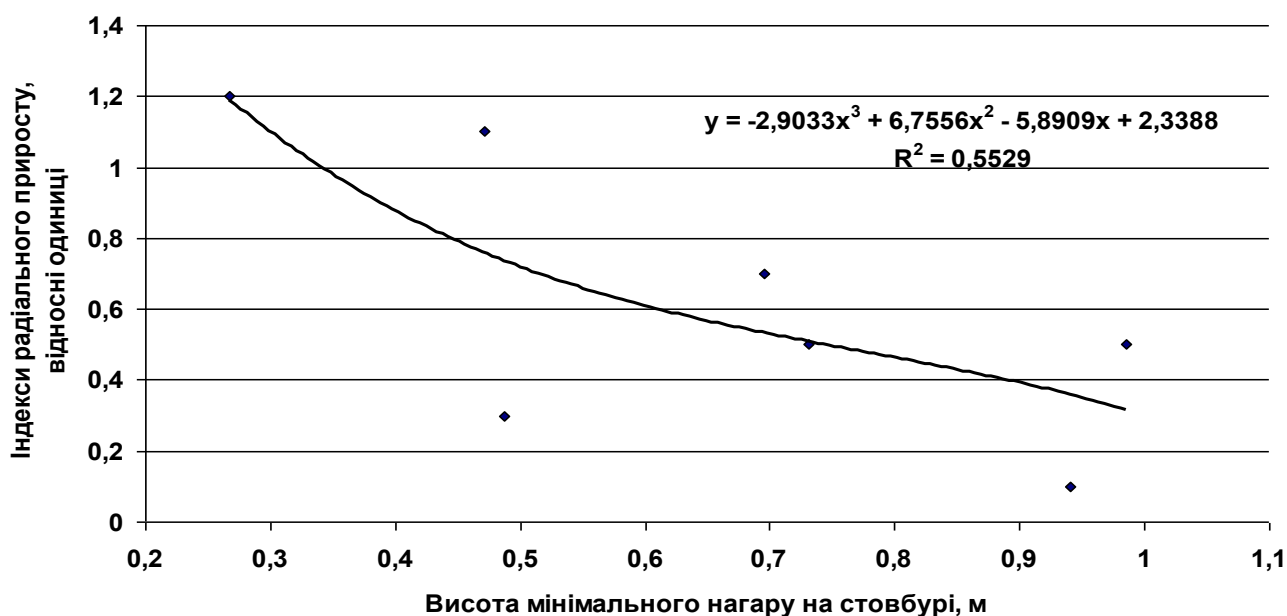


Рис. 3.55 – Залежність індексів радіального приросту сосни від мінімальної висоти нагару на стовбурі для 2015 р.

3.4.2 Пірогенні зміни радіального приросту в 50-річному сосняку

У пошкодженій пожежею у 2013 р. частині сосняку висота нагару на стовбурі коливалася в межах 0,85–4,0 м (середня – 2,2 м). Оскільки середня гранична висота розташування грубої кори становила 4,9 м, вогонь досягав тонкої кори. Вже через два місяці після пожежі пошкоджений сосняк оцінювали як усихаючий (табл. 3.41). Частка свіжого сухостою становила 20–25 %, а всихаючих дерев – 50 %. Стан контрольного сосняку за період спостереження оцінювали як ослаблений.

Таблиця 3.41 – Динаміка розподілу дерев за категоріями санітарного стану

ППП	Висота грубої кори, м	$H_{\text{наг, м}}$	Період після пожежі, місяців	Розподіл за категоріями санітарного стану, %						I_c
				I	II	III	IV	V	VI	
30	3,3	1,5	2	0	0	19	56	25	0	4,1
			12	0	0	23	48	9	18	4,3
			24	0	0	19	50	3	28	4,4
			36	0	0	22	46	1	31	4,5
32 (контроль)	3,5	0	0	26	42	21	6	1	4	2,3

До пожежі у період 2008–2012 рр. різниці між товщиною шарів річної деревини в пошкодженому сосняку та відповідними значеннями на контролі були незначними (рис. 3.56).

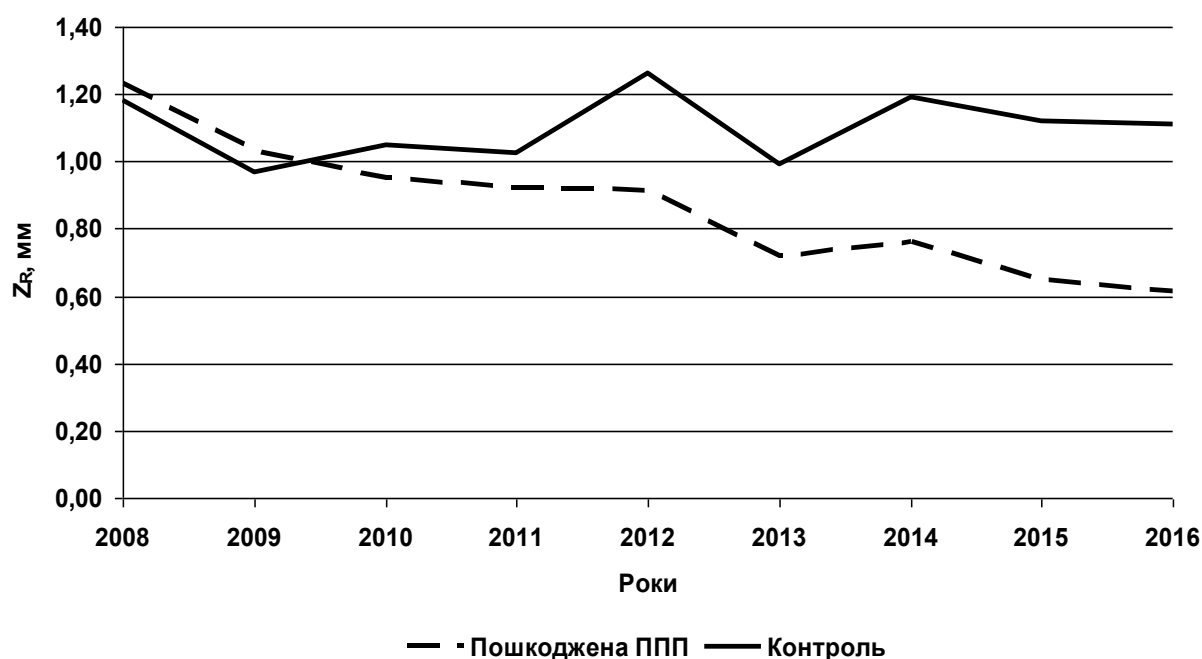


Рис. 3.56 – Динаміка радіального приросту (Z_R) дерев у сосняку, пошкодженому пожежею 2012 року, та в контрольному насадженні

Високі значення приросту зафіксовано в 2008 р. а депресії приросту спостерігалися у 2009 і 2011 рр. За кількістю опадів за вегетаційний період ці роки були сухими, а ГТК Селянінова становив 0,9 і 0,8 відповідно, тобто вегетаційний період можна вважати посушливим.

Упродовж вегетаційного періоду 2013 р. опади були розподілені за місяцями нерівномірно. Наприклад, у квітні випало лише 30 мм опадів, що, власне, і створило пожежонебезпечну ситуацію на початку травня, коли виникла пожежа. Проте впродовж травня випало 93,2 мм, тобто значно більше, ніж в попередньому місяці. Саме завдяки цьому місяцю й надзвичайно дощовому вересню, коли випало майже 110 мм опадів, вегетаційний період за кількістю опадів і ГТК (1,5) можна було вважати нормальним. Водночас літні місяці відзначалися посушливими умовами. Так, ГТК в літні місяці становив 0,6–0,9. Серпень 2013 р. виявився посушливим: випало лише 37 мм опадів. Як наслідок, радіальний приріст знизився й на контролі – із 0,98 мм/рік у 2012 р. до 0,88 мм/рік у 2013 р., або на 27 %. Особливо суттєве зниження приросту відбулося в пошкодженому пожежею сосняку. Радіальний приріст знизився із 0,87 мм у 2012 р. до 0,64 мм/рік у 2013 р. Відносно контролю знизився на 73 %.

Погодні умови вегетаційного періоду 2014 р. були сприятливішими. Завдяки цьому на контролі приріст збільшився до 1,08 мм/рік, тобто на 20 % проти 2013 р. Менш відчутними були позитивні зміни в пошкодженому пожежею деревостані (всього на 4 %).

Ситуація різко погіршилась у 2015–2016 рр. Вегетаційний період 2015 р. за кількістю опадів був аномально сухим, а 2016 р. – сухим. ГТК 0,7–0,8 свідчить про посуху впродовж вегетаційних періодів цих років. Особливо посушливим був серпень 2015 р., коли випало лише 5,9 мм опадів. Унаслідок такої аномальності погодних умов радіальний приріст на контролі у 2015 і 2016 рр. знизився до 1,05 мм/рік, або на 6–7 %. Особливо відчутне зменшення приросту сталося в пошкодженому сосняку: у 2015 р. на 17 % і у 2016 на 25 %, якщо порівняти з 2014 р.

На контролі товщина шарів ранньої деревини в період 2008–2012 рр. коливалася від 0,51 до 0,68 мм/рік, а пізньої – від 0,33 до 0,48 мм/рік. У пошкодженому сосняку діапазони товщини були близькими до контролю: товщина ранньої деревини становила від 0,51 до 0,71, пізньої – від 0,34 до 0,54 мм/рік. Середні значення ширини зони ранньої деревини за цей період в обох сосняках були однаковими, а пізньої – трохи більшими на контролі. Мінімальні значення зареєстровано в сухі 2009 та 2011 рр.

До пожежі (2009–2012 рр.) різниця між середніми показниками товщини річних шарів деревини пошкодженого та контрольного соснових насаджень була достовірною ($t_{\text{факт}} = 0,71$; $t_{\text{теор}} = 2,06$; $p = 0,05$). Для 2013–2016 рр. відповідні показники стали значущими ($t_{\text{факт}} = 8,03$; $t_{\text{теор}} = 2,06$; $p = 0,05$).

На контролі товщина шарів ранньої та пізньої деревини у післяпожежний період (2013–2016 рр.) дещо зросла (від 2 до 9 %), якщо порівняти з допожежним (2009–2012 рр.). У пошкодженому пожежею сосняку товщина шарів ранньої та пізньої деревини зменшилася на 49 та 21 % (табл. 3.42).

Таблиця 3.42 – Середньорічний радіальний приріст у пошкодженому сосняку та на контролі

ППП	Вид деревини	Товщина шарів деревини, мм		Достовірність різниці до та після пожежі		Зміна приросту 2013–2016 рр. проти 2009–2012 рр., %
		до пожежі 2009–2012 рр.	після пожежі 2013–2016 рр.	$t_{\text{факт}}$	$t_{\text{теор}}$	
Пошкоджена	Річна	0,93	0,63	2,39*	2,06	-32
	Пізня	0,37	0,19	2,36*	2,06	-49
	Рання	0,56	0,44	1,59	2,06	-21
Контроль	Річна	0,96	1,01	0,05	2,15	+5
	Пізня	0,40	0,42	0,08	2,10	+5
	Рання	0,56	0,60	0,12	2,12	+7

Примітки *Різниця достовірна на 5%-му рівні значущості.

У результаті пожежі, яка сталася на початку травня 2013 р., товщина шару ранньої деревини зменшилася проти 2012 р. з 0,51 до 0,47 мм, тобто на 8 % (рис. 3.57). Водночас відбулося суттєве зменшення товщини шару пізньої деревини – до 0,17 мм/рік, що було в 2,1 разу меншим, якщо порівняти з 2012 р. (рис. 3.58). Цьому сприяло те, що липень і серпень були посушливими (ГТК становив 0,6 і 0,9) і за ці місяці випало відповідно 62 і 57 % опадів від багаторічної норми. Хоча обидва деревостани в цей період мали мінімальний приріст, у пошкодженому сосняку він був у 1,9 разу меншим від контрольного.

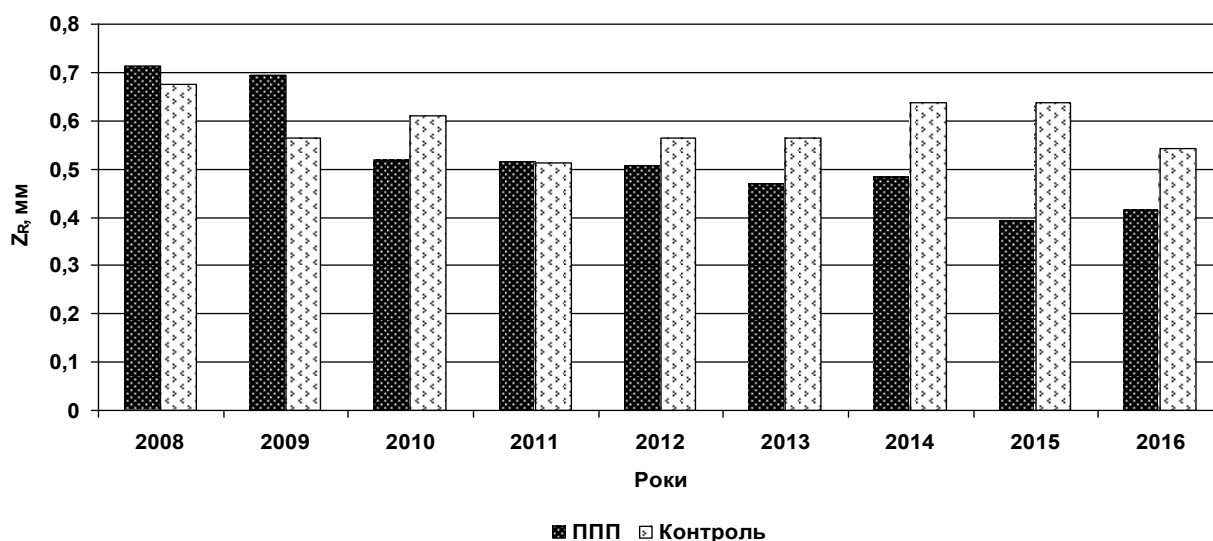


Рис. 3.57 – Динаміка товщини шару ранньої деревини (Z_R) у 50-річному сосновому деревостані, пошкодженому пожежею, та в контрольному насадженні

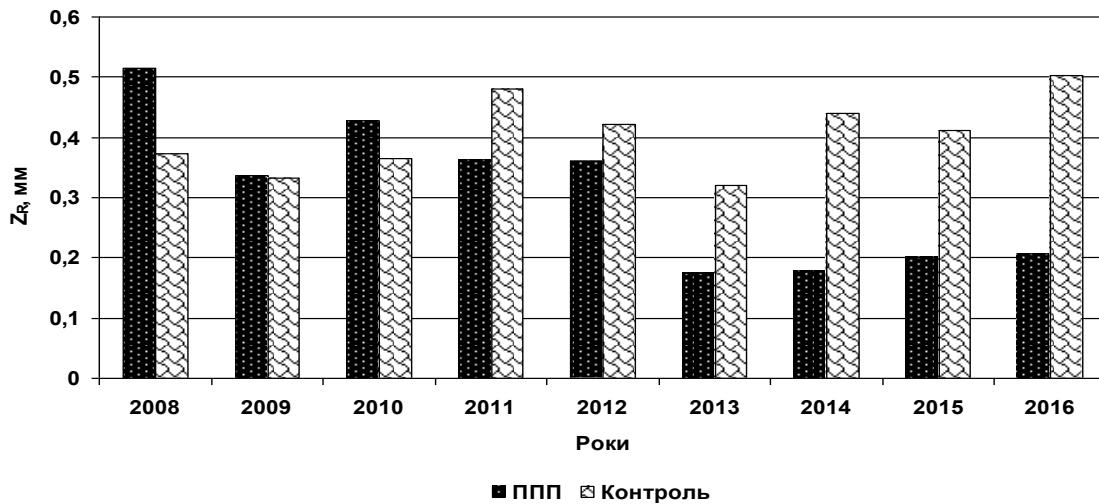


Рис. 3.58 – Динаміка товщини шару пізньої деревини (Z_R) у 50-річному сосновому деревостані, пошкоджене пожежею, та в контрольному насадженні

У наступні роки товщина шарів пізньої деревини коливалася від 0,16 до 0,21 мм/рік, що було в 2,0–2,8 разу меншим, ніж на контролі. На цей показник суттєво вплинула аномальність погодних умов 2015 та 2016 рр.

Якщо до пожежі в досліджуваному деревостані частка пізньої деревини перебувала в межах від 32,7 до 45,7 % від загальної товщини річного кільця, що було близьким до контролю (від 35,6 до 48,4 %), то після пожежі вона знизилася до 27,0–33,7 % (на контролі 36,1–48,1 %). Таким чином, пізня деревина виявилася більш чутливою до пошкодження пожежею, про що свідчать різниці середніх значень товщини шарів пізньої деревини в період до початку пожежі та після неї на пошкодженій ППП (рис. 3.59).

Аналіз радіального приросту дерев за категоріями санітарного стану показав різке його зменшення: для дуже ослаблених дерев – на 32 %, для усихаючих – на 18 % (див. рис. 3.59).

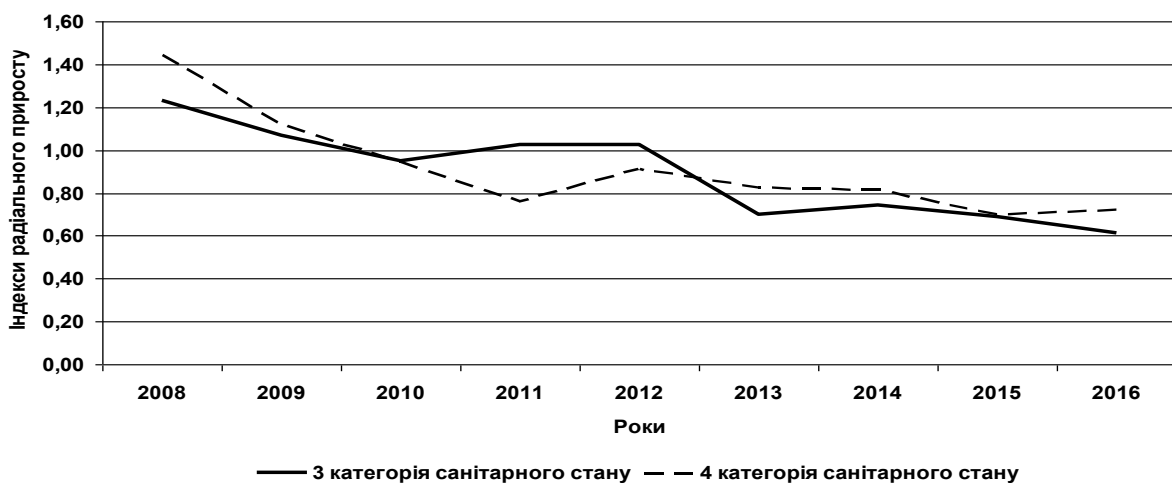


Рис. 3.59 – Динаміка радіального приросту дерев різних категорій санітарного стану в пошкоджене сосняку

Наступного після пожежі 2014 р., який був нормальним за кількістю опадів, відбулося деяке збільшення радіального приросту в дуже ослаблених дерев, але в усихаючих дерев зниження радіального приросту тривало. У 2015 та 2016 рр. зменшення радіального приросту відбулося в дерев усіх рівнів пошкодження. 2015 рік відзначався аномально сухим вегетаційним періодом, а 2016 рік виявився аномально сухим (ГТК становив 0,8 для 2015 р. та 0,7 для 2016 р.)

У 2013 р. погіршення стану дерев було зафіксовано вже за висоти нагари в 1 м. Частка свіжого сухостою сягала 25 %. Про активний хід процесу всихання свідчить також значна частка всихаючих дерев (табл. 3.43). Цей процес вплинув на радіальний приріст, бо дерева, які залишилися живими, отримали більше поживних речовин та кращі умови освітлення за рахунок дерев, які всохли.

Таблиця 3.43 – Розподіл дерев за категоріями стану та висотою нагари в пошкоджені сосняку

$H_{\text{наг, м}}$	Розподіл за категоріями санітарного стану, %						Загалом	I_c
	I	II	III	IV	V	VI		
1,0	0,0	0,0	3,8	1,9	5,8	0,0	11,5	4,2
1,5	0,0	0,0	5,8	3,8	9,6	0,0	19,2	4,2
2,0	0,0	0,0	7,7	5,8	3,8	0,0	17,3	3,8
2,5	0,0	0,0	1,9	23,1	0,0	0,0	25,0	3,9
3,0	0,0	0,0	0,0	9,6	1,9	0,0	11,5	4,2
3,5	0,0	0,0	0,0	9,6	3,8	0,0	13,5	4,3
4,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	1,9	4,0
Загалом	0,0	0,0	19,2	55,8	25,0	0,0	100,0	4,1

Виявлено сильну кореляційну залежність між індексами радіального приросту сосни та висотою нагари на стовбурах на 5%-му рівні значущості ($r = 0,79$; $t_{\text{факт}} = -2,72$; $t_{\text{теор}} = 2,46$), яку описує крива другого порядку (рис. 3.60). Сильні негативні зв'язки між індексами радіального приросту та мінімальною висотою нагари на стовбурі свідчать про залежність товщини шарів річної деревини від рівня нагари.

У рік пожежі депресію радіального приросту зареєстровано для дерев усіх класів Крафта. У надпанівних дерев приріст зменшився на 35 %, у панівних – на 25 %, співпанівних – на 36 %. У наступному 2014 р. радіальний приріст збільшився в надпанівних (на 16 %) та співпанівних (на 3 %) дерев. У панівних дерев зафіксовано низький приріст у 2014–2015 рр., який зменшувався на 42 %, починаючи з 2015 р. Тобто впродовж останніх двох років (2015–2016 рр.) приріст усіх дерев невинно знижувався (рис. 3.61).

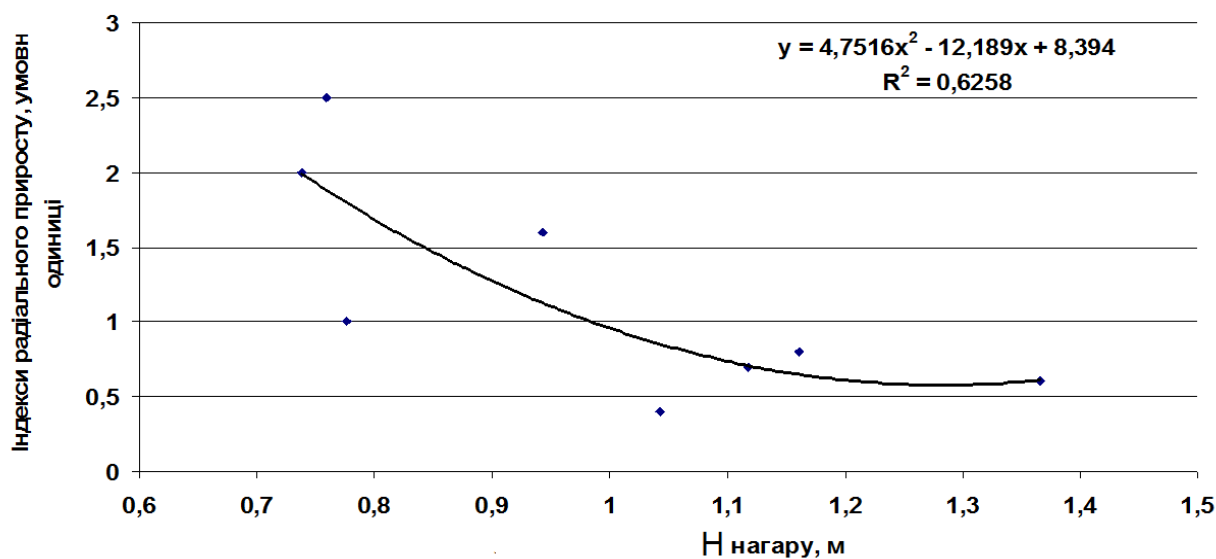


Рис. 3.60 – Залежність індексів радіального приросту дерев від висоти нагари на стовбурах на пошкодженій пожежею ППП 30 у Рокитнівському л-ві

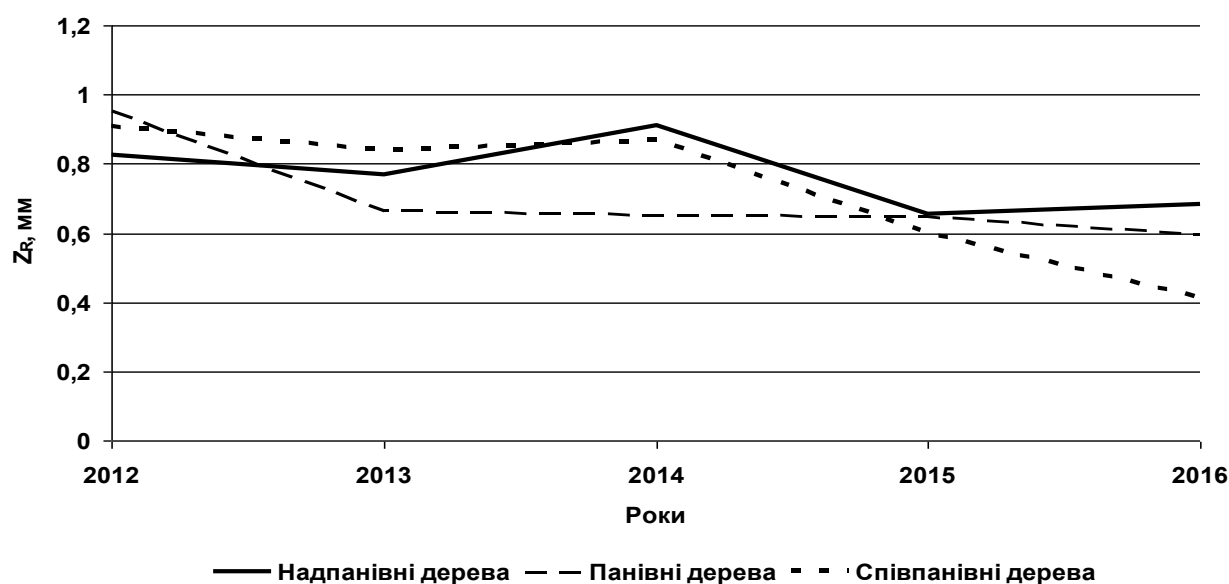


Рис. 3.61 – Динаміка радіального приросту сосни (Z_R) в пошкодженому сосняку за класами Крафта

3.4.3 Пірогенні зміни товарності сосняків Полісся

Сосняки Полісся відзначаються високою товарністю. Її оцінюють як за часткою ділової деревини, так і за часткою ділових стовбурів. Згідно з даними лісовпорядкування, частка ділових стовбурів до пожежі на закладених ППП становила від 70 до 89 % (табл. 3.19, 3.44). На ППП 31, яка є контролем для пошкоджених сосняків у Рокитнівському л-ві, вона становила 75,1 %. Дещо вищі результати можна отримати, якщо за показник товарності брати частку ділової деревини, адже у ділових дерев зазвичай діаметр є вищим, ніж в середньому в насадженні.

Таблиця 3.44 – Частка ділових стовбурів та ділової деревини в пошкоджених сосняках

ППП	Л-во*	Кв.	Вид.	Період після пожежі, місяців	I _c	H наг, м	Ділова деревина, %	Ділові стовбури, %	
								за фактом	за таксаційним описом
Пожежі 2012–2013 рр.									
31К	РКТ	31	8	–	2,3	–	75,4	75,1	70
37К	КЛВ	70	28	–	1,9	–	91,2	94,0	90
24	Нем	19	3	15	4,4	1,02	37,3	29,6	70
				27	4,7		2,3	1,0	
27	Нем	19	9	15	4,9	1,14	16,0	16,5	70
				27	4,9		10,4	11,3	
25	Нем	19	3	15	3,5	1,22	44,5	39,5	70
				27	4,2		18,9	17,3	
30	РКТ	21	42	12	3,8	1,51	14,0	16,5	70
				27	4,4		10,7	9,8	
26	Нем	19	7	15	3,5	1,56	66,7	54,5	70
				27	3,8		28,8	25,3	
33	РКТ	21	42	12	3,6	2,17	71,2	54,4	70
				27	4,3		45,0	28,2	
Пожежі 2015 р.									
52	БЛВ	31	25	1	3,3	0,83	86,1	83,0	86
				13	4,1		50,2	47,0	
55	Люб	17	6	1	3,3	0,31	82,6	80,0	80
				13	4,9		3,8	5,0	
56	Люб	17	7	1	3,5	0,61	85,8	66,0	80
				13	5,1		2,5	3,0	
58	Люб	2	9	1	3,0	0,88	87,7	92,0	89
				13	3,2		75,4	74,0	
54	Люб	17	20	1	3,4	1,06	95,5	88,0	80
				13	5,1		0,0	0,0	
53	Стр	106	7	1	3,1	1,09	84,2	86,0	80
				13	4,8		19,6	23,0	
59	Мащ	82	28	1	3,1	1,13	80,8	81,0	80
				13	3,7		70,9	78,0	
49	БЛВ	38	14	1	4,8	1,59	23,3	13,0	70
				13	4,4		15,3	10,0	
47	БЛВ	38	14	1	4,0	2,16	77,1	68,0	77
				13	4,3		26,3	25,0	
57	Люб	2	10	1	3,3	2,20	89,3	84,0	89
				13	4,3		40,9	41,0	
50	БЛВ	31	9	1	4,5	2,50	83,2	75,0	83
				13	4,6		51,7	41,0	
51	БЛВ	31	25	1	3,7	2,60	83,6	78,0	83
				13	4,6		30,3	26,0	

Погіршення стану сосняків унаслідок пожеж спричиняє зміну товарності. Так, майже на всіх ППП, які були пошкоджені пожежею в роки з великою кількістю опадів, вихід ділової деревини знизився із 70–75 до 14–37 % (табл. 3.42). Дещо меншим він був на ППП 33 та 26. Значне зниження зафіксовано через два роки після пожежі. На всіх ППП вихід ділової деревини становив лише 10–18 %. Особливо катастрофічні наслідки відзначено в перестійних деревостанах (ППП 27).

У вересні аномально сухого 2015 р. у сосняків, що були пошкоджені пожежею влітку, незважаючи на їхній катастрофічний стан, суттєвих змін товарності ще не відбувалося. У цей час вихід ділової деревини становив 77–95 %. Значне зменшення виходу ділової деревини сталося лише в наступному році. На більшості ППП частка ділової деревини становила лише 19–40 %. Частка ділових стовбурів з 68–92 % у 2015 р. знизилася до 25–47 % у 2016 р. Водночас помічено дві суттєві відмінності. На ППП 58 і 59 (низька та середня інтенсивність пожежі) індекс санітарного стану зріс із 3,0–3,1 до 3,2–3,7, водночас вихід ділової деревини знизився з 87–81 % лише до 70–75 %. Зазначимо, що на трьох ППП (54–56), де висота нагару на стовбурах становила 0,31 і 1,06 м (середня і слабка інтенсивність пожежі), частка ділової деревини знизилася за цей період із 83–96 до 0–4 %. Таке стрімке погіршення товарності пов'язане з інтенсивним заселенням таких дерев стовбуровими шкідниками.

Частка ділових стовбурів у пошкоджених сосняках залежала від стану насаджень. Встановлено обернену достовірну кореляційну залежність між I_c та часткою виходу ділових стовбурів ($r = 0,77$; $n = 38$; $p = 0,05$) (рис. 3.62).

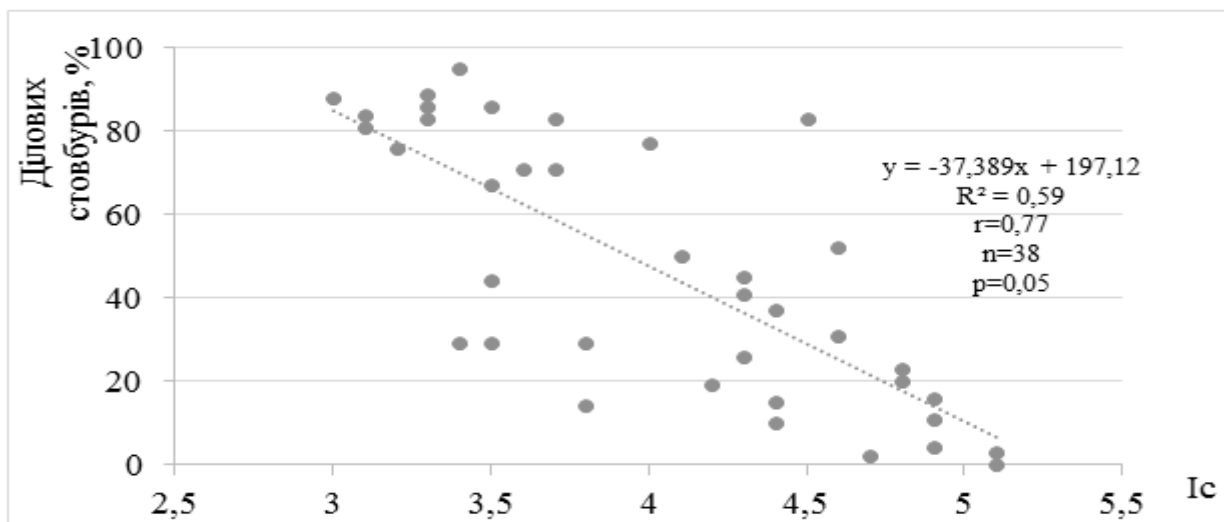


Рис. 3.62 – Частка ділових стовбурів на ППП залежно від стану сосняків

Між інтенсивністю пожежі (вираженою через середню висотою нагару на стовбурах дерев) та виходом ділової деревини впродовж року після пожежі встановлено пряму достовірну кореляційну залежність ($r = 0,32$; $n = 19$; $p = 0,05$). Зі збільшенням інтенсивності пожежі (висоти нагару на стовбурах) та погіршенням санітарного стану насаджень, пошкоджених низовими пожежами, зменшується вихід ділової деревини (рис.3.63).

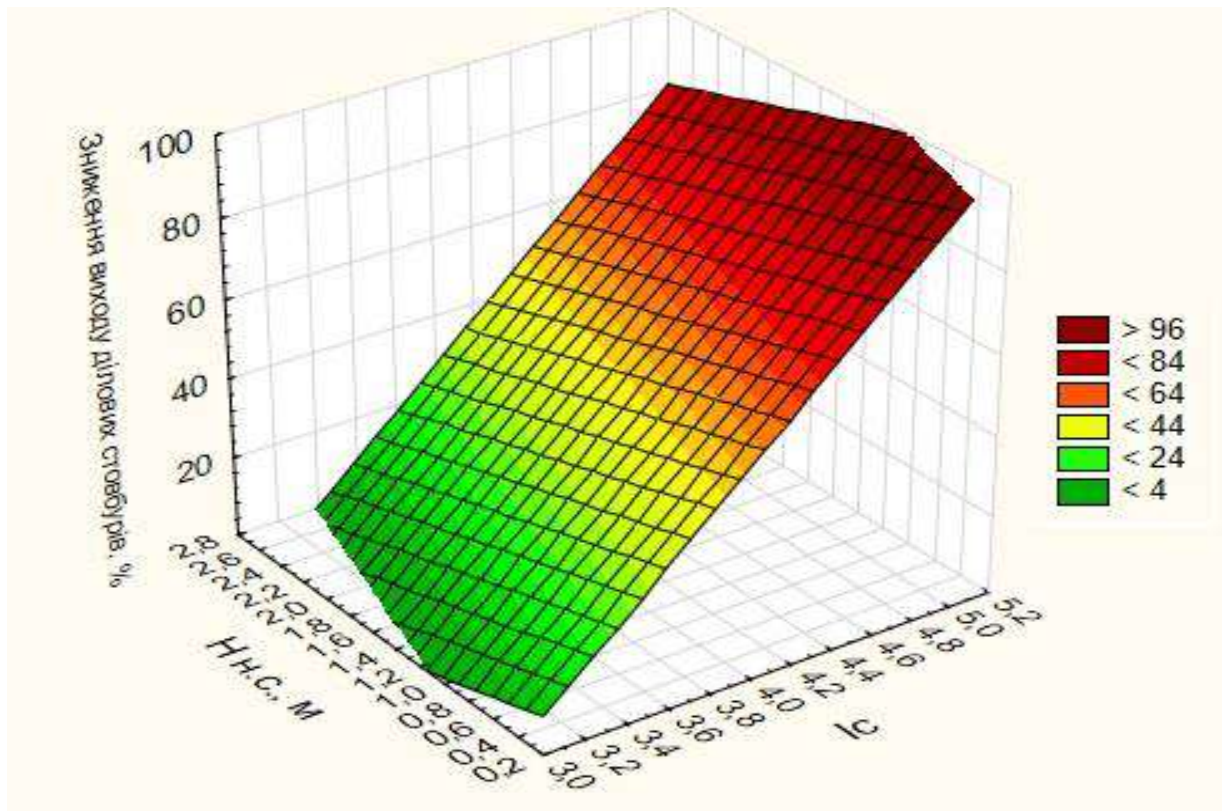


Рис. 3.63 – Взаємозалежність частки виходу ділової деревини, середньої висоти нагару ($H_{н.с.}$) та санітаного стану насаджень, пошкоджених пожежами (I_c).

Висновки до розділу

1. Зростання частоти років із аномальним підвищенням температури повітря й кількості посушливих днів суттєво загостило пірологічну ситуацію у Волинському Поліссі, для якого характерна значна частка пожежонебезпечних сосняків.

2. На основі аналізу бази даних випадків займань встановлено просторові та часові тенденції пожеж, зокрема періоди пожежних максимумів і піку, а також залежність виникнення пожеж від погодних та лісорослинних умов і характеристик сосняків.

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

4. Виявлено особливості формування лісової підстилки соснових насаджень:

- зі зростанням віку насаджень збільшуються запас і щільність підстилки;
- найбільші запаси підстилки визначено у вологих гігротопах і в суборах;
- загальна маса підстилки й маса її окремих шарів збільшуються з віком сосняків і зменшуються у міру віддалення від стовбура;
- найменшою є мортмаса у верхньому шарі підстилки, найбільшою – у нижньому.

5. Тривалість і температура горіння збільшуються зі зростанням запасів лісової підстилки. Углиб профілю швидкість і температура горіння лісової підстилки зменшуються внаслідок збільшення безструктурної мортмаси.

6. У міру висихання підстилки швидкість і температура її горіння зростають. Збільшенню температури й швидкості горіння підстилки також сприяє посилення потоків повітря.

7. Виявлено особливості розповсюдження тепла під час низових пожеж у ґрунтах. Нагрівання ґрунтів під час пожеж має поверхневий характер. Піщані ґрунти прогріваються сильніше й глибше, ніж суглинисті, а сухі – сильніше, ніж вологі.

8. Завдяки високому вмісту лужних металів у попелі значення рН верхнього гумусового горизонту ґрунтів зростає до 4,35–4,50. Сума їхніх водних форм збільшується в 3,7–7,7 разу, а місткість катіонного обміну – у 2,0–2,3 разу. Водночас лужні катіони доволі швидко вимиваються опадами.

9. В умовах Полісся за кількості опадів, близької до багаторічного рівня, під час низових пожеж домінує пошкодження стовбура. Особливо катастрофічними є наслідки пожеж в аномально сухі роки, коли відбувається пошкодження крони конвективними потоками гарячого повітря. У вологих і сирих гігროтопах загибель сосняків спричиняють пошкодження коренових систем і лап. Летальним для розвитку сосняків є пошкодження:

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

10. Погіршення стану сосняків супроводжувалося депресією радіального приросту дерев, яка особливо посилюється в сухі періоди. При цьому пізня деревина сильніше реагує на пошкодження вогнем, ніж рання та річна.

11. Погіршення стану сосняків унаслідок пожеж призводить до зниження частки ділових стовбурів із 70–89 до 14–37 %. Через два роки після пожежі вихід ділової деревини знижується до 10–18 %.

12. Вихід ділової деревини в сосняках, пошкоджених пожежами, зменшується зі збільшенням висоти нагару на стовбурах і погіршенням стану насадження. Суттєве погіршення товарності (до 4 %) пов'язане з інтенсивним заселенням дерев стовбуровими шкідниками.

РОЗДІЛ 4. ЛІСОВІ ПОЖЕЖІ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ТА ЇХНІ НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ

4.1 Лісові пожежі у лісах Харківщини

Висока пожежебезпе́чність лісів Харківщини обумовлена наявністю сосняків та інтенсивним рекреаційним навантаженням часто пікнікового типу, що супроводжується розпалюванням вогнищ. В цілому в лісах Харківського обласного управління лісового та мисливського господарства (ХОУЛМГ) середній клас пожежної небезпеки 2,15, а частка хвойних 32,3% (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Розподіл лісів ХОУЛМГ за класами пожежної небезпеки

ДП «ЛГ»	Площа, га	Класи пожежної небезпеки, %					Сер. клас	% хвойних
		1	2	3	4	5		
Ізюмське	53200	47,3	26,7	22,2	3,8	0,0	1,83	56,5
Чугуєво-Бабчанське	20864	16,0	63,9	16,5	3,6	0,0	2,08	21,5
Красноградське	14634	34,6	29,2	28,4	7,8	0,0	2,09	37,1
Куп'янське	37899	30,5	32,6	33,8	3,1	0,0	2,10	35,
Зміївське	29540	24,4	34,6	38,8	2,2	0,0	2,19	29,5
Вовчанське	27982	20,1	36,4	43,3	0,2	0,0	2,24	23,2
Жовтневе	59174	10,0	55,6	34,1	0,2	0,1	2,25	14,6
Близнюківське	6125	7,8	59,2	33,0	0,0	0,0	2,25	5,9
Балаклійське	28339	29,9	25,2	26,3	18,6	0,0	2,34	34,9
Гутянське	31069	14,2	39,1	44,6	2,0	0,0	2,34	39,3
Разом	308826	25,0	39,0	32,2	3,8	0,0	2,15	32,3

Найвищий середній клас пожежної небезпеки в ДП «Ізюмське ЛГ» (1,83), що пов'язано із переважанням сосняків (56,5 %). Решта держлісгоспів області, в яких частка хвойних насаджень нижча – від 6 % (Близнюківське) до 39 % (Гутянське), характеризуються значно нижчим класом пожежної небезпеки – від 2,08 (Чугуєво-Бабчанське) до 2,34 (Балаклійське та Гутянське).

Найбільша кількість випадків пожеж характерна для держлісгоспів, що складають основну частину зеленої зони Харкова – Жовтневого (137) та Зміївського (56), а також для Куп'янського (96) та Ізюмського ЛГ (49), у породному складі яких суттєву частку (відповідно 35 та 57%) складають сосняки (рис.4.1, табл. 4.2). В лісах решти ДП цей показник значно нижче.

Аналіз показників горимості лісів свідчить про те, що за площею на 1000 га, пройденою пожежами ліси майже всіх ДП мають горимість нижче середньої (середнє значення 0,23 га, інтервал коливань 0,11-0,85 га). Проте розподіл за цим показником дуже нерівномірний. Так, по Вовчанському та Гутянському ЛГ ця площа в 2-3 рази менша за середню, по Балаклійському, Красноградському та Куп'янському – в 2-4 рази більша, а по решті держлісгоспів – близька до середньої.

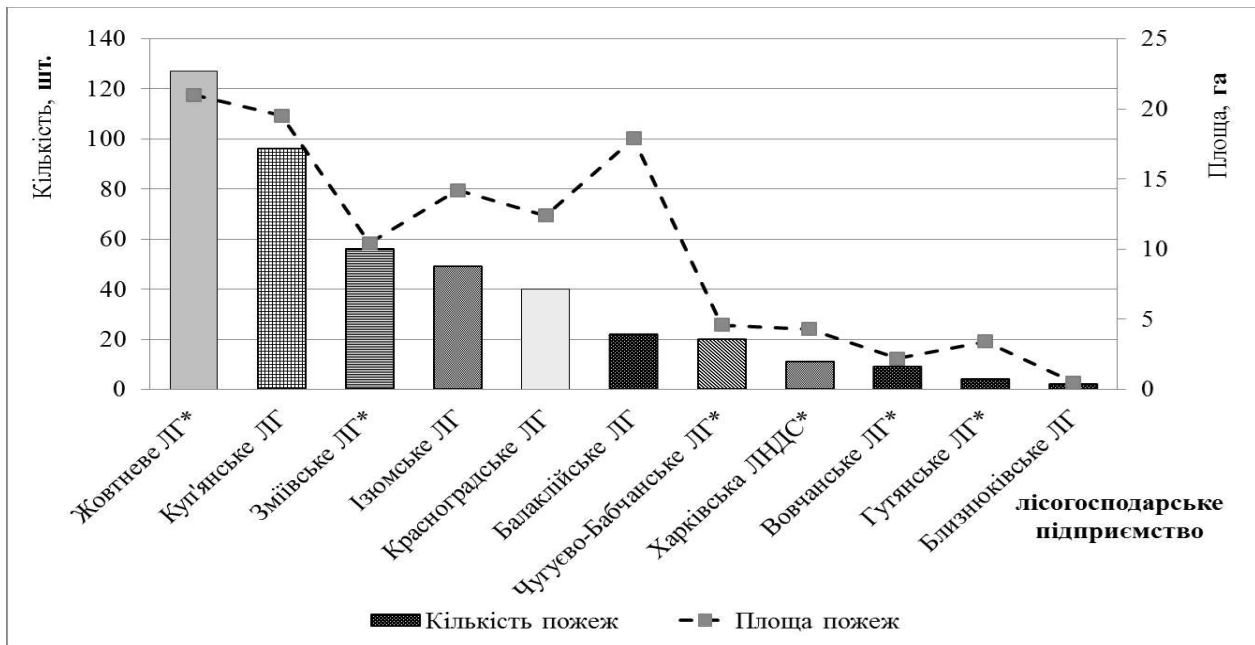


Рис. 4.1 – Середня кількість та площа пожеж ДП Харківського ЛГУ

Таблиця 4.2 – Горимість лісів по ДП ХОУЛМГ

ЛГ	По кількості випадків загорання			По площі, яка пройдена вогнем, га			Середня площа однієї пожежі, га
	Середня за рік	На 1000га площі ЛФ	Відносна горимість	Середня за рік	На 1000га площі ЛФ	Відносна горимість	
Балаклійський	21,9	0,77	Над.	17,9	0,63	Н ср.	0,82
Близнюківський	0,6	0,09	В. ср.	1,0	0,20	Н ср.	1,79
Вовчанський	11,2	0,40	Над.	2,1	0,08	Низ.	0,19
Гутянський	8,4	0,27	Над.	3,4	0,11	Н ср.	0,41
Жовтневий	137,0	2,31	Над.	21,0	0,36	Н ср.	0,15
Зміївський	56,0	1,90	Над.	10,6	0,36	Н ср.	0,19
Ізюмський	49,1	0,92	Над.	13,9	0,26	Н ср.	0,28
Куп'янський	95,7	2,53	Над.	19,8	0,51	Н ср.	0,21
Красноградський	8,7	0,60	Над.	12,4	0,85	Ср.	1,43
Чугуєво-Бабчанський	16,3	0,78	Над.	4,7	0,23	Н ср.	0,29

Відносна горимість за кількістю пожеж на 1000 га майже в усіх ЛГ «надзвичайна» (від 0,09 до 2,53 випадків), лише в Близнюківському ЛГ – «вище середньої» (0,09). Аналізуючи співвідношення кількості пожеж та їх площі, можна простежити таку тенденцію. В найвіддаленіших держлісгоспах (Красноградський та Близнюківський) пожежі виникають рідко, проте через їх віддаленість час, що проходить між виникненням пожежі та її виявленням та гасінням більший, а тому і більша середня площа однієї пожежі (відповідно 1,43-1,79 га). Для ДП хоч і характерна

більша частота пожеж, проте середня площа однієї пожежі невелика (0,15-0,41 га). Це пояснюється тим, що пожежі хоч і частіше виникають, проте швидко виявляються та гасяться.

4.1.1 Роль кліматичних умов у виникненні пожеж

Клімат Лівобережного Лісостепу України помірний, з жарким літом, та часто з недостатньою кількістю опадів. Високі температури у літні місяці за відсутності опадів, тривалі посушливі періоди, суховії, перевищення випаровування над надходженням опадів підвищують пожежну небезпеку в лісах та лімітують розвиток пошкоджених пожежами насаджень.

Посухи та суховії різної інтенсивності й тривалості реєструють майже щорічно, а сильні посухи кожного третього року [65]. При цьому вологість повітря зменшується до 25–30 %, температура повітря досягає 30°C, а сила вітру 5- 10 м/с. За період з 1999 по 2017 рр. найбільш посушливими були 1999, 2008 та 2009 рр.

Розподіл опадів за окремими періодами часто є не рівномірним. Так, вегетаційні періоди 2012 та 2013 рр. були достатньо вологими (ГТК від 1,0 до 1,5), але липень та серпень були посушливими. При чому у 2012 р. посуха тривала чотири місяці, у 2013 р. – три.

Для визначення аномальності температури та опадів у Лівобережному Лісостепу [16] використано середнє квадратичне відхилення (σ) від середнього багаторічного рівня (табл. 4.3). Розраховані критерії аномальності дали змогу визначити відповідні показники погодних умов для 1989–2016 рр. (додаток А2).

Згідно розрахованих критеріїв аномальності (табл. 4.3) за кількістю опадів сухими були 1994, 1999, 2008 та 2009 рр., мокрими – 1997, 2003, 2004 аномально мокрими 1989, 2014 та 2016 рр. теплими – 1999, 2001, 2002 а починаючи з 2005 всі роки були теплими, а 2007, 2010, 2012 та 2015 аномально теплими. Згідно величини ГТК посушливими були 1994, 1998, 1999, 2008, 2009 та 2015 роки.

Аналіз зв'язків кількості та площі пожеж у межах Харківської області в окремі роки із основними кліматичними показниками за вегетаційний період виявив лише часткову залежність. Однозначним є те, що найгірша ситуація з пожежами відмічається, коли негативна характеристика співпадає. За весь період в роки сухі, теплі і посушливі співпадали лише тричі — 1999, 2008 та 2009 р. В 1999 та 2009 роки найбільша кількість пожеж, а 2008 році найбільша площа пошкодження пожежами. Максимальна ж кількість пожеж відмічена в 1994 році – 814 випадки, цей рік був сухим і посушливим, але не теплим. Як правило, найбільш погані наслідки відмічаються в посушливі роки. Впродовж «аномально теплих» років також фіксували збільшення кількості пожеж: 2007 р. – 461; 2010 р. – 425; 2012 р. – 217; 2015 р. – 192 випадків. Так, 2005 та 2010 роки були лише теплими, але сталося більше 400 пожеж. В аномально теплі роки, але із достатньою кількістю опадів характерна незначна площа лісів, пошкоджених пожежами. У 2007 р. площа лісових насаджень, пошкоджених пожежами, сягала 99 га, у 2012 р. – 62 га, у 2015 р. – 87 га.

Таблиця 4.3 – Тенденції виникнення пожеж у ДП Харківської області та аномальності температури та опадів в період вегетації впродовж 1989–2017 рр.

Рік	Пожежі		Кількість опадів, мм		Температура, °С		ГТК
	Випадків	Площа, га	Сума, мм	Аномальність	Середня t, °С	Аномальність	
1989	113	33,9	510	АМ	15,4	Н	1,5
1990	108	39,2	300	Н	14,5	Н	0,9
1991	271	59,1	536	АМ	15,8	Н	1,5
1992	540	114	356	Н	14,4	Н	1,1
1993	221	92,3	316	Н	13,9	Н	1,1
1994	814	275	262	С	15,7	Н	0,8
1995	430	134	357	Н	15,8	Н	1,0
1996	442	187	373	Н	15,5	Н	1,1
1997	220	18,9	450	М	14,3	Н	1,4
1998	547	121	299	Н	16,3	Т	0,7
1999	750	104	286	Н	16,6	Т	0,8
2000	«-»*	«-»*	337	Н	15,5	Н	1,0
2001	«-»*	«-»*	373	Н	15,9	Т	1,0
2002	«-»*	«-»*	382	Н	16,1	Т	1,1
2003	47	2	490	М	14,9	Н	1,5
2004	49	2	478	М	14,8	Н	1,6
2005	408	86	319	Н	16,1	Т	1,2
2006	240	32	273	Н	16,2	Т	1,0
2007	461	99	349	Н	16,8	Т	1,1
2008	380	1844	308	Н	16,1	Т	0,7
2009	696	274	223	С	16,3	Т	0,6
2010	425	182	366	Н	17,9	АТ	1,0
2011	160	31	379	Н	16,9	АТ	1,1
2012	217	62	324	Н	18,5	АТ	1,0
2013	80	27	392	Н	16,6	Т	1,1
2014	50	30	540	АМ	16,1	Т	1,2
2015	192	87	393	Н	16,3	Т	0,8
2016	37	5,4	674	АМ	16,2	Т	1,3
2017	222	241	330	Н	16,2	Т	1,0
Сер.2003–2017 рр.			382	Н	16,4	Т	1,1
Сер.1989–2002 рр.			367	Н	15,4	Н	–

Примітка «-»* – дані відсутні

Визначення тенденцій пожеж на окремих територіях за однакового класу пожежної небезпеки за умовами погоди дає змогу оцінити вплив основних метеорологічних чинників на рівень пожежної небезпеки в різні сезони.

Створення місцевої (регіональної) шкали проведено на основі методики М. П. Курбатського [52, 60, 61, 102], який запропонував враховувати сезонність пожеж і частку зафіксованих випадків для різних КПН. Згідно з положенням про лісові пожежні станції дозволено вносити поправки до величини КПН для кожного із урахуванням регіональних особливостей [154].

На основі метеоданих для оцінювання пожежної небезпеки за умовами погоди розраховують комплексний показник пожежної небезпеки КП, що використовують для лісів України, та встановлюють клас пожежної небезпеки за умовами погоди (КПН) за загальноукраїнською шкалою [154]

Показник КП для поточної доби визначають за формулою (4.1):

$$\text{КП} = k \cdot \text{КП}_{n-1} + t(t - \tau); \quad (4.1)$$

де: t – температура повітря, °С;

τ – точка роси, °С, визначена о 12 годині дня;

k – коефіцієнт, який враховує опади за минулу добу.

КП визначають впродовж всіх днів пожежонебезпечного періоду.

Для визначення показника k використовують такі уточнення з урахуванням суми опадів за минулу добу:

- без опадів – $k = 1$;
- 0,1–0,9 мм – $k = 0,9$;
- 1–2,9 мм – $k = 0,6$;
- 3–5,9 мм – $k = 0,4$;
- 6–15,9 мм – $k = 0,2$;
- 16 мм і більше $k = 0$ [155].

За загальноукраїнською шкалою за певних значень КП виділяють п'ять класів пожежної небезпеки [154]:

На основі порівняння значень КПН в різні пори року сезони виявлено суттєві відміни в кількості пожеж при однакових значеннях цього показника (рис.4.2, табл.4.4). Встановлення таких відмінностей та визначення розподілу частки лісових пожеж за кількістю за сезонами дозволило визначити різницю між класами впродовж всього пожежонебезпечного періоду та особливості виникнення пожеж.

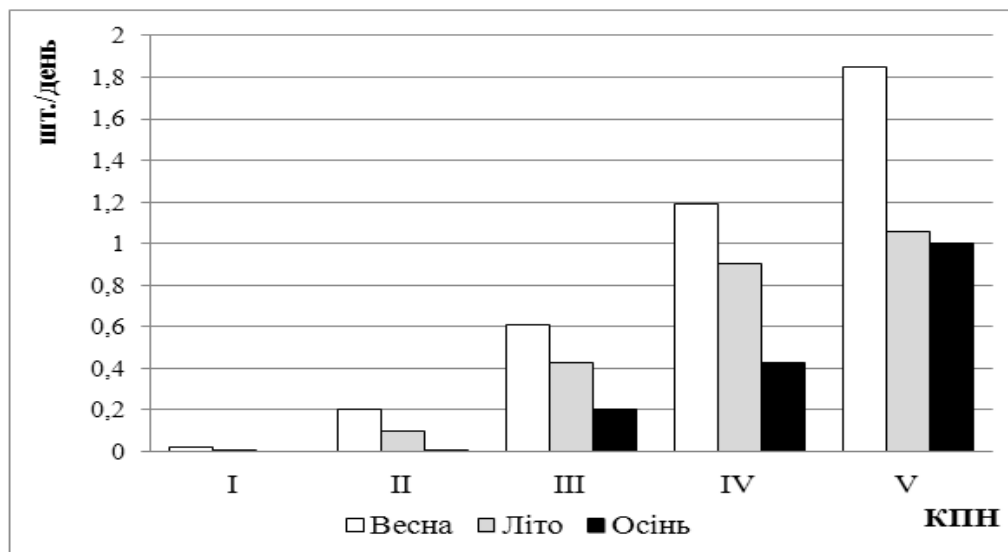


Рис. 4.2 – Кількість випадків пожеж в середньому за день за різних КПН у весняний, літній та осінній сезони

Таблиця 4.4 – Розподіл частки лісових пожеж за кількістю та середньодобовою кількістю випадків за сезонами протягом 2005–2017 рр. (порівняння з часткою за методикою М. П. Курбатського)

КПН	За методикою М. П. Курбатського	Весна				Літо				Осінь			
	%	<i>f</i>	%	<i>n</i> ,%	<i>f/n</i>	<i>f</i>	%	<i>n</i> ,%	<i>f/n</i>	<i>f</i>	%	<i>n</i> ,%	<i>f/n</i>
I	до 5	7	1,4	33	0,02	1	0,2	8	0,01	0	0	27	0
II	15	58	11,9	26	0,20	21	3,2	16	0,10	3	1,3	22	0,01
III	25	175	35,8	26	0,61	191	28,8	37	0,43	31	13,8	21	0,20
IV	25	106	21,7	8	1,19	202	30,4	19	0,90	37	16,4	11	0,43
V	30	143	29,2	7	1,85	249	37,5	20	1,06	154	68,4	19	1

Примітка. *f* – кількість випадків пожеж %; % – частка від загальної кількості; *n*, % – частка днів з КПН

Навесні зареєстровано найбільшу кількість пожеж на день для усіх класів пожежної небезпеки, що свідчить про найбільшу ймовірність займань у цей період. Основну частку пожеж (35,8 %) зафіксовано при III КПН, тобто за середньої пожежної небезпеки. Це свідчить про високу ймовірність займань у лісі навіть для значення КП в інтервалі від 1000 до 3000, а також про можливість суттєвого її збільшення за умови підвищення КП.

Улітку кількість пожеж у середньому за день для найвищих КПН навіть зменшується, як за умови високої пожежної небезпеки (до 0,90 випадків у день) так і за надзвичайної пожежної небезпеки (до 1,06 випадків у день).

Протилежну ситуацію спостерігаємо для осені. До IV КПН середня кількість пожеж за день є помітно меншою, порівняно з іншими сезонами, а підвищення у 2 рази виникає лише за значення КП понад 5000. Переважна більшість пожеж (60 % від загальної кількості) виникає за V КПН. За менш пожежонебезпечного II КПН виникає не більше ніж 0,01 випадків за день, а їхня частка не перевершує 1,3 % від загальної кількості. Для днів з I КПН не було зафіксовано жодної лісової пожежі.

За менших значень класу пожежної небезпеки (з I по IV) більш загрозливим та пожежонебезпечним був весняний сезон, коли показники середньої кількості пожеж за день були найбільшими та в усіх випадках помітно перевершували відповідні значення за літній та осінній періоди. Навесні небезпека виникнення пожежі помітно більша.

Під час порівняння розподілу частки пожеж за КПН та зіставлення їх із уточненою шкалою за методикою М. П. Курбатського було виявлено значні відмінності. За цією методикою поправки до місцевої шкали вносять на основі співвідношення між значенням метеорологічного показника КПН і часткою пожеж, що виникають (%). Рекомендовано використовувати до 5 % для I КПН, 15 % – для II, 25 % – для III та IV, і більше 30 % – для V КПН. Під час оцінювання різних сезонів пожежонебезпечного періоду для досліджуваної

території виявлено значні відмінності між ними. Особливо це помітно восени для V КПН, коли частка пожеж за кількістю випадків сягала 68,4 % (рис. 4.3).

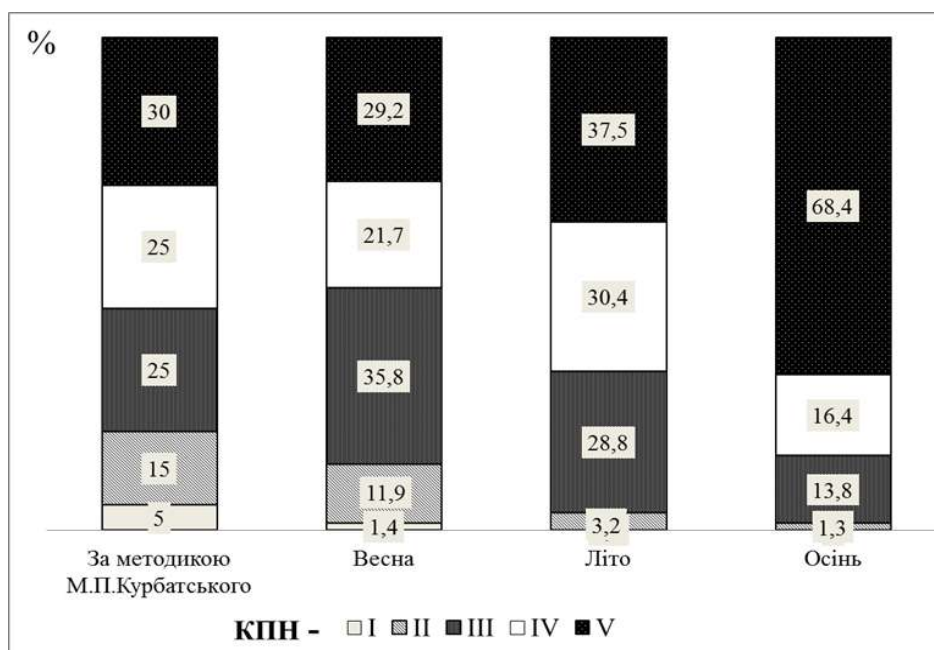


Рис. 4.3 – Частка випадків пожеж для різних КПН у різні сезони року, %

На основі проведеного аналізу горимості лісів, залежно від КП за умовами погоди за методикою М.П. Курбатського побудовано місцеву шкалу пожежної небезпеки за умовами погоди для різних сезонів пожежонебезпечного періоду (табл. 4.5). Весною, коли загроза виникнення пожеж є найбільшою, високий рівень пожежної небезпеки відзначають вже за КП від 2700 до 4700, а надзвичайний – понад 4700. Улітку високий рівень пожежної небезпеки настає за КП від 3701 до 5400, а надзвичайний – за понад 5400. Найбільша різниця восени свідчить, що значення КП для усіх КПН треба підвищити. Таким чином, на відміну від чинної шкали, загрозу виникнення пожеж фіксуватимуть лише за значень КП понад 6001 (IV та V КПН).

Таблиця 4.5 – Місцева шкала визначення КПН за умовами погоди в різні сезони року на основі співвідношення частки випадків пожеж за різних значень КП

КПН	Діюча шкала		За методикою М. П. Курбатського, %	Весна		Літо		Осінь	
	КП	Пожежна небезпека		КП	%*	КП	%*	КП	%*
I	до 400	Відсутня	до 5	до 400	2	до 600	1	до 1000	1
II	401–1000	Мала	15	401–1300	15	601–2100	14	1001–3300	14
III	1001–3000	Середня	25	1301–2700	26	2101–3700	25	3301–6000	24
IV	3001–5000	Висока	25	2701–4700	26	3701–5400	26	6001–11000	26
V	понад 5000	Надзвичайна	30	> 4700	31	> 5400	34	> 11000	35

Примітка. % – частка пожеж від загальної кількості

Прогнозувати виникнення пожеж слід залежно насамперед від погодних умов, тобто від значення класу пожежної небезпеки за умовами погоди в окремий день, але при цьому обов'язково варто враховувати вплив антропогенного фактору, що, як відомо, є основною причиною виникнення пожежі у лісі, а також сезонні особливості.

4.1.2 Тенденції виникнення пожеж у лісах зеленої зони м. Харкова

Аналіз тенденцій виникнення пожеж у лісах лісостепової частини Харківщини використано три ДП, що знаходяться на різній відстані від Харкова. У безпосередній близькості до міста знаходиться ДП «Харківська ЛНДС». Ліси ДП «Жовтнєве ЛГ» знаходяться на відстані 10–20 км від обласного центру. На найбільшій відстані від міста (20–40 км) знаходяться ліси ДП «Зміївське ЛГ» (рис. 4.4).

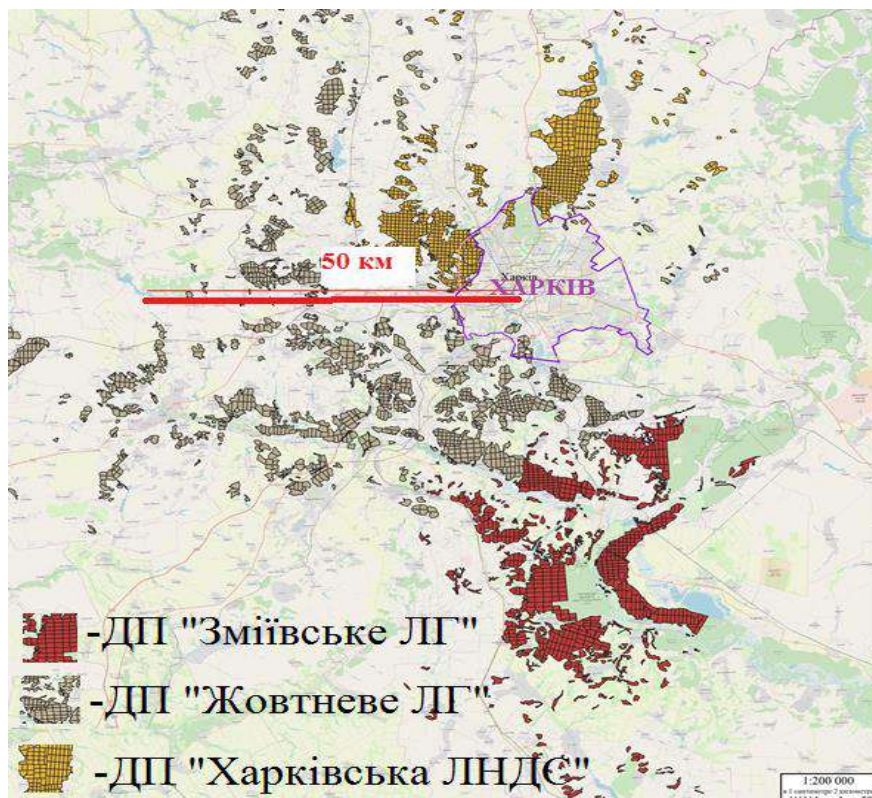


Рис. 4.4 – Розміщення лісів ДП «Жовтнєве ЛГ», ДП «Зміївське ЛГ» та ДП «Харківська ЛНДС» – відносно міста Харків

Горимість сосняків даних ДП мало відрізняється за кількістю випадків і майже однакова за площею (від 0,21 до 0,2 га). Показники відносної горимості лісів усіх ДП в більшість років подібні: надзвичайна горимість – за кількістю й нижче середньої – за площею. Середня площа однієї пожежі в ДП «Харківська ЛНДС», яке найближче розташоване до міста, найбільша – 0,38 га. У ДП «Жовтнєве ЛГ» середня площа менша в 2 рази – 0,17 га, а в ДП «Зміївське ЛГ» вона становила 0,11 га.

Аналіз виникнення пожеж за період з 1991 по 2020 роки в лісах зеленої зони м. Харків проведений на прикладі ДП «Жовтнєве ЛГ». За цей період зареєстровано 3197 пожеж. Кількість випадків коливається від 3 до 324, або в середньому 106 випадків на рік. Загальна площа насаджень пройдених пожежею 357,15 га і коливається в значному інтервалі від 0,05 до 53,95 га на рік. Середня площа однієї пожежі 0,11 га, а в різні роки від 0,01 до 0,36 га.

Частота виникнення пожеж різко зростає з посушливі роки. Так, у найбільш посушливі 1994, 1999, 2009 роки коли кількість опадів (379,6–415,3 мм) була значно нижче норми (525 мм) (табл. 4.3) спостерігалися найбільша кількість і площа пожеж у Жовтнєвому ЛГ (відповідно, 317, 324 та 236 випадків на рік 53,95, 28,51 та 29,31 га на рік). В той же час не завжди в роки з великою кількістю пожеж відмічається велика площа пройдених вогнем лісів. Так у 2002 та 2006 році коли було відповідно 123 та 169 випадків пожеж, а площа пройдена вогнем складала 3,8 га.

Горимість лісів по кількості випадків майже в усі роки оцінюється як надзвичайна, і тільки в 2014 році була вище середнього. Відносна горимість за площею в період з 1991-2000 рр. у більшість років була нижче середньої (табл. 4.6). З 2011 по 2020 рік в переважну більшість років відмічено низьку відносну горимість.

В останні 10 років максимальна кількість пожеж за рік не перевищувала 83 випадки, тобто це в декілька разів менше від попередніх двох періодів (Найбільше за період 1991-2000 рр. – 324 випадки, а 2001-2007 рр. також досить багато – 236 випадків). Також в останні роки помітно зменшилась і площа лісів пройдених пожежами. Вказане свідчить про ефективну роботу лісової охорони даного ДП «Жовтнєве ЛГ» щодо попередження і гасіння пожеж.

Переважна більшість – це низові пожежі. Верхові пожежі за період з 1989 до 2020 р. виникали поодинокі. У ДП «Жовтнєве ЛГ» такі випадки зафіксовано лише 26 та 28 квітня 2009 р., коли довго не могли локалізувати пожежу площею 3,5 га, і вона перейшла у верхову. Подібна ситуація склалася в ДП «Зміївське ЛГ» 13 та 14 червня 1996 р., коли сталося дві верхові пожежі площею 2 га. А на території лісів ДП «Харківська ЛНДС» не зафіксовано жодного випадку.

В усіх трьох підприємствах пожежний максимум припадає на період з квітня до вересня. Пожежний пік відзначено в травні: найбільший у ДП «Харківська ЛНДС» – 30 %, у ДП «Жовтнєве ЛГ» – 25 %, ДП «Зміївське ЛГ» – 21 % від кількості за весь пожежонебезпечний період (рис. 4.5).

У травні коли відбувається підвищення температури повітря, додаткову небезпеку становлять значні запаси сухої минулорічної трави, яку часто випалюють, що призводить до поширення вогню на лісові площі. Також у цьому місяці, крім вихідних, є 5–6 святкових днів, коли велика кількість людей відпочиває в лісі та часто нехтує правилами пожежної безпеки.

Таблиця 4.6 – Горимість лісів ДП «Жовтневе ЛГ»

Роки	По кількості випадків загорання			По площі, яка пройдена вогнем, га			Середня площа однієї пожежі, га
	Всього пожеж	На 1000га площі ЛФ	Відносна горимість	Загальна площа пожеж	На 1000га площі ЛФ	Відносна горимість	
1991	61	1,03	Над.	22,50	0,38	Н ср.	0,36
1992	147	2,48	Над.	24,45	0,41	Н ср.	0,16
1993	68	1,15	Над.	15,42	0,26	Н ср.	0,22
1994	317	5,36	Над.	53,95	0,91	Ср.	0,17
1995	146	2,47	Над.	13,41	0,23	Н ср.	0,09
1996	118	1,99	Над.	16,97	0,29	Н ср.	0,14
1997	73	1,23	Над.	8,66	0,15	Н ср.	0,11
1998	172	2,91	Над.	18,39	0,31	Н ср.	0,11
1999	324	5,48	Над.	28,51	0,48	Н ср.	0,08
2000	0	0		0	0	...	0
Σ 1991-2000	1426			202,3			
2001	67	1,13	Над.	3,73	0,06	Низ.	0,05
2002	123	2,08	Над.	3,84	0,06	Низ.	0,03
2003	46	0,78	Над.	1,63	0,03	Низ.	0,04
2004	49	0,83	Над.	1,85	0,03	Низ.	0,03
2005	211	4,39	Над.	6,61	0,11	Н ср.	0,03
2006	169	2,86	Над.	3,80	0,06	Низ.	0,02
2007	162	2,74	Над.	11,34	0,19	Н ср.	0,07
2008	112	2,33	Над.	10,99	0,23	Н ср.	0,10
2009	236	4,92	Над.	29,31	0,61	Н ср.	0,12
2010	200	4,17	Над.	29,13	0,61	Н ср.	0,15
Σ 2001-2010	1375			102,2			
2011	49	1,02	Над.	3,15	0,07	Низ.	0,06
2012	83	1,73	Над.	17,13	0,36	Н ср.	0,21
2013	28	0,58	Над.	1,24	0,03	Низ.	0,04
2014	3	0,06	В. ср.	0,04	0,01	Низ.	0,01
2015	56	1,17	Над.	3,9	0,08	Низ.	0,07
2016	19	0,40	Над.	1,34	0,03	Низ.	0,07
2017	53	1,10	Над.	7,24	0,15	Н ср.	0,14
2018	50	1,04	Над.	14,05	0,29	Н ср.	0,28
2019	23	0,48	Над.	1,87	0,04	Низ.	0,08
2020	32	0,67	Над.	2,7	0,06	Низ.	0,08
Σ 2011-2020	396			52,66		.	

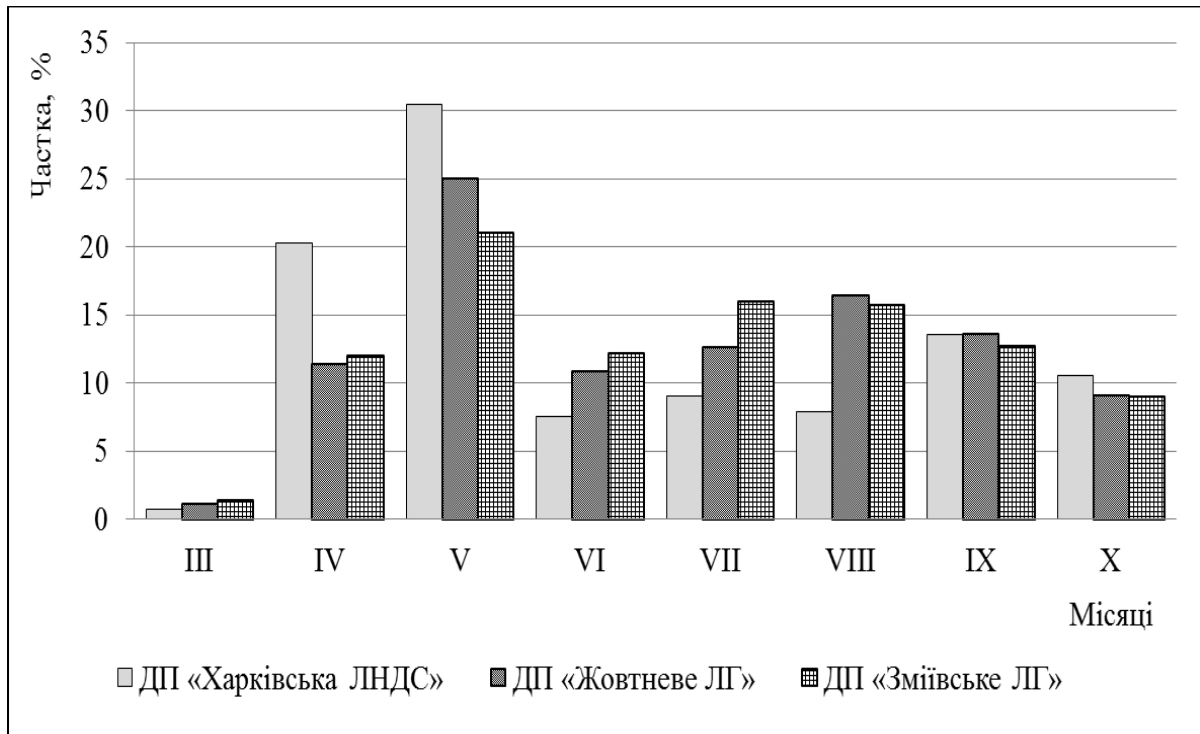


Рис. 4.5 – Розподіл кількості лісових пожеж за місяцями в досліджуваних лісогосподарських підприємствах

На початку літа кількість пожеж дещо зменшується оскільки молода рослинність стає бар'єром для горіння. Незважаючи на зростання середньодобової температури та зменшення відносної вологості повітря, частка пожеж у липні є незначною (від 7 до 12 %). У середині та наприкінці літа, через збільшення періоду з високою температурою та меншу кількість опадів, частота пожеж збільшується до 16 % у ДП «Жовтневе ЛГ» та ДП «Зміївське ЛГ». Високі середньодобові температури повітря та найвищий КПН в ці місяці є доволі тривалі. Подібними обставинами пояснюється зростання частки пожеж (13–14 %) у вересні. Пожежонебезпечний період найчастіше закінчується в жовтні з настанням стійкої дощової погоди. В цей місяць частка пожеж сягає 10 %.

Найменша частота виникнення пожеж відзначено в середині тижня – у четвер (9 – 11 %), що можна пояснити меншою відвідуваністю лісу населенням (рис. 4.6). У безпосередньо розташованому біля мегаполісу ДП «Харківська ЛНДС» найбільшу частку пожеж виявлено в передвихідний день – п'ятницю (17 %) та у вихідний день – суботу (18 %). В усі інші дні різниця була мінімальною (від 12 до 14 %). У двох інших, віддалених від мегаполіса ДП найбільша частка пожеж – від 18 до 19 % – зафіксовано в неділю. Високою була частка пожеж також у суботу та перші три робочих дні (від 14 до 15 %), коли після відпочинку на вихідних у лісі населення може лишати не загашені багаття.

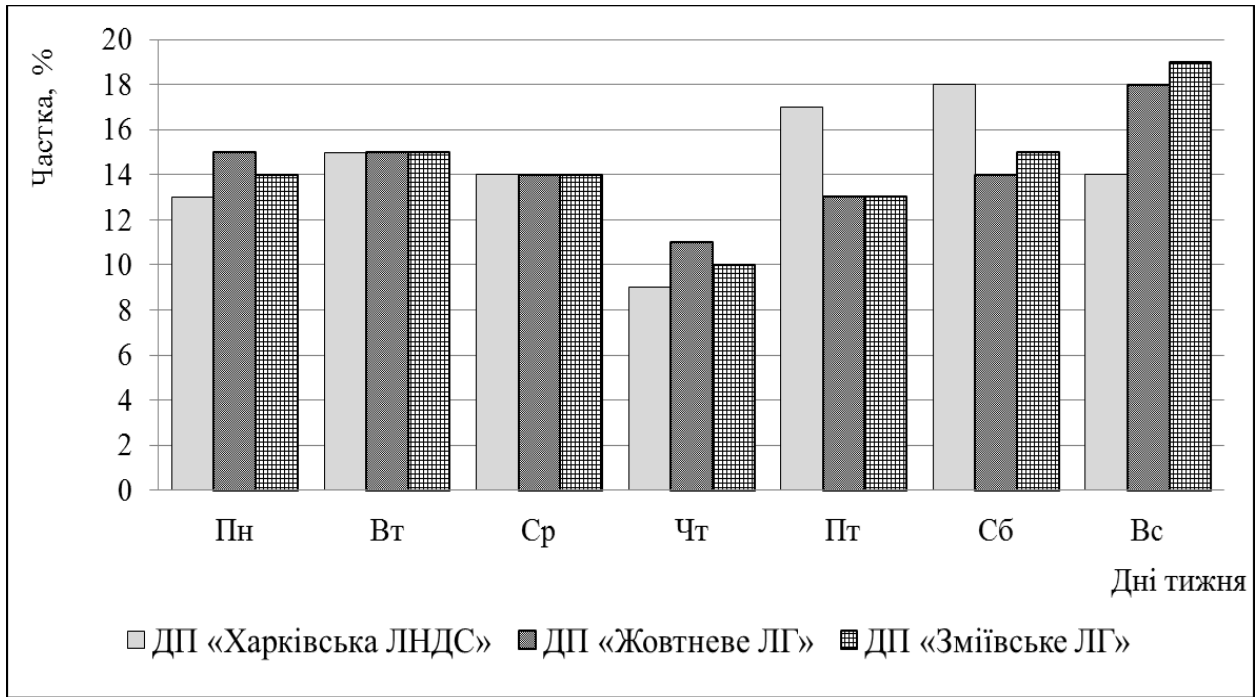


Рис. 4.6 – Розподіл кількості лісових пожеж за днями тижня

Максимальну кількість пожеж (рис. 4.7) у ДП «Жовтневе ЛГ» та ДП «Зміївське ЛГ» (25 %) зафіксовано від 14 до 16 години, а в ближче розташованому до міста Харків ДП «Харківська ЛНДС» більшість пожеж (39 %) від 12 до 14 години. Пожежі виникали і в нічний час (до 10 %), коли не до кінця погашене багаття призводило до нового займання.

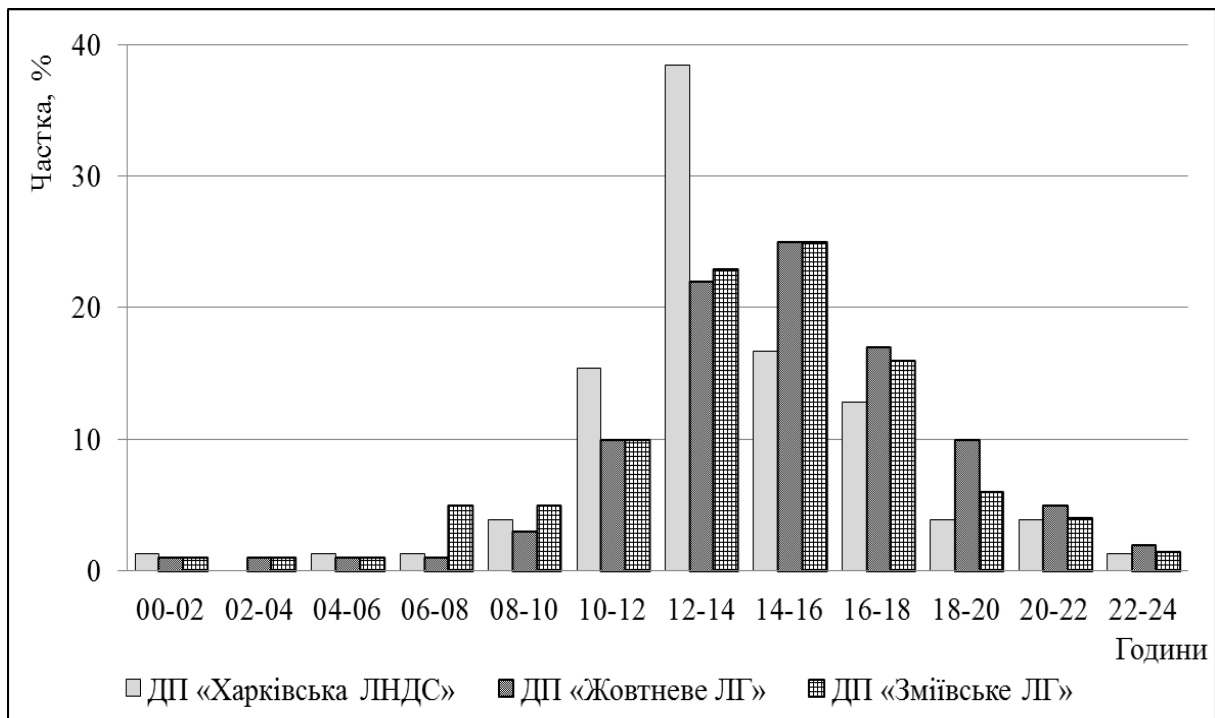


Рис. 4.7 – Розподіл лісових пожеж за годинами доби в ДП

В ДП «Жовтнєве ЛГ» та ДП «Зміївське ЛГ» (рис. 4.8) переважали пожежі із площею від 0,01 до 0,1 га (близько 81 %). Також близькими частки пожеж: від 0,1 до 0,5 га – 12 %, від 0,5,1 до 1 га – 3 %, від 1,1 до 5 га – 2 %. Пожежі площею від 5 до 10 га і понад 10 га були поодинокі й не перевищували 1 %, а в ДП «Жовтнєве ЛГ» пожеж площею понад 10 га не зафіксовано. У ДП «Харківська ЛНДС» пожежі площею від 0,01 до 0,1 га становили меншу частку – 51 %. Значною більша частота пожеж площею від 0,11 до 0,50 га (28 %) та від 0,51 до 1,00 га (12 %). На пожежі площею від 1,01 до 5,00 га припадало близько 8 %. Пожежі площею – понад 5 га (4 випадки) – зафіксовано у Липецькому л-ві в 1991 та 2009 рр.

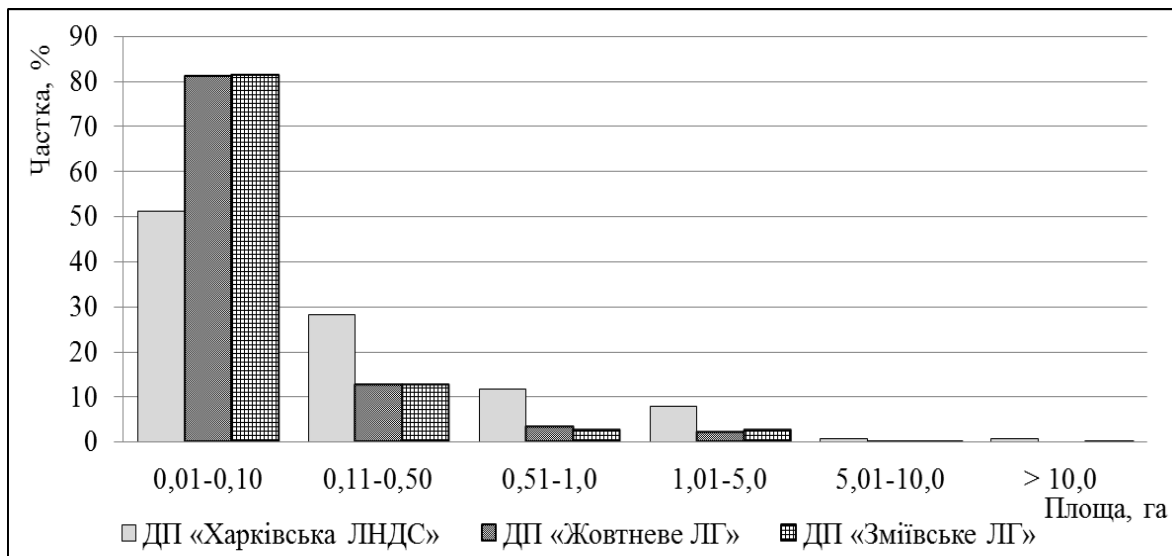


Рис. 4.8 – Розподіл лісових пожеж у досліджуваних лісогосподарських підприємствах за площею

Найбільш пожежонебезпечними є соснові насадження. В листяних лісах показники як за кількістю, так і за площею мінімальні (рис. 4.9, 4.10).

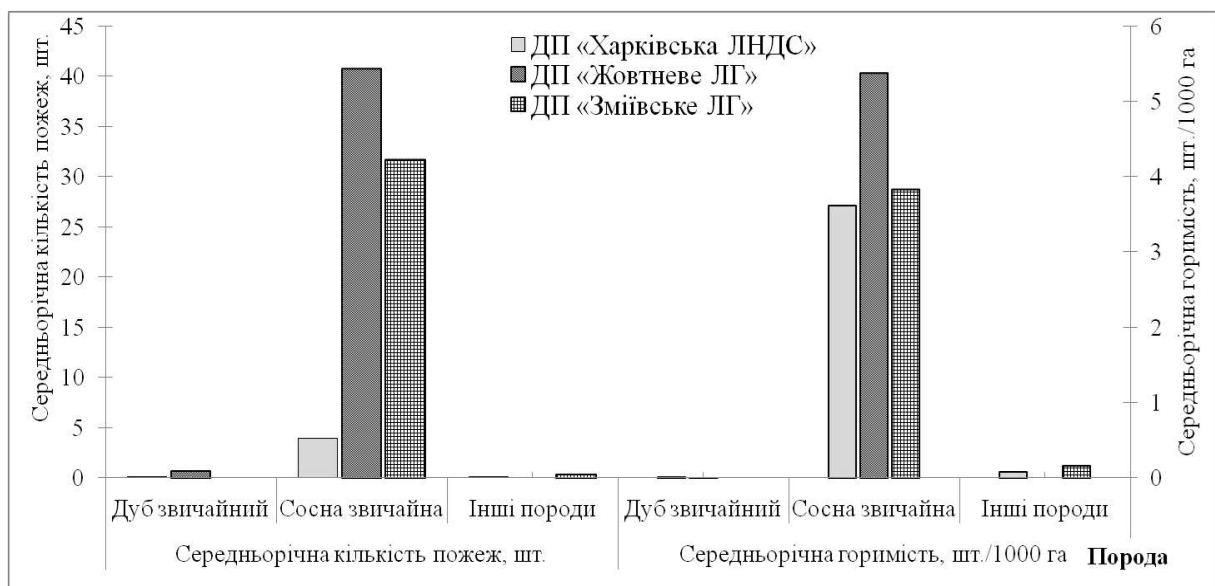


Рис. 4.9 – Кількість пожеж та горимість за випадками на 1000 га насаджень

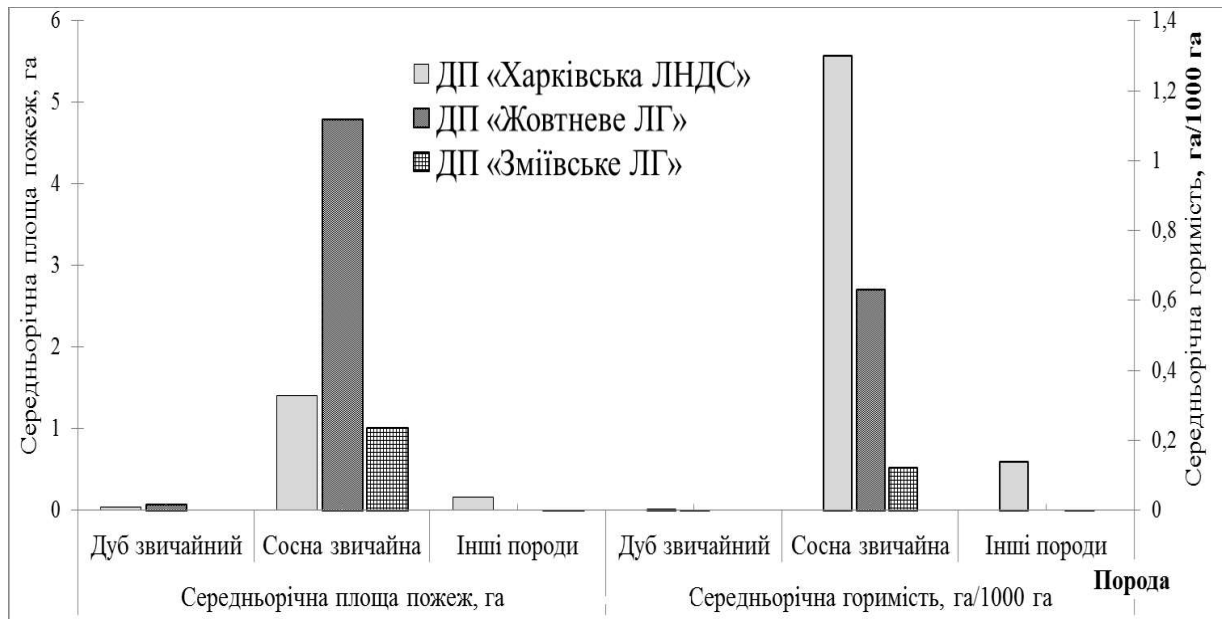


Рис. 4.10 – Площа пожеж та горимість за площею на 1000 га насаджень

У всіх трьох ДП середньорічна кількість пожеж на 1000 га сосняків складає – від 3,5 до 5,5 випадків/1000 га. За площею на 1000 га найбільшого впливу пожеж зазнає ДП «Харківська ЛНДС» – 1,3 га/1000 га. У ДП «Зміївське ЛГ» цей показник значно менший – 0,1 га/1000 га (рис. 4.11).

Найчастіше горять насадження в найбільш поширеному ТЛУ – свіжому суборі (В₂). Загроза виникнення вогню та його поширення на значну площу у свіжому суборі в ДП «Зміївське ЛГ» та ДП «Жовтневе ЛГ» схожа до загрози в більш пожежонебезпечному свіжому борі (А₂). У сосняках ДП «Харківська ЛНДС» найбільш пожежонебезпечним є сухий субір (В₁), але й інші умови є доволі пожежонебезпечними (рис. 4.11, 4.12).

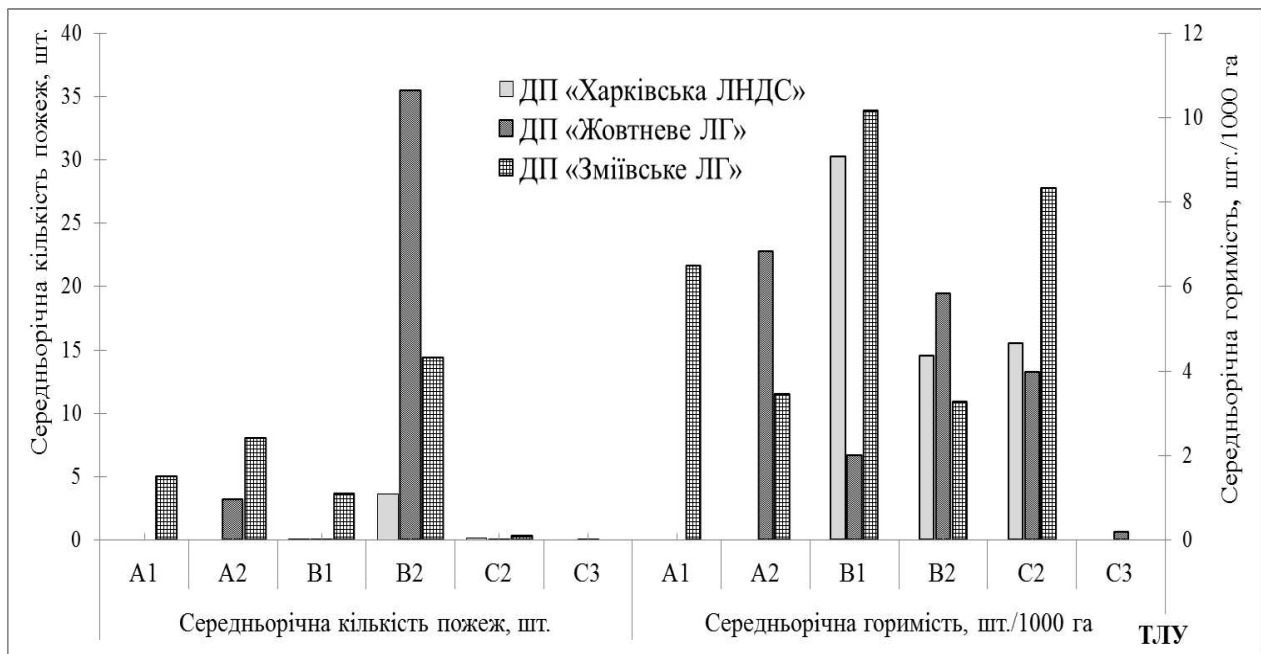


Рис. 4.11– Середньорічні кількість пожеж та горимість за кількістю на 1000 га сосняків у різних ТЛУ

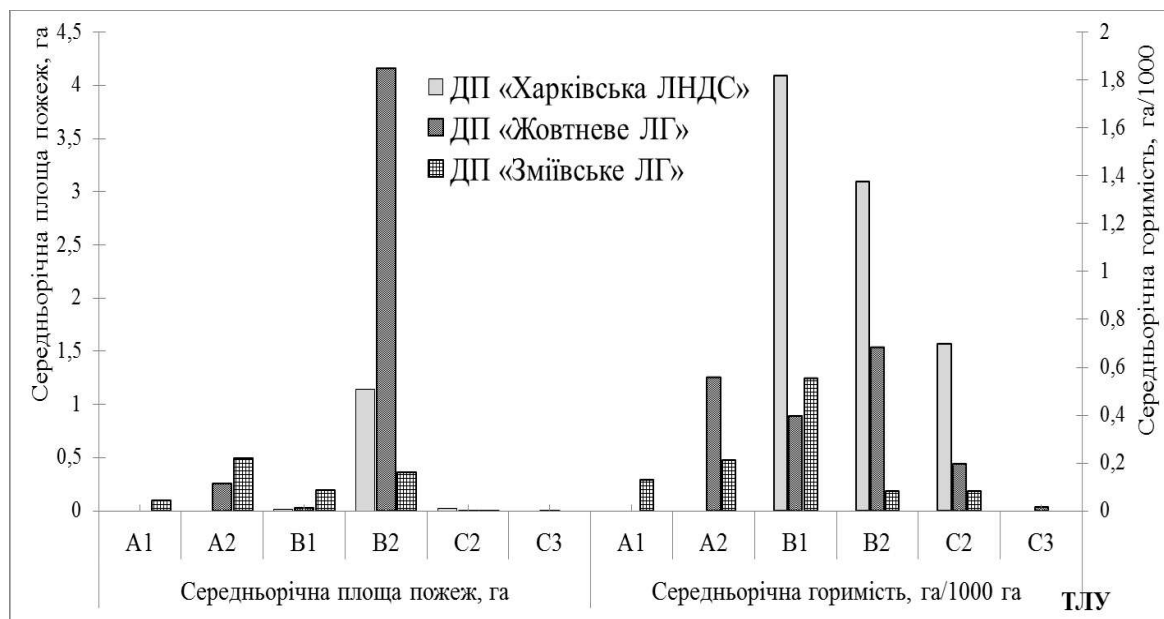


Рис. 4.12 – Середньорічні площа пожеж та горимість за площею на 1000 га сосняків у різних ТЛУ

Найбільшу середньорічну кількість (від 4 до 37 випадків) та площу пожеж (від 1,4 до 3,9 га) виявлено у найпоширеніших середньовікових деревостанах усіх підприємств. Перевищення горимості за кількістю випадків було незначним. Подібні показники (від 2 до 4 випадків) відзначено в молодняках I і II класів (2 та 3 випадки відповідно), у пристиглих (3 випадки) та в стиглих (5 випадків) деревостанах ДП «Зміївське ЛГ», а також у молодняках I класу (3 випадки) і стиглих деревостанах (3 випадки) ДП «Жовтневе ЛГ» (рис. 4.13).

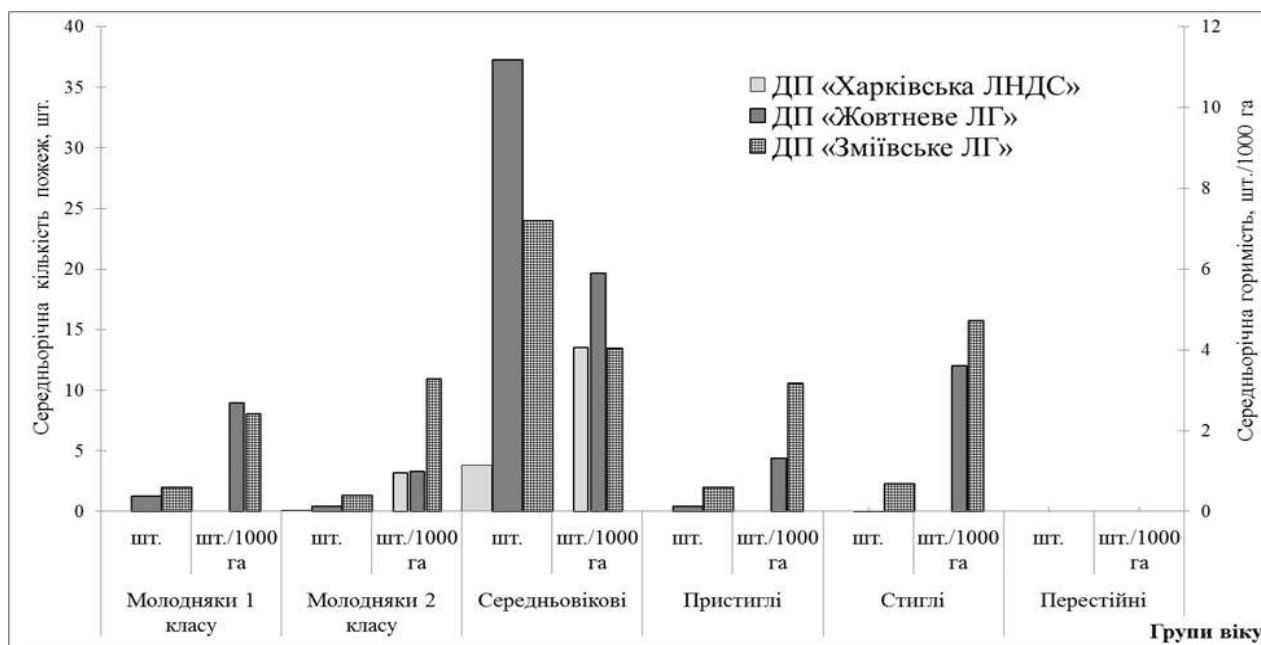


Рис. 4.13 – Середньорічні кількість пожеж та горимість за кількістю на 1000 га сосняків, різних за віковими групами

Аналіз показників середньорічної горимості насаджень виявив, що в ДП «Харківська ЛНДС» найчастіше горять середньовікові деревостани (1,42 га/1000 га), тоді у інших вікових груп показники є набагато меншими. Високі показники в молодняках – 0,72 та 1,0 га/1000 га у ДП «Жовтнєве ЛГ» свідчить про високу небезпеку поширення в них вогню (рис. 4.14).

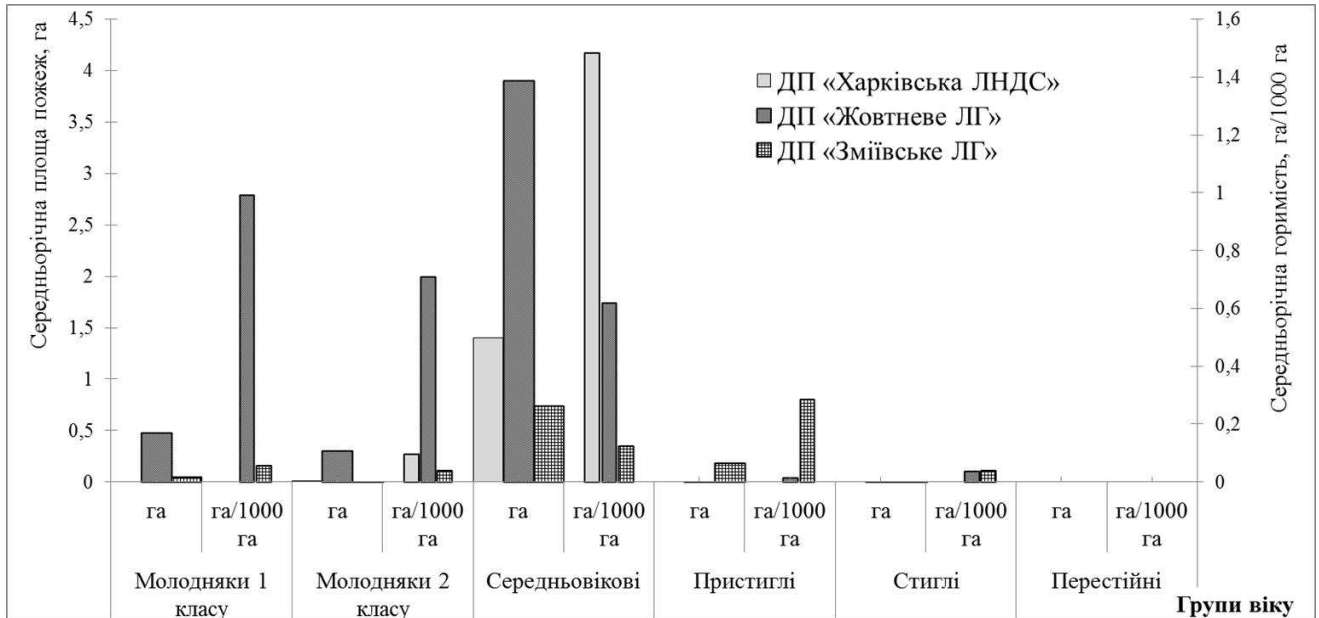


Рис. 4.14 – Середньорічні площа пожеж та горимість за площею на 1000 га сосняків, різних вікових груп

Основна частка пожеж як за кількістю, так і за площею припадає на сосняки з повнотою від 0,7 до 0,8 (рис. 4.15, 4.16). Найбільша горимість низькоповнотних деревостанів (0,5 та 0,6).

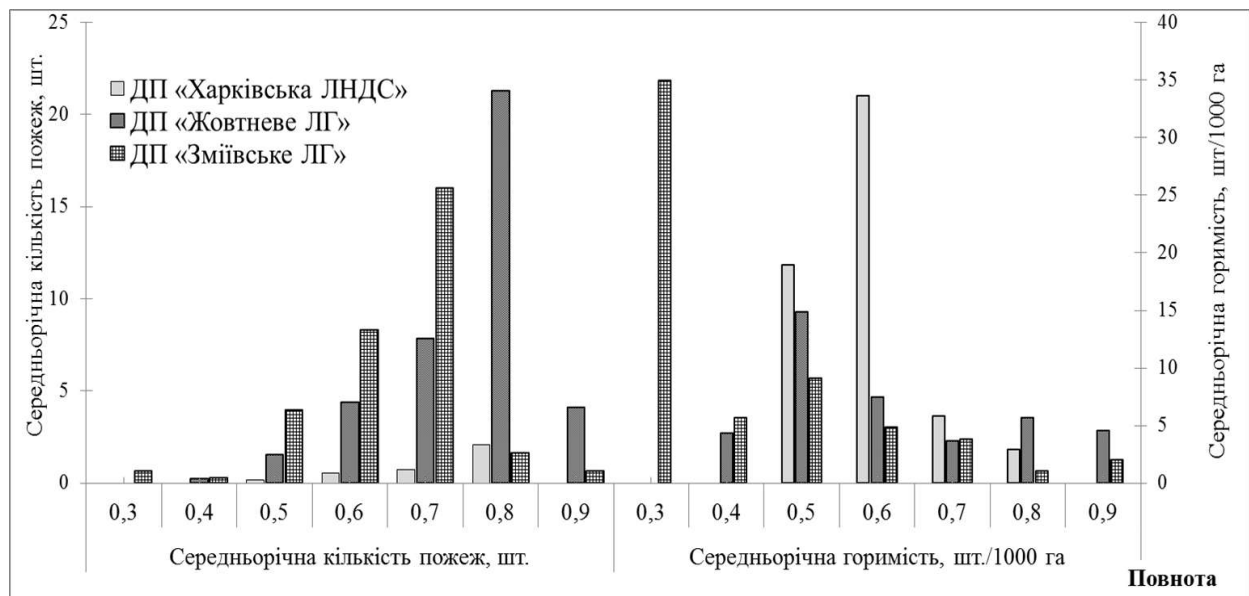


Рис. 4.15 – Середньорічні кількість пожеж та горимість за кількістю на 1000 га сосняків, різних за повнотою

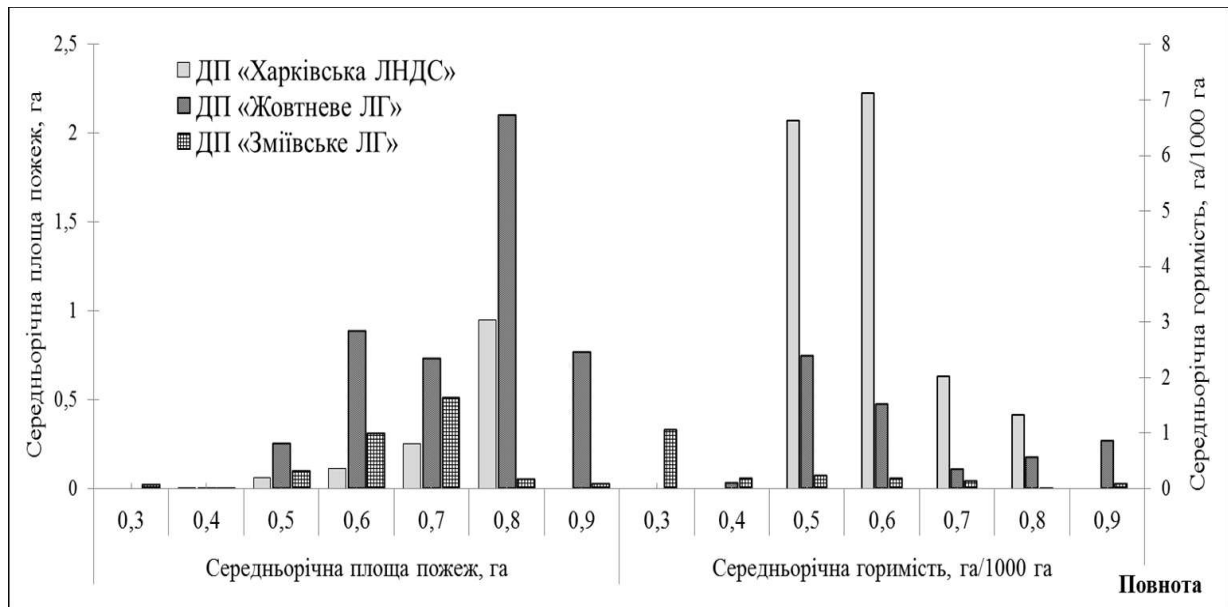


Рис. 4.16 – Середньорічні площа пожеж та горимість за площею на 1000 га сосняків, різних за повнотою

Квартали в яких найчастіше трапляються пожежі як айняті сосняками та межують із залізничною колією, автомобільною трасою, луками і сільськогосподарськими угіддями або населеним пунктом. Так в Бабаївському ліс-ві і ДП «Жовтнєве ЛГ» 57 % усіх зареєстрованих пожеж відбулися в семи кварталах (№ 6, 22, 23, 26, 27, 30, 31).

4.2 Зміни кислотності ґрунтів сосняків пошкоджених пожежами

Під час досліджень впливу пожеж на лісові екосистеми найчастіше акцентують увагу на зміні мікробіологічної активності та режиму живлення рослин, у той час як зміни хімізму ґрунтів практично залишаються поза увагою.

Для дослідження впливу пожеж різної інтенсивності на зміни хімізму ґрунтів було закладено ППП у чистих середньовікових соснових насадженнях (Васищевське л-во, ДП «Жовтнєве ЛГ»), які росли в ТЛУ В₂ і в яких виявлено як повне вигорання підстилки, так і часткове. Ці дані порівнювали з даними з непошкодженої ділянки в подібних насадженнях (контроль).

За результатами досліджень зміни кислотності ґрунтів сосняків, пошкоджених низовими пожежами, виявлено, що значення рН попелу підстилки, яка згоріла повністю або частково, у перші дні після пожежі становило від 7,00 до 8,70. Через два тижні після пожежі для підстилки, що згоріла частково, показник рН попелу становив 6,20, а для тієї, що повністю згоріла – 6,85. Через три місяці після пожежі показник рН залишків попелу суттєво знизився: для варіанту із повним вигоранням – до 5,70, для варіанту з частковим вигоранням – 4,48. Це значення було практично близьким до кислотності дернових слабозвинених опідзолених ґрунтів, значення рН верхнього горизонту яких становило від 4,52 до 4,67 (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – рН ґрунтів пошкоджених низовими пожежами сосняків

Глибина відбору, см	рН водного розчину		
	Період після пожежі, днів		
	2	14	90
Контроль			
0	–	4,67	4,48
5	–	4,62	4,62
10	–	4,52	4,52
Підстилка частково згоріла			
Попіл	7,0	6,20	4,48
0	–	4,75	4,65
5	–	4,35	4,58
10	–	4,54	4,82
Підстилка повністю згоріла			
Попіл	8,7	6,85	5,70
0	–	6,34	4,58
5	–	4,50	4,74
10	–	4,46	4,64

рН верхнього шару (0–5 см) гумусового горизонту після пожежі при повного згоряння підстилки збільшується до 6,34, а при частковому лише до 4,75, що близьке до контролю (4,62). Через три місяці рН зменшилося: при повному згоряння – до 4,58, а при частковому – до 4,65.

Причиною зменшення кислотності у ґрунті після пожежі є збільшення вмісту водорозчинних лужних катіонів і гідрокарбонатів катіонів. Про те таке збільшення відзначали лише у верхньому шарі 0–5 см. Так, сумарний уміст лужних катіонів у попілі після повного згоряння підстилки становить 2,39 мг·екв./100 г ґрунту, що є майже у 8 разів більшим, ніж у верхньому горизонті ґрунту. Уміст калію був у 14 разів, кальцію – в 10 разів, а натрію і магнію – в 6 разів більшим, ніж у ґрунті, а вміст гідрокарбонатів збільшився у 21 раз.

У ґрунтах, де підстилка згоріла частково, через два тижні відзначено зростання вмісту гідрокарбонатів у 4,5 разу, через три місяці – зростання вмісту лужних катіонів і гідрокарбонатів у 2–4 рази. Тобто на момент першого аналізу попелу лужні елементи, завдяки підстилці, не були вимиті і не потрапили до ґрунту. Зовсім інші тенденції виявлено в ґрунтах, на яких підстилка згоріла повністю. Загальний уміст лужних катіонів збільшився у 33 рази проти контролю. Особливо значні зміни характерні для кальцію. Суттєво збільшився вміст гідрокарбонатів. Хоча в ґрунтах через три місяці, відбулося значне зменшення вмісту лужних катіонів (за винятком натрію), їхній рівень значно перевищував контроль.

Оскільки збільшення рН ґрунтів є одноразовим, то в подальшому відбувається поступове вимивання цих елементів. Значення рН вже через певний час наближується до природного, особливо у глибших шарах ґрунту.

4.3 Вплив низових пожеж на лісові екосистеми

4.3.1 Зміни стану соснових молодняків

Досліджували наслідки пожежі в 12 річному сосновому молодняку, яка сталася наприкінці травня 2011 р. у Васищевському л-ві ДП «Жовтнєве ЛГ» (кв. 91, вид.5). Оскільки вологість підстилки та трав'яного покриву була низькою пожежа розвивалася доволі швидко й спричинила сильне пошкодження деревостану (рис. 4.17).



Рис. 4.17 – Пошкодження низовою пожежею сосного молодняку

Стан насадження через два місяці після пожежі (табл. 4.8) на ПП № 1 оцінено як «усихаючий», на ПП № 2 – як «сильно ослаблений». Такому пошкодженню сприяла низька висота до першої живої гілки (від 0,4 до 0,6 м), тоді як середня висота нагару становила 1,1 м (максимальне значення – 4,5 м). Така висота полум'я могла призвести до верхової пожежі. Проте цього не сталося, оскільки стовбури, бруньки та хвоя мали високу вологість, а пагони ще не сформувалися (рис. 4.18). Некроз хвої розповсюджувався знизу вгору.

Таблиця 4.8 – Санітарний стан 11-річного сосняку в рік пожежі

№ ППП	$D_{сер}$, см	$H_{сер}$, м	$H_{наг}$, м	Дех., %	I_c		Розподіл дерев за категоріями санітарного стану (через 5 місяців), %					
					через два місяці	через п'ять місяців	I	II	III	IV	V	VI
1	5,3	3,8	1,2	69,4	3,6	3,8	0	14	33	27	26	0
2	7,3	4,1	0,9	53,0	3,2	3,4	4	14	48	26	8	0
К	5,5	4,0	–	–	1,5	1,5	70	15	13	2	0	0



Рис. 4.18 – Пошкодження пагонів сосни низовою пожежею

Тепловипромінювання спричинило дехромацію крони на висоті, яка не перевищувала максимальної висоти нагару. Дехромація хвої при висоті вище за рівень нагару на стовбурі, є наслідком дії конвентивного теплового потоку. При цьому дехромація половини дерев становила понад 70 %. Як видно з таблиці 4.8, за два місяці після пожежі стан деревостану на ділянці погіршився.

Частка всихаючих дерев і свіжого сухостою на ППП 1 становила 53 %, на ППП 2 – 34 %, сильно ослаблених – відповідно 33 та 48 %. Здорові дерева на ППП 1 відсутні, а на ППП 2 їх було лише 4 %. Рівень дехромації ослаблених дерев становив 10–40 %, сильно ослаблених – 10–80, всихаючих – 60–90 % (табл. 4.9). Між дехромацією та станом дерев існує пряма кореляційна залежність ($r = 0,92$; $p = 0,05$).

Таблиця 4.9 – Розподіл дерев різних категорій санітарного стану за ступенем дехромації крони через два місяці після пожежі

Категорія санітарного стану	Дехромація крони, %									
	0–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
I	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
II	0,3	4,2	8,9	1,3	–	–	–	–	–	–
III	–	0,3	1,6	8,9	4,3	6,2	9,4	6,6	–	–
IV	–	–	–	–	–	–	0,3	9,4	10,1	4,3
V	–	–	–	–	–	–	–	–	–	24,2
Загалом	0,3	4,5	10,5	9,9	4,3	6,2	9,7	16,0	10,1	25,7

Між станом дерев і відносною висотою нагару на стовбурах виявлено достовірну кореляційну залежність ($r = 0,86$; $p = 0,05$). Ослаблення дерев

відбувалося вже при відносній висоті нагару 5 %. Нижній рівень пошкодження сильно ослаблених та всихаючих дерев становив 30 і 40 % відповідно. Дерев всихали, коли пошкодження стовбура пожежею було понад 70 % (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Розподіл дерев за категоріями санітарного стану та відотною висотою нагару в сосновому молодняку в рік пожежі

Категорія санітарного стану	Відносна висота нагару на стовбурах, %									
	0–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
I	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
II	0,4	4,4	3,6	4,4	1,2	0,4	–	–	–	–
III	–	–	–	11,7	7,6	10,9	4,0	1,6	0,8	–
IV	–	–	–	–	2,4	3,6	4,0	6,8	4,0	3,2
V	–	–	–	–	–	–	–	1,6	0,8	22,6
Усього	1,6	5,2	3,6	16,1	9,2	14,8	8,0	10,0	5,6	25,8

Зазначені рівні дехромації крони та пошкодження стовбура були летальними в перші три місяці після пожежі.

Найбільшу інтенсивність усихання (рис. 4.19) відзначено в рік пожежі (23,8 % від загальної кількості дерев). Відпад перевершував природний у три з половиною рази. На другий рік після пожежі всохло лише 5,4 % дерев. У наступному році процес усихання майже припинився: усохло лише 0,6 % дерев.

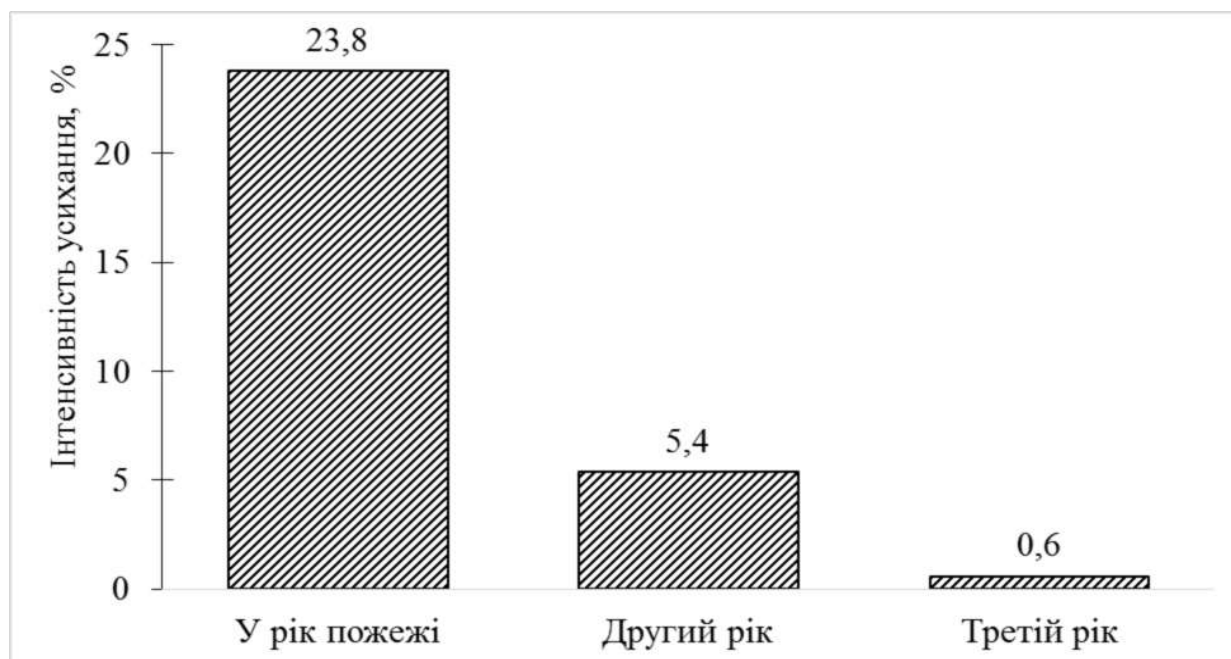


Рис. 4.19 – Інтенсивність відпаду дерев у сосновому молодняку після пожежі

Динаміка стану дерев мала тенденції, що змінювалися впродовж трьох років після пожежі. У рік пожежі погіршувався стан і всихали дерева, які отримали летальні пошкодження. Наприклад, за період із липня до кінця вересня з II категорії санітарного стану до III перейшли 65 % дерев, із III до IV – 12 %, із IV до V – 22 %. На другий рік процеси погіршення стану та всихання

дерев тривали з меншою інтенсивністю. Так, із II категорії санітарного стану (КС) до III перейшли 7 % і ще 3 % – до IV; із III до IV категорії перейшли 3,5 %, а 3 % усохли. Із категорії IV усохли 13 %. Також відбувалося покращення стану ослаблених (14 % перейшло до I КС) і сильно ослаблених (7 % – до III КС) дерев, і навіть 28 % дерев із IV КС перейшли до III КС. Стан крон дерев, які не отримали летального пошкодження, після опадання червоно-бурої некротичної хвої й утворення нової зеленої хвої значно покращився.

Оскільки пошкодження хвої відбувалося поступово з низу до гори, на нижній частині крон дерев гілки були переважно голі і сухі. На гілках верхньої не пошкодженої частини крон, утворилася нова хвоя, яка мала зелене забарвлення й майже не відрізнялася від хвої не пошкоджених вогнем дерев.

Упродовж третього року після низової пожежі не виявлено негативного впливу отриманих пошкоджень на розвиток дерев. Якщо в перші два роки після пожежі всихали дерева III–IV КС, то на третій рік – лише IV КС, тобто рівень пошкодження сильно ослаблених дерев на третій рік після пожежі не став летальним. Відзначено інтенсивне покращення санітарного стану. Так, 78 % дерев II КС і 16 % III КС перейшли до категорії здорових. До II КС перейшли 41 % дерев із III КС і навіть 5 % із IV. На четвертий рік відзначено поодинокі випадки покращення санітарного стану пошкоджених дерев.

Водночас відбувався інтенсивний процес переходу дерев із категорії усихаючих до сильно ослаблених та ослаблених. Більшість дерев (63 %), стан яких в рік пожежі було оцінено як IV КС, відновилися. Лише 12 % дерев IV КС усохли. Тобто рівень дехромації крони понад 66 % не завжди був летальним.

Високі значення дехромації зафіксовано навіть за відносного нагару ($H_{відн}$) – до 30 % – (при $H_{відн.} = 24,9\%$ дехромація становила 63,4 %), тобто крона пошкоджувалася конвективний тип переносу тепла. Якщо $H_{відн}$ перевищувало 60 %, пошкодження крони становило 90–100 % (рис. 4.20).

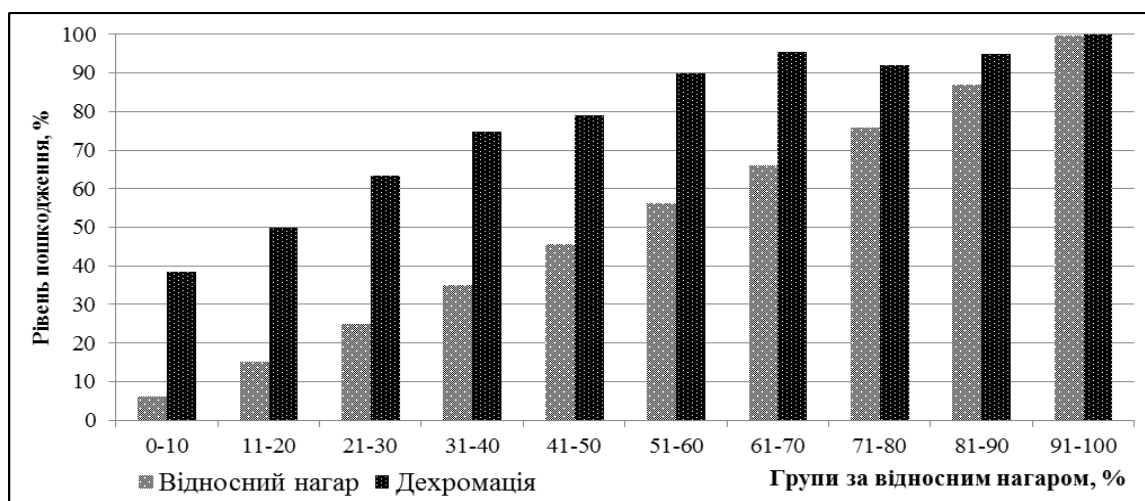


Рис. 4.20 – Розподіл дерев із різною відотною висотою нагару за рівнем пошкодження крони в сосновому молодняку

Встановлено пряму достовірну кореляційну залежність ($r = 0,66$; $n = 463$; $p = 0,05$) між дехромацією та відотною висотою нагару.

Розмір підсушин (рис. 4.21) найбільше залежала від діаметра дерев (діаметр є показником вогнестійкості дерева: чим більшим є діаметр, тим більша товщина кори і тим стійкішим є дерево) та від середньої висоти нагару (чим більша висота нагару на стовбурі, тим більші розміри підсушин).



Рис. 4.21 – Післяпожежна підсушина на стовбурі 12-річної сосни

Множинним регресійним аналізом встановлено помірний прямий достовірний зв'язок ($r = 0,46$; $p = 0,05$) між розміром підсушин та діаметром і середньою висотою нагару дерева, який описує рівняння (4.2):

$$y = 0,1039 - 0,0234 \times d + 0,2852 \times H_{\text{сер н}} \quad (4.2)$$

де y – довжина післяпожежної підсушини, м;

d – діаметр дерева, см; $H_{\text{сер н}}$ – середня висота нагару, м.

У молодняку виявлено два типи пошкодження дерев і їхні візуальні прояви – дехромацію крони та пошкодження стовбура (табл. 4.11).

Розподіл усохлих дерев за ступенем пошкодження крони та стовбура дав змогу зробити висновок, що навіть незначні пошкодження спричиняли всихання. У рік пожежі вже за відносної висоти нагару 31–40 % всихали понад 25 % дерев – п'ята частина за запасом, на другий і третій роки після пожежі – більш ніж третина за кількістю (24 % за запасом). Летальним рівнем пошкодження стовбура є відносна висота нагару на деревах 61–70 %, коли гинули 81,8 % дерев за кількістю та 70 % за запасом.

Незначні пошкодження хвої дерев зазвичай не призводили до всихання. Так, за дехромації крони 51–60 % всихали 8 % дерев (1 % за запасом). Всихання значної кількості дерев можливе за дехромації крони понад 80 %. За дехромації 91 і 100 % дерева не відновлювалися внаслідок чого всохло 97 % дерев.

Таблиця 4.11 – Розподіл усохлих дерев за кількістю та запасом залежно від типу та величини пошкодження в сосновому молодняку

Рівень пошкодження, %	Розподіл усохлих дерев, %											
	Рік пожежі				Другий рік				Третій рік			
	<i>N_{відн.}</i>		<i>Дех.</i>		<i>N_{відн.}</i>		<i>Дех.</i>		<i>N_{відн.}</i>		<i>Дех.</i>	
	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>M</i>
0–10	8	1	0	0	9	2	0	0	11	2	0	0
11–20	9	1	0	0	17	5	0	0	17	5	0	0
21–30	9	1	0	0	18	25	0	0	19	27	0	0
31–40	25	20	0	0	34	24	0	0	34	24	0	0
41–50	35	32	0	0	44	43	0	0	44	43	0	0
51–60	71	75	0	0	74	78	8	1	74	78	8	1
61–70	82	70	3	1	82	70	10	4	82	70	10	4
71–80	–	–	4	1	–	–	20	12	–	–	22	13
81–90	–	–	38	42	–	–	45	45	–	–	53	46
91–100	94	88	94	96	94	88	100	100	94	88	100	100

Примітка. Дех. – дехромація крони, %; *N* – частка дерев, %; *M* – частка за запасом, %.

Різниця між відпадом за кількістю дерев та за їхнім запасом пояснюється тим, що насамперед гинуть пригнічені, менші за розміром дерева. Встановлено, що дерева I–III КК мали індекс стану в межах 2,32 – 2,38, тобто були ослабленими, тоді як дерева IV КК мали індекс стану 4,17.

Результати однофакторного дисперсійного аналізу підтвердили гіпотезу про залежність санітарного стану пошкоджених дерев від класу Крафта. Сила впливу цього фактора $\eta^2_x = 30,4 \% \pm 0,0073$ при $F_f = 41,23$ ($F_f > F_{st}$ на рівні значущості 99 %) була помірною та достовірною. Результати дисперсійного аналізу свідчать, що для побудови регресійних моделей варто брати до уваги лише панівні дерева (I–III класи Крафта). Дереву IV і V класів Крафта потенційно не мають перспективи відновлення, отже відводити їх у рубку доцільно за мінімальних пошкоджень.

Для дерев I–III КК критичною була відносна висота нагару понад 31 % (табл. 4.12), при цьому всихали понад 8,3 % дерев. Пригнічені дерева інтенсивно всихали навіть при пошкодженні до 10 % всихали 25 % дерев.

Для дерев I–III КК лімітувальною є дехромація крони понад 61 % (табл. 4.12), при цьому всихають 6,7–7,7 % дерев. Усихання пригнічених дерев IV–V класів Крафта, які зазнали навіть незначних пошкоджень, відбувалося інтенсивно. Тобто найбільш розвинені високі дерева є стійкішими до пошкоджень пожежами, тоді як пригнічені в рості дерева всихають навіть за мінімального рівня пошкодження.

Використовуючи дехромацію як критерій діагностики (табл. 4.13), встановлено, що всихання дерев I–II класів Крафта відбувалося інтенсивно за її рівня 91–100 %. Для дерев III класу Крафта критичним був дещо нижчий рівень пошкодження – від 81 %. Для відсталих у рості дерев критичним став рівень пошкодження 61–70 %, хоча усихання відзначали вже за дехромації 21–30 %.

Таблиця 4.12 – Зміна стану дерев і частка відпаду в сосновому молодняку залежно від відносної висоти нагару

$H_{\text{відн.}}, \%$	Клас Крафта					
	I–II		III		IV–V	
	I_c	Частка сухостою, %	I_c	Частка сухостою, %	I_c	Частка сухостою, %
0–10	2,1	0,0	2,2	0,0	2,9	25,0
11–20	2,5	6,0	2,6	11,3	3,8	51,5
21–30	2,5	0,0	2,9	17,0	4,0	52,4
31–40	3,2	8,3	3,4	19,4	4,3	68,8
41–50	3,5	25,0	3,6	37,5	3,8	66,7
51–60	3,7	44,4	4,4	71,4	4,6	75,1
61–70	3,9	50,0	5,0	100,0	4,8	75,0
71–80	–	–	5,0	100,0	5,0	100,0
81–90	–	–	5,0	100,0	5,0	100,0
91–100	–	–	5,0	100,0	5,0	100,0

Таблиця 4.13 – Зміни стану та частки відпаду в сосновому молодняку залежно від ступеня пошкодження крони

Дехро- мація, %	Клас Крафта					
	I–II		III		IV–V	
	I_c	Частка сухостою, %	I_c	Частка сухостою, %	I_c	Частка сухостою, %
0–10	2,0	0	1,5	0,0	2,3	0,0
11–20	1,3	0	1,8	0,0	2,8	0,0
21–30	1,9	0	2,1	0,0	2,2	10,0
31–40	2,0	0	2,0	0,0	2,2	14,7
41–50	2,5	0	2,5	6,0	2,4	15,4
51–60	2,5	0	2,4	6,4	2,3	16,1
61–70	2,2	0	2,8	7,7	3,0	33,3
71–80	3,1	10	3,1	11,4	3,7	37,5
81–90	3,4	10	3,7	26,5	4,1	53,3
91–100	5,0	100	5,0	100,0	5,0	100,0

Дані таблиць (табл. 4.11–4.13) призначені для прогнозування відпаду в 11-річних сосняках на 1-й, 2-й, 3-й роки після низової пожежі на рівні «насадження», тобто для прогнозування відпаду як за кількістю, так і за запасом, для швидкого прийняття рішень щодо призначення лісгосподарських заходів. Натомість для прогнозування всихання кожного з дерев індивідуально ці таблиці використовувати недоцільно, оскільки вони не забезпечують необхідної точності.

Було проведено кореляційний аналіз (табл. 4.14) з метою відбору кращих предикторів для побудови логістичної регресійної моделі. Перші три показники – «діаметр», «висота» та «клас Крафта» – визначено як показники вогнестійкості дерева. Натомість максимальна висота нагару, відносна висота нагару та дехромація крони є факторами, що спричиняють погіршення стану та загибель дерев. Характерною закономірністю є те, що через два роки після

пошкодження тіснота зв'язку між станом і предикторами, що є показниками вогнестійкості, збільшується, тоді як між факторами пошкодження та станом, навпаки, послаблюється.

Таблиця 4.14 – Кореляційні зв'язки між станом і потенційними змінними, які можуть бути застосовані для побудови моделей

Змінна	Стан дерев через два місяці	Стан дерев через два роки
	Коефіцієнт кореляції, r (значущий при $p = 0,01$)	
Діаметр D , см	-0,27	-0,38
Висота дерева H , м	-0,32	-0,41
Клас Крафта	0,28	0,36
Висота нагару, $H_{\text{наг}}$, м	0,48	0,39
Відносна висота нагару $H_{\text{відн.}}$, %	0,59	0,55
Дехромація крони D , %	0,88	0,77

Для потреб лісового господарства доцільним є прогнозування зміни стану та ймовірності усихання дерев із моменту їхнього пошкодження до двох років після пожежі. Тому за основу регресійних моделей було взято залежну змінну – стан через два роки після пожежі, предикторами – дехромацію, максимальну висоту нагару, відносну висоту нагару, діаметр і висоту дерева, клас Крафта (табл. 4.15).

Отримані моделі не дають можливості прогнозувати категорію стану для кожного дерева, але їх можна використовувати для прогнозування індексу стану всього деревостану.

Таблиця 4.15 – Регресійні рівняння стану на третій рік після пожежі

Модель*	Регресійні рівняння	R^2	r	F_f	F_{st}	S
1	$y = 1,36 + 0,038 D$	0,61	0,78	727,00	1,47	0,89
2	$y = 2,629 - 0,267H + 0,035 D$	0,64	0,80	428,22	2,47	0,85
3	$y = 2,25 - 0,145 \times d + 0,035 D$	0,64	0,80	420,18	2,47	0,85
4	$y = 0,666 + 0,277 \times K + 0,036 D$	0,63	0,79	399,31	2,47	0,87
5	$y = 2,719 + 0,0357 H_{\text{відн.}}$	0,31	0,56	210,65	1,47	1,19
6	$y = 4,01 + 0,035 H_{\text{відн.}} - 0,255 d$	0,44	0,66	188,99	2,47	1,07
7	$y = 4,47 + 0,033 H_{\text{відн.}} - 0,41 H$	0,43	0,66	175,11	2,47	1,09
8	$y = 1,38 + 0,009 \times H_{\text{відн.}} + 0,034 \times D$	0,61	0,78	368,75	2,47	0,89
9	$y = 2,355 - 0,16 \times d + 0,0297 D + 0,0119 H_{\text{відн.}}$	0,66	0,81	307,64	3,47	0,83
10	$y = 4,67 - 0,118 \times d - 0,405 \times H + 0,345 \times H_{\text{наг}} - 0,296 \times K + 0,029 \times D$	0,67	0,82	192,81	5,47	0,82

Примітка. *Модель включає такі предиктори: 1 – дехромація; 2 – висота дерева та дехромація; 3 – дехромація та діаметр; 4 – дехромація та клас Крафта; 5 – відносна висота нагару; 6 – відносна висота нагару й діаметр; 7 – відносна висота нагару й висота дерева; 8 – дехромація й відносна висота нагару; 9 – дехромація, відносна висота нагару й діаметр; 10 – діаметр, висота дерева, максимальна висота нагару, клас Крафта й дехромація.

Включення усіх предикторів до моделі, як видно з таблиці 4.16, не забезпечило суттєвого покращення її якості. У зв'язку з цим було розраховано кореляційні співвідношення між предикторами для відсіювання змінних, які найбільше корелювали між собою.

Таблиця 4.16 – Кореляційні залежності між потенційними предикторами

Предиктор	D , см	H , м	$H_{\text{наг}}(\text{max})$, м	$H_{\text{відн.}}$, %	КК	Д
Діаметр D , см	1,00	0,86	0,33	-0,01	-0,81	-0,23
Висота дерева H , м	0,86	1,00	0,26	-0,12	-0,93	-0,27
Максимальна висота нагару $H_{\text{наг. (max)}}$, м	0,33	0,26	1,00	0,87	-0,24	0,50
Відносна висота нагару $H_{\text{відн.}}$, %	-0,01	-0,12	0,87	1,00	0,10	0,59
Клас Крафта $КК$	-0,81	-0,93	-0,24	0,10	1,00	0,25
Дехромація крони $Дех$, %	-0,23	-0,27	0,50	0,59	0,25	1,00

Встановлено тісні зворотні зв'язки між діаметром, висотою та класом Крафта дерев (-0,86 та -0,81 відповідно). Тому доцільно вводити до моделей лише один із цих предикторів. На наш погляд, кращим серед них є діаметр – у зв'язку з простотою заміру та подальшого його застосування для прогнозування зміни таксаційних показників.

Встановлено тісний достовірний кореляційний зв'язок ($r = 0,87$) між максимальною висотою нагару та відносною висотою нагару. Доцільнішим є використання показника відносної висоти нагару, оскільки цей показник фактично містить у собі висоту дерева та висоту нагару на стовбурі.

Зважаючи на інтенсивність переходу дерев із однієї категорії стану до іншої – гіршої або кращої, було проаналізовано розподіл всіх дерев на всохлі (V–VI КС) та живі (I–IV КС). За допомогою дисперсійного аналізу виявлено достовірні відмінності середніх значень як показників пошкодження, так і морфолого-таксаційних показників.

Під час порівняння середніх значень відносної висоти нагару встановлено, що дерева, які зберегли життєздатність, мали середнє значення пошкодження стовбура $21,2 \pm 0,75$ %, тоді як середнє значення показника для групи усохлих дерев сягає $45,3 \pm 2,30$ %. Результати однофакторного дисперсійного аналізу значень свідчать, що різниця була статистично достовірною: $F_f = 159,94$; $F_{st} = 1,46$ за рівня значущості $p = 0,001$.

Живі дерева із I–IV категорій санітарного стану характеризувалися середніми показниками дехромації $49,6 \pm 1,35$ %, тоді як у групі усохлих (V–VI КС) – $90,3 \pm 1,27$ %. Різниця між досліджуваними групами дерев є статистично достовірною: $F_f = 348,32$; $F_{st} = 1,46$ за рівня значущості $p = 0,001$.

Дерева з групи I–IV КС мали середнє значення класу Крафта $2,9 \pm 0,05$, тоді як середнє значення для дерев із групи усохлих становило $3,6 \pm 0,07$. Різниця середніх значень КК між групами виявилася достовірною: $F_f = 61,25$ ($F_f > F_{st}$); $F_{st} = 1,46$ за рівня значущості $p = 0,001$.

Порівняння середніх діаметрів виявило, що живі дерева мали середнє значення діаметра $5,5 \pm 0,10$ см, тоді як середнє значення діаметра дерев із групи всохлих становило $3,8 \pm 0,18$ см. Різниця також була достовірною: $F_f = 70,4$ ($F_f > F_{st}$); $F_{st} = 1,46$ за рівня значущості $p = 0,001$, тобто дерева з більшим діаметром виявилися вогнестійкішими.

За результатами аналізу середніх висот в усталених групах виявлено, що живі дерева характеризувалися висотою $4,3 \pm 0,06$ м, усохлі – $3,3 \pm 0,09$ м. Різниця виявилася достовірною: $F_f = 89,86$ ($F_f > F_{st}$); $F_{st} = 1,46$ за рівня значущості $p = 0,001$, тобто вищі дерева виявилися стійкішими.

Для визначення ймовірності усихання окремих дерев доцільнішим є застосування логістичних регресій (*logistic regrestions*), які дають змогу розрахувати не категорію стану, а ймовірність усихання кожного з дерев у частках від одиниці. З їхньою допомогою можна оцінювати ймовірність усихання пошкоджених дерев. Під час наших досліджень деревам, що змогли відновитися після отриманих пошкоджень, присвоєно шифр 0, усохлим деревам – шифр 1. Таким чином, було побудовано декілька найбільш доцільних логістичних моделей.

Модель, яка включала відносну висоту нагару, прогнозує всихання з точністю 78,8 %. Попри високу частку правильно прогнозованого статусу дерев, що виживуть (з точністю 92,8 %), було відзначено надзвичайно малу точність прогнозу дерев, що всохнуть, – 47,14 %. За отриманою моделлю за відносної висоти нагару на стовбурі 45–50 % є значний ризик усихання дерева.

Рівняння регресії має вигляд (4.3):

$$P = \frac{\exp(-2,641 + 0,060 \times H_{\text{відн.}})}{(1 + \exp(-2,641 + 0,060 \times H_{\text{відн.}}))}, \quad (4.3)$$

де P – ймовірність усихання; $H_{\text{відн.}}$ – відносна висота нагару, %.

Модель, що включала дехромацію (рис. 4.22), прогнозує виживання пошкоджених дерев з точністю 89,9 %. Це рівняння правильно прогнозує післяпожежний статус дерев, що виживають (з точністю 94,3 %) і має 80 % точність прогнозу дерев, що всохнуть. Таким чином, за дехромації понад 80 % ризик усихання дерев є надзвичайно високим.

Модель, що включає дехромацію крони, відносну висоту нагару й діаметр, прогнозує виживання пошкоджених дерев з точністю 89,9 %. Це рівняння правильно визначає дерева, що виживуть після пожежі (з точністю 93,44 %), і дає найкращу точність прогнозу всохлих дерев – 82,2 %.

Рівняння регресії має вигляд (4.4):

$$P = \frac{\exp(-9,095 + 0,111 \times D)}{(1 + \exp(-9,095 + 0,111 \times D))}, \quad (4.4)$$

де P – ймовірність усихання;

D – дехромація, %.

Побудова ROC-кривих за результатами запропонованих логістичних регресій підтвердила, що найбільш адекватними є дві моделі: із застосуванням показників дехромації крони та діаметра та відносної висоти нагару й дехромації крони.

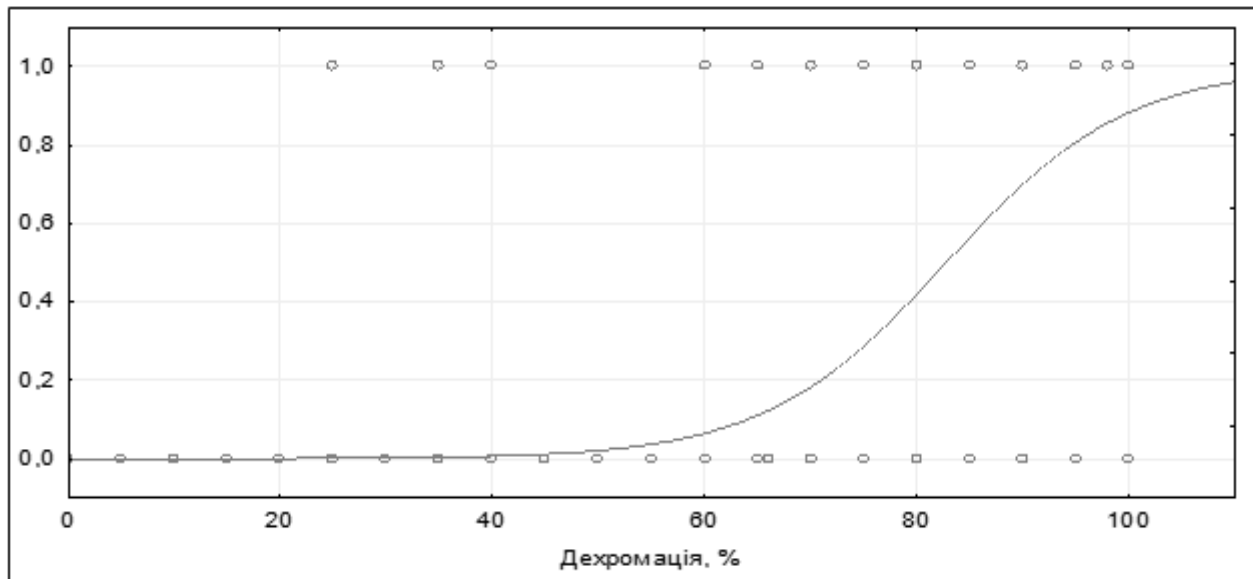


Рис. 4.22 – Ймовірність усихання дерев сосни за різного рівня дехромації крони

Оцінювання площі під кривими виявило (AUC – *Area Under Curve*), що кращою для прогнозування всихання дерева є модель, яка включає діаметр, відносну висоту нагару й дехромацію крони ($AUC = 0,95 \pm 0,012$) та дехромацію крони з дещо гіршим показником ($AUC = 0,93 \pm 0,014$): обидві моделі мають «відмінну» якість за класифікацією.

Модель, що включає лише відносну висоту нагару ($AUC = 0,77 \pm 0,025$), поступається двом попереднім (нульова гіпотеза про незначущість моделі відхиляється за значення AUC , більшого ніж 0,5). Для покращення точності виявлення дерев, що ймовірно всохнуть, було скориговано межу відсікання логістичної моделі до 0,26, тобто в бік гіпердіагностики – максимального недопущення пропуску дерев, що всохнуть. Зниження значення порогу відсікання з 0,50 до 0,26 дало змогу суттєво покращити якість прогнозу щодо ймовірності усихання пошкоджених дерев упродовж трьох років після пожежі.

4.3.2 Особливості постпірогенного розвитку середньовікових і пристиглих сосняків

4.3.2.1 Динаміка стану сосняків в рік пожежі

Особливості динаміки розвитку після пожеж стану середньовікових і пристиглих сосняків (віком 55–70 років, ТЛУ – A_2, B_2) вивчали в ДП «Жовтневе ЛГ» та ДП «Зміївське ЛГ» (табл. 4.17). Між часткою сухостійних дерев через рік після пожежі в середньовікових деревостанах та середньою висотою нагару встановлено сильний прямий достовірний кореляційний зв'язок ($r = 0,57$; $t_f = 2,97$; $t_{st} = 2,88$).

Встановлено, що коефіцієнт кореляції між діаметром дерева і станом ($r = -0,4$; $t_f = 3,06$; $t_{st} = 2,32$), а також діаметром і часткою сухостійних дерев ($r = -0,6$; $t_f = 3,12$; $t_{st} = 2,31$) є оберненим, тобто зі збільшенням діаметра зростає вогнестійкість дерев.

Таблиця 4.17 – Таксаційні показники середньовікових насаджень на ПП

№ ППП	Вік, років	D сер., см	H сер., м	M , м ³ /га	Повнота
Літні пожежі					
1	60	27,2	24,5	386	0,77
2	57	26	21	476	1
3	57	21,1	18,7	238	0,58
4	60	28,4	25,2	481	0,93
5	68	25,3	20,8	256	0,62
6	70	26,5	21,2	261	0,62
7	61	28,6	25,7	268	0,5
8	61	21,8	19,6	220	0,60
9	65	28,4	22,2	375	0,91
10	65	26,6	22,5	401	0,96
11	65	25,3	23,1	419	0,94
Весняні пожежі					
12	60	25,8	22,9	384	0,82
13	60	29,5	23,5	466	0,97
14	47	24	21,8	327	0,74
15	66	26,3	23,2	411	0,86
16	59	27,7	22,4	442	0,96
17	60	29,5	23,1	419	0,88
18	60	25,8	22,9	380	0,8
19	60	22,6	21	389	0,91
20	55	17,1	18,5	185	0,88

У зв'язку з подібністю реакції на низові пожежі середньовікових та пристиглих соснових деревостанів усі ці ППП було об'єднано в одну групу.

Пожежі, що виникли в різні місяці впродовж року, мали різні наслідки для середньовікових насаджень (табл. 4.18, рис. 4.23). Так, на ППП 20 низова пожежа відбулася в останній декаді травня 2011 р., після розкриття верхівкової бруньки, утворення центрального пагону та початку періоду активного росту. Крім того, травень 2011 р. був надзвичайно посушливим ($ГТК = 0,5$). Стан сосняку на ППП 20 було оцінено як «усихаючий», I_c становив 3,9.

Для інших насаджень, пошкоджених навесні, характерним був сильно ослаблений стан ($I_c = 2,4-3,2$ бала), але незначна частка сухостою. Водночас індекс стану сосняків, пошкоджених літніми пожежами, становив 4,0–4,5, тобто стан їх оцінювався як усихаючий а частка сухостійних дерев сягала 51 %.

За даними J.P. Sah відпад дерев істотно не залежить від сезону пожежі. У своїй роботі E. S. Menges, навпаки, стверджує, що відпад є найінтенсивнішим саме після осінніх і зимових пожеж, тобто коли дерева знаходилися у стані спокою [292].

Таблиця 4.18 – Розподіл дерев за категоріями стану в середньовікових насадженнях через рік після пошкодження низовою пожежею

№ ППП	Час пожежі	Н _{наг} , м	I _c	Категорія санітарного стану дерев, %					
				I	II	III	IV	V	VI
Весняні пожежі									
15	квітень	0,20	2,40	0	60	40	0	0	0
15K*	—	—	1,75	48	31	19	2	0	0
16	квітень	0,30	2,50	0	53	44	2	0	2
16K	—	—	1,91	35	42	20	3	0	0
17	квітень	0,30	2,60	0	49	46	3	0	3
17K	—	—	1,90	36	41	19	4	0	0
18	квітень	0,80	2,80	8	20	57	8	6	0
18K	—	—	1,96	29	50	17	4	0	0
12	квітень	2,05	3,00	0	20	64	14	0	3
12K	—	—	1,77	36	51	13	0	0	0
13	квітень	2,22	3,30	0	10	70	13	0	8
13K	—	—	1,50	56	38	6	0	0	0
20	травень	2,90	3,90	0	8	41	6	41	4
20K	—	—	2,38	22	41	14	23	0	0
19	квітень	2,97	2,70	0	37	55	8	0	0
19K	—	—	2,19	24	49	11	16	0	0
14	квітень	3,06	2,60	0	49	43	7	2	0
14K	—	—	1,52	54	40	6	0	0	0
Літні пожежі									
1	липень	0,69	3,60	0	7	54	18	13	9
1K	—	—	1,73	44	41	13	2	0	0
7	серпень	0,78	4,00	0	3	32	38	17	12
7K	—	—	1,72	44	41	14	1	0	0
11	липень	0,95	2,40	8	51	39	0	0	2
11K	—	—	1,75	42	42	15	1	0	0
8	липень	1,26	2,70	0	12	80	2	5	1
8K	—	—	2,12	28	42	20	10	0	0
9	липень	1,85	3,10	0	2	85	7	0	6
9K	—	—	1,69	52	30	15	3	0	0
10	липень	1,98	2,80	0	5	88	1	0	6
10K	—	—	1,76	44	37	18	1	0	0
2	серпень	2,02	2,90	0	24	70	3	0	4
2K	—	—	1,68	47	40	11	2	0	0
3	серпень	2,30	3,80	0	13	42	20	2	22
3K	—	—	1,93	40	35	17	8	0	0
4	червень	2,52	3,20	0	7	72	18	1	1
4K	—	—	1,55	52	41	7	0	0	0
5	червень	3,58	4,10	0	7	49	5	10	29
5K	—	—	1,68	48	38	12	2	0	0
6	серпень	4,45	4,50	0	0	2	46	49	2
6K	—	—	1,67	51	31	17	1	0	0

*К – контроль.



Рис. 4.23 – Насадження пошкоджене низовою пожежею у квітні

М.С. Харінгтон дійшов висновку, що інтенсивніший постпірогенний відпад відбувався під час весняних палів (сезон активної вегетації). Водночас В. Тіес повідомляє про більший відпад дерев після осіннього палу, ніж після весняного. Хоча у наступній публікації зазначав, що весняні та осінні пожежі мали різну інтенсивність [292].

У зв'язку з тим, що насадження з однаковим рівнем пошкодження, яке сталося в різних сезонах року, характеризувалися різною часткою відпаду, було проведено серію статистичних тестів для перевірки гіпотези щодо різного впливу часу виникнення низової пожежі на сосняки.

Зважаючи на певну неоднорідність отриманих даних, було проаналізовано чинник «сезон пожежі» як за змінами санітарного стану насаджень, так і шляхом порівняння груп «живих» і «усохлих» дерев.

Частка відпаду дерев після пожеж влітку була достовірно більшою, ніж після пожеж навесні ($F_f = 51,8$ та $F_{0,001} = 10,9$; $F_f > F_{0,001}$). Визначено, що частка сухостійних дерев через рік після пожеж, які сталися навесні, була у п'ять разів нижчою, ніж після пожеж влітку (2,7 % проти 13,8 %).

Для дослідження впливу на санітарний стан дерев низових пожеж, що відбулися навесні та влітку, було застосовано дисперсійний аналіз та t -тест. Для однорідності вибірки було відібрано дерева однієї вікової групи з подібними таксаційними показниками (діаметр – у межах 24–28 см), а також величиною пошкодження (два варіанти дослідів: для дерев із середньою висотою нагору на стовбурах 1–1,5 м та понад 3,5 м).

Для варіанту досліду із середньою висотою нагару 1–1,5 м: $F_{st} = 12,3$ та $F_f = 16,4$. Індекс санітарного стану насаджень після весняних пожеж становив 2,48, після літніх – 3,22, різниця була достовірною при $p = 0,001$; $F_f > F_{0,001}$. Вплив фактора «сезон пожежі» є статистично доведеним, сила впливу цього фактора становила $h^2 = 0,39$ ($F_f = 16,35$ при $F_{0,001} = 14,4$. $F_f > F_{0,001}$), Таким чином, розбіжності в досліджуваних групах визначалися сезоном пожежі на 39 %. *T-test* проводили для тієї ж вибірки, що й для дисперсійного аналізу. Різницю між станом досліджуваних груп визначено як статистично достовірну при $p = 0,001$, $t_f = 3,96$, $t_{st} = 2,02$.

Для варіанту досліду з висотою нагару 3,5–4,5 м різниця між I_c порівнюваних груп була достовірною при $p = 0,001$ ($F_{st} = 12,4$ та $F_f = 79,8$; $F_f > F_{0,001}$). Сила впливу фактора становила $h^2 = 0,77$ ($F_f = MS_M / MS_6$, $F_f = 79,4$ при $F_{0,001} = 14,6$; $F_f > F_{0,001}$). Таким чином, розбіжності між досліджуваними групами (I_c після весняних пожеж – 2,59, літніх – 4,50) визначалися сезоном пожежі на 77 %.

Сила впливу фактора сезону пожежі для групи дерев із висотою нагару понад 3,5 м виявилася вдвічі сильнішою: $h^2_{(1-1,5\text{ м})} = 39\%$ та $h^2_{(3,5\text{ м})} = 79\%$.

Розбіжності реакції дерев з висотою нагару понад 3,5 м після пожеж навесні та влітку також підтверджено *t*-тестом; різниця за I_c є достовірною при $p = 0,001$, $t_f = 8,59$, $t_{st} = 2,03$.

Таким чином, на противагу твердженню В. Тіеса, сезон пожежі має значний статистично достовірний вплив на постпірогенний розвиток пошкоджених дерев. Пожежі, що виникли влітку, були найнебезпечнішими для насаджень. Можлива причина розбіжностей висновків з роботою у тому, що автор досліджував вплив весняних та осінніх палів і дійшов висновку про відсутність впливу фактору «сезону пожежі» [292].

Різними статистичними тестами доведено, що літні пожежі мають більший негативний вплив на насадження. Такий вплив можна пов'язати з характеристиками пожеж. Навесні пожежі зазвичай характеризуються високою рухливістю, під час них згорає лише верхній тонкий шар підстилки, а нижні шари, вологіші, не вигорають. Такі пошкодження часто є несуттєвими для дерев у насадженні. За літніх пожеж, коли згорає майже вся підстилка, до пошкодження стовбура можуть додатися пошкодження кореневих лап і тонкого коріння у верхньому шарі ґрунту 0–20 см. Крім того, навесні пошкоджені дерева фактично не відчувають дефіциту вологи.

Кореляційним аналізом встановлено тісний прямий зв'язок між висотою нагару та їхнім станом ($r = 0,91$; $t_f = 6,80$; $t_{st} = 3,17$; $t_f > t_{0,01}$). Результати регресійного аналізу засвідчили, що у 83 % випадків літніх пожеж стан дерев визначався середньою висотою нагару на стовбурах. В міру збільшення середньої висоти нагару в насадженні збільшувався відпад дерев ($r = 0,87$; $t_f = 5,78$; $t_{0,01} = 3,17$; $t_f > t_{0,01}$).

Зважаючи на те, що висота нагару на стовбурах є індикатором пошкодження дерев вогнем, було побудовано таблиці відпаду окремо для деревостанів після весняних та літніх пожеж (табл. 4.19, 4.20).

Таблиця 4.19 – Розподіл дерев за категоріями стану залежно від висоти нагару в середньовікових сосняках, пошкоджених низовими пожежами влітку,

$H_{\text{наг.}}, \text{ м}$	Категорія санітарного стану дерев, %						I_c	Частка відпаду, %	
	I	II	III	IV	V	VI		за кількістю дерев	за запасом
0–0,5	0	26	39	21	10	5	3,0	6	3,0
0,51–1,0	0	44	45	6	3	3	3,1	12	3,6
1,1–1,5	1	27	52	10	4	6	3,2	17	4,8
1,51–2,0	0	11	56	15	13	5	3,4	21	6,4
2,1–2,5	0	7	57	11	21	5	3,5	23	8,5
2,6–3,0	0	6	52	14	23	5	3,6	26	11,4
3,1–3,5	0	3	35	20	30	12	3,7	29	15,2
3,6–4,0	0	0	39	19	28	14	3,9	32	20,2
4,1–4,5	0	0	30	44	22	4	4,0	37	27,0
4,6–5,0	0	5	29	33	19	14	4,1	44	36,1
5,1–5,5	0	0	40	10	50	0	4,2	52	48,2
5,6–6,0	0	0	0	30	65	5	4,4	70	64,3

Критичною для сосни, пошкоджених улітку, є середня висота нагару понад два метри, коли I_c становив 3,4, а відпад сягав 18 %. У міру збільшення висоти нагару збільшувалася й частка відпаду в групах (з 18 % за висоти нагару 1,5–2 м до 67 % за висоти нагару понад 5,6 м).

Після низових пожеж навесні (див. табл. 4.20) у рік пожежі встановити рівні летального пошкодження дерев було надзвичайно складно, індекс стану навіть за значних пошкоджень стовбура (висота нагару понад 4 м) коливався в межах 2,6–2,8. Показники інтенсивності усихання також були незначними (1–6 %), причому характерно, що відпад становили лише дерева IV–V класів Крафта, тобто пригнічені в рості. Пожежа фактично спровокувала прискорення природного зрідження пошкоджених деревостанів.

Для виявлення особливостей реакції на пошкодження пригнічених у рості та панівних дерев було сформовано вибірку однорідних за висотою нагару на стовбурі (2,0–2,5 м) дерев, що різнилися лише за класом Крафта. Суттєвість впливу досліджуваного фактора було доведено статистично ($F_f = 6,47$, $F_{st} = 4,88$).

Відпад дерев у сосняках, пошкоджених весняними пожежами (табл. 4.21), поступався природному (за таблицями ходу росту). Виняток становила лише пожежа кінця травня (ППП № 20), коли відпад, перевищував природний на 41,7 % за кількістю дерев і на 24,9 % за запасом. Відпад після літніх пожеж значно перевершував природний (див. табл. 4.21). Його частка збільшувалася від 0,5 до 49 % в міру збільшення середньої висоти нагару за запасом і до 47 % за часткою загинувших дерев. Відмінності реакції на пошкодження вогнем дерев різних класів Крафта підтверджено й іншими провідними дослідниками [158].

Дерева у яких ПСТ менше за 0,6 всихали за будь-якого пошкодження (табл. 4.22). Для дерев із ПСТ 0,7–1,2 пошкодження ставало летальним при висоті нагару > 3 м. При ПСТ > 1,3 усихання відзначали за висоти нагару > 4 м.

Таблиця 4.20 – Розподіл дерев за категоріями стану залежно від висоти нагару в сосняках, пошкоджених низовими пожежами навесні,

$H_{\text{наг.}}, \text{м}$	Категорія санітарного стану дерев, %						I_c	Частка відпаду, %	
	I	II	III	IV	V	VI		за кількістю дерев	за запасом
0–0,5	0	47	50	2	0	1	2,6	0,9	0,2
0,51–1,0	3	14	58	11	8	6	3,3	13,9	5,3
1,1–1,5	3	13	64	15	3	3	3,1	5,1	2,2
1,51–2,0	0	21	61	18	0	0	3,0	0,0	0,0
2,1–2,5	0	16	59	23	0	2	3,1	2,3	1,3
2,6–3,0	0	17	65	12	2	4	3,1	5,8	2,5
3,1–3,5	0	22	67	11	0	0	2,9	0,0	0,3
3,6–4,0	0	30	60	10	0	0	2,8	0,0	0,0
4,1–4,5	0	25	75	0	0	0	2,8	0,0	0,0
4,6–5,0	0	25	75	0	0	0	2,8	0,0	0,0
5,1–5,5	0	33	67	0	0	0	2,7	0,0	0,0
5,6–6,0	0	40	60	0	0	0	2,6	0,0	0,0

Таблиця 4.21 – Порівняння постпірогенного відпаду за кількістю дерев і запасом із природним (за таблицями ходу росту)

№ ППП	$H_{\text{наг.}}, \text{ м}$	$I_{\text{с}}$	Фактичний відпад, %		Природне зрідження, %		Різниця фактичного й природного	
							відпаду, %	
			N	M	N	M	N	M
Пожежі навесні								
15	0,2	2,4	0	0	3	1,1	-3	-1,1
16	0,3	2,5	2	0,5	3	1,1	-1	-0,6
17	0,3	2,6	3	0,8	3	1,1	0	-0,3
18	0,8	2,8	6	3,1	3	1,1	3	2
12	2,1	3,0	3	1,9	3	1,1	0	0,8
13	2,2	3,3	8	5,2	2,4	1,2	5,6	4
20	2,9	3,9	45	27,1	3,3	2,2	41,7	24,9
19	3,0	2,7	0	0	3	1,2	-3	-1,2
14	3,1	2,6	2	1,3	3,8	1,3	-1,8	0
Пожежі влітку								
1	0,7	3,6	22	15,8	3,3	1	18,7	14,8
7	0,8	4	29	17,8	2,7	1,1	26,3	16,7
11	1,0	2,4	2	3,1	3	1,2	-1	1,9
8	1,3	2,7	6	1,8	3,3	1,3	2,7	0,5
9	1,9	3,1	6	5,7	3,1	1,3	2,9	4,4
10	2,0	2,8	6	3,6	3	1,2	3	2,4
2	2,0	2,9	4	5,0	2,7	1,2	1,3	3,8
3	2,3	3,8	24	19,7	3,2	1,3	20,8	18,4
4	2,5	3,2	2	1,6	2,8	1,1	-0,8	0,5
1	3,6	4,1	39	32,5	3,8	1,2	35,2	31,3
6	4,5	4,5	51	50,2	4	1,2	47	49

Таблиця 4.22 – Індекс санітарного стану дерев залежно від природних ступенів товщини та висоти нагару на стовбурах через рік після низових пожеж улітку

$H_{\text{наг}}, \text{м}$	Природний ступінь товщини					
	>0,6	0,7–0,8	0,9–1,0	1,1–1,2	1,3–1,4	1,5 >
>1,0	4,0	3,1	3,1	2,8	2,9	2,4
1,1–2,0	4,5	3,3	3,3	2,6	2,7	2,8
2,1–3,0	5,3	3,2	3,7	3,3	3,0	–
3,1–4,0	5,5	4,6	4,1	4,1	3,2	–
4,1 >	–	5,0	4,1	4,1	4,2	3,8

Виявлено (табл. 4.23) збільшення частки сухостою із зростанням висоти нагару на стовбурах. Для пригнічених у рості дерев характерна надзвичайно висока частка сухостою, яка збільшувалась у міру збільшення величини пошкодження (від 22 до 75 %). Для дерев із ПСТ 0,7–1,0 критичною була висота нагару понад 2 м: частка сухостою за таких умов сягала 30–34 %.

Таблиця 4.23 – Частка сухостою залежно від природних ступенів товщини та величини нагару після низових пожеж влітку

$H_{\text{наг}}, \text{м}$	Природні ступені товщини					
	>0,6	0,7–0,8	0,9–1,0	1,1–1,2	1,3–1,4	1,5 >
>1,0	22	11	8	1	0	0
1,1–2,0	47	12	10	1	0	0
2,1–3,0	71	30	34	3	9	–
3,1–4,0	75	42	41	29	0	–
4,1 >	–	100	43	36	40	33

Для дерев із ПСТ 1,1–1,2 критичною була висота нагару на стовбурі понад 3 м. Панівні дерева (ПСТ 1,3–1,5) мали високі рівні усихання лише за висоти нагару понад 4 м, у такому випадку частка сухостою сягала 33–40 %.

Спільний вплив висоти нагару та ПСТ на частку сухостійних дерев ілюструє графік (рис. 4.24). У міру зменшення природного ступеня товщини та збільшення висоти нагару зростала також частка відпаду дерев.

Побудовано регресійні моделі. Отриману модель, що включає в якості предикторів природні ступені товщини та середню висоту нагару що прогнозує відпад, не рекомендовано застосовувати (завелика стандартна помилка прогнозу $S = 15\%$), а модель, що прогнозує I_c насадження через рік після пожежі, можна застосувати для планування лісгосподарських заходів одразу після пожежі (табл. 4.24).

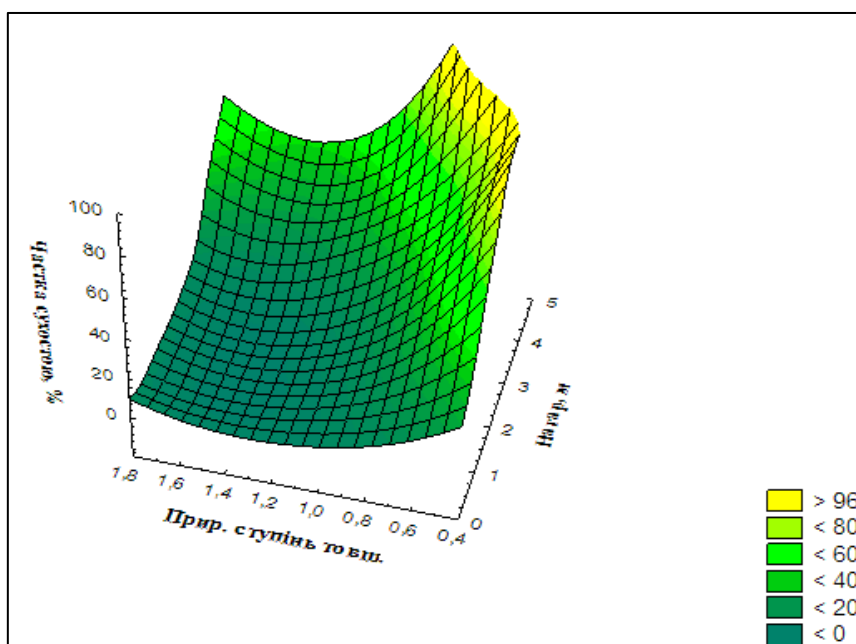


Рис. 4.24 – Залежність частки відпаду від висоти нагару на стовбурах з урахуванням природних ступенів товщини дерев

Таблиця 4.24 – Параметри моделі множинного регресійного аналізу I_c та відпаду середньовікових сосняків, пошкоджених літніми низовими пожежами

Залежна змінна	r^2	S	p	Рівняння
I_c	0,77	0,4	0,0001	$4,47 + 0,37 \times H_{серн} - 1,62 \times ПСТ$
Відпад, %	0,72	15,0	0,0014	$58,54 + 12,3 \times H_{серн} - 62,7 \times ПСТ$

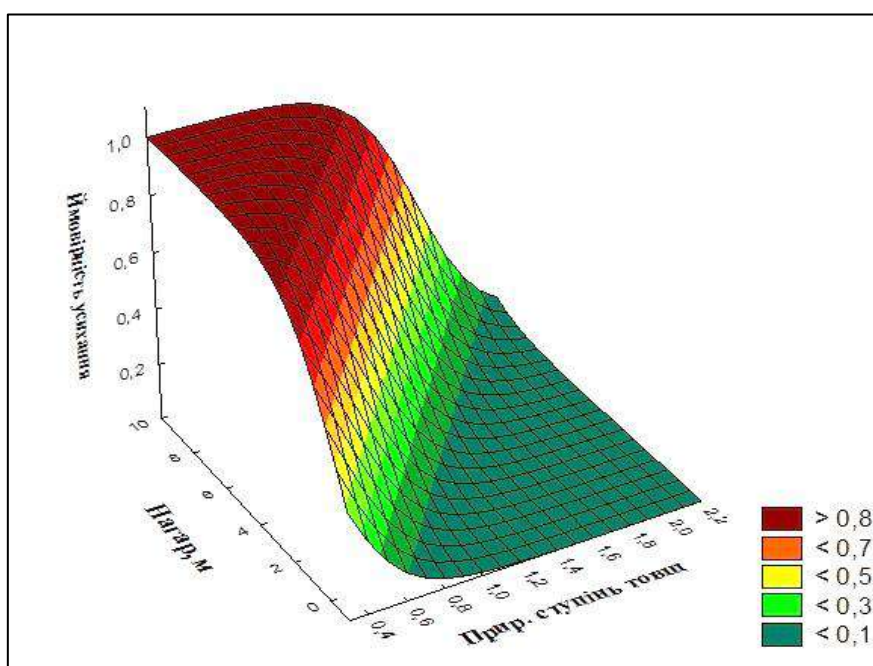


Рис. 4.25 – Модель прогнозування ймовірності усихання дерев за висотою нагару на стовбурі та природним ступенем товщини дерева

Описані вище моделі можуть бути застосовані для відведення дерев, що ймовірно усохнуть до вибіркової санітарної рубки, важливим є визначення ризику всихання кожного з них. Для цього було побудовано логістичні регресії (4.5). Найточніша з моделей включає в якості предикторів природній ступінь товщини та середню висоту нагару на стовбурах (рис. 4.25). Точність прогнозу сягає 78,2 % (табл. 4.25).

Таблиця 4.25 – Характеристика точності запропонованої логістичної регресії

Фактичний стан дерева	Частка вірно передбачених прогнозів, %	Загальна частка вірно передбачених прогнозів, %	Співвідношення шансів (Odds ratio)
Живе	84,5	78,2	11,3
Усохле	67,5		

$$P = \frac{\exp(2.67 - 5.2 \times \text{ПСТ} + 0.61 \times H_{\text{сер н}})}{(1 - \exp(2.67 - 5.2 \times \text{ПСТ} + 0.61 \times H_{\text{сер н}}))}; \quad (4.5):$$

де P – ймовірність усихання (від 0 до 1);

ПСТ – природній ступінь товщини;

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

За результатами ROC-аналізу підтверджено високу якість запропонованої моделі (табл. 4.26). Включення більшої кількості змінних до моделі не сприяло значному підвищенню точності (лише в межах 1 %).

Таблиця 4.26 – Оцінка площі під кривою

AUC*	Стандартна помилка	Довірчий інтервал (95 %)	
		Нижня межа	Верхня межа
0,83	0,020	0,788	0,867

Примітка.*AUC– площа під кривою (area under curve).

Зважаючи на те, що клас «усохлі» включав дерева свіжого та старого сухостою і не враховував IV КС, а саме такі дерева схильні до заселення стовбуровими шкідниками і, найімовірніше, з часом усохнуть, було знижено межу «відсікання» для наведеної моделі до 0,38.

З використанням отриманого рівняння було створено нормативно-довідкову таблицю (табл. 4.27) для оцінювання ймовірності відпаду кожного з дерев індивідуально, залежно від природного ступеня товщини та середньої висоти нагару на стовбурі. Таблицю доцільно використовувати під час відбору пошкоджених низовими пожежами дерев до вибіркової санітарної рубки.

Відбираючи дерева в рубку, варто звертати увагу на опік тонкої кори. Якщо висота нагару перевищує висоту грубої кори усихання зростає.

За допомогою дисперсійного аналізу підтверджено значущість опіку тонкої кори. Було відібрано дерева із середніми ПСТ в межах 0,9–1,1, однорідні як за віком, так і за висотою нагару на стовбурах (2,8–3,1 м). Вибірку було розподілено на три групи: «груба кора» – коли висота нагару не перевищувала висоти грубої кори; «зона переходу» – коли нагар був в одному метрі від зони

переходу або сягав зони переходу кори; «опік тонкої кори» – висота нагару перевищувала зону переходу грубої кори в тонку. Вплив пошкодження зони тонкої кори на стан дерев виявився статистично достовірним ($F_f = 5,98$; $F_{st} = 3,07$; $p = 0,003$) (рис. 4.26).

Таблиця 4.27 – Імовірність усихання окремих дерев у середньовікових соснових деревостанах, пошкоджених низовими пожежами влітку, %

$H_{наг}, м$	Природний ступінь товщини										
	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
0,5	100	83	57	38	24	15	9	5	3	2	1
1,0	100	100	72	48	31	20	12	7	4	3	2
1,5	100	100	88	61	40	26	16	10	6	4	2
2,0	100	100	100	76	52	34	21	13	8	5	3
2,5	100	100	100	93	65	44	28	17	11	6	4
3,0	100	100	100	100	81	56	36	23	14	9	5
3,5	100	100	100	100	100	70	47	30	19	12	7
4,0	100	100	100	100	100	86	60	39	25	16	9
4,5	100	100	100	100	100	100	74	50	33	21	13
5,0	100	100	100	100	100	100	91	64	42	27	17
5,5	100	100	100	100	100	100	100	79	54	35	22
6,0	100	100	100	100	100	100	100	100	68	46	29
6,5	100	100	100	100	100	100	100	100	84	58	38
7,0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	73	49
7,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	62
8,0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	77
8,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

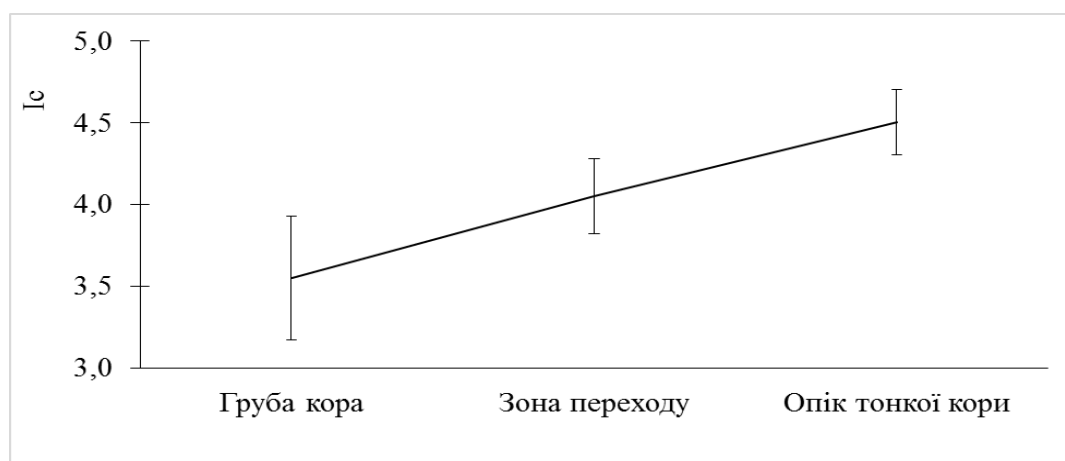


Рис. 4.26 – Індекс санітарного стану дерев за однакової висоти нагару залежно від зони пошкодження кори

Середні значення I_c в окремих групах суттєво різнилися. Так, у групі з непошкодженою тонкою корою («груба кора») I_c становив 3,55, а в групі «опік тонкої кори» – 4,50. Таким чином, показник «опік тонкої кори» можна

використовувати як додатковий критерій під час відбору дерев до рубки з використанням запропонованої вище моделі.

Дослідження зміни індексу стану та частки всихаючих і сухостійних дерев залежно від ступеня опіку тонкої кори для обох значень виявили дуже сильний достовірний кореляційний зв'язок ($r = 0,96_f > t_{st_{0,01}} p=0.05$).

За мінусового значення «ступеня опіку тонкої кори» (рис. 4.26), тобто коли висота нагару не перевищувала висоту грубої кори і вогнем не була пошкоджена тонка кора, негативні наслідки були не такі суттєві. Середній індекс санітарного стану становив 2,5–3,5, тобто не досягнув рівня усихання. Водночас при перевищенні нульового значення, тобто у випадку пошкодження тонкої кори, індекс стану дерев становив 4 та більше, тобто дерева були усихаючими та сухостійними.

Фактично, такі особливості відзначено й щодо частки сухостою, коли за від'ємних значень «ступеня опіку кори» частка всихаючих і сухостійних дерев становить до 30 %, але у випадку пошкодження тонкої кори – різко зростає (від 48 до 100 %).

4.3.2.2 Динаміка стану сосняків у наступні роки після пожежі

На основі вивчення зміни динаміки стану насаджень після пошкодження вогнем (рис. 4.27) визначено вплив пожеж різної інтенсивності на зміни в подальші роки у середньовікових сосняках у Васищевському та Бабаївському л-вах ДП «Жовтневе ЛГ» та Чемужівському л-ві ДП «Зміївське ЛГ».

Насамперед враховували сезон пожежі, висоту нагару та наявність усихання дерев куртинного характеру на площі (рис. 4.27). Останнє можна пояснити схильністю досліджуваних деревостанів до пошкодження кореневою губкою, особливо в місцях із наявними похованими горизонтами ґрунту.



Рис. 4.27 – Стан сосняків у рік пожежі (ліворуч) та через 2 роки (праворуч)

При цьому можна виділити два варіанти післяпожежного розвитку:

1. Сильне пошкодження відзначали тільки в рік пожежі. У наступні роки індексу стану насаджень майже не змінився.

2. Стан деревостанів і надалі погіршується впродовж кількох років після пожежі, навіть за незначного пошкодження.

При другому варіанті в наступні роки після пожеж висота нагару не впливає на погіршення стану сосняків. Основним негативним чинником, який посилює процес всихання пошкоджених пожежами дерев, можуть бути негативні погодні умови та ураження патогенами, особливо кореневої губки. Це явище характерне навіть для найменш пошкоджених дерев.

В Бабаївському та Васищевському лісах сосняки із суттєвими негативними змінами лише у рік пожежі, траплялися набагато частіше.

Після весняних низових пожеж низької інтенсивності (за висоти нагару до 0,5 м) суттєвого погіршення стану не помічено як у рік пошкодження вогнем, так і в подальші п'ять років. Відсутність здорових дерев свідчить про погіршення стану, але при цьому дерева не відмічається всихання в наступні роки. На п'ятий рік після пожежі було лише 2 % усихаючих дерев, що пов'язано з природним відпадом дерев (табл. 4.28).

Після весняних низових пожеж різної інтенсивності за висоти нагару до 1,5 м середній I_c коливався у межах від 2,55 до 2,67. Помітне погіршення I_c (до 2,93) відзначали за висоти нагару більше 1,5 м. Проте воно особливо суттєве при пошкодженні тонкої кори, як у рік пожежі так і наступний рік ($I_c = 4,47 \dots 5,06$) (табл. 4.28).

Таблиця 4.28 – Динаміка розподілу дерев за категоріями стану

$H_{наг}, м$	Період після пожежі	I_c	За категоріями санітарного стану, %					
			I	II	III	IV	V	VI
до 0,5 м	у рік пожежі	2,7	0	33	67	0	0	0
	наступний рік	2,6	0	37	63	0	0	0
	2 роки	2,6	0	37	62	0	0	0
	3 роки	2,7	0	34	66	0	0	0
	4 роки	2,7	0	32	68	0	0	0
	5 років	2,6	0	38	59	2	0	0
від 0,5 до 1,5 м	у рік пожежі	2,6	2	36	60	1	0	1
	наступний рік	2,7	1	36	61	1	0	1
	2 роки	2,6	1	43	54	0	0	1
	3 роки	2,6	0	48	49	1	0	1
	4 роки	2,6	1	49	48	1	0	1
понад 1,5 м	у рік пожежі	2,9	0	21	65	14	0	0
	наступний рік	2,8	0	24	69	5	2	0
	2 роки	2,8	0	27	66	5	0	2
	3 роки	2,8	0	24	71	3	2	0
	4 роки	2,8	0	27	67	4	0	2
	5 років	2,8	1	38	52	3	0	6
Пошкодження тонкої кори	у рік пожежі	4,5	1	3	21	6	61	8
	наступний рік	5,0-	0	2	25	3	2	68

Суттєве погіршення стану відбувається лише після весняних пожеж високої інтенсивності. Вже в рік пожежі частка всихаючих дерев складала 14 %, а сильно ослаблених дерев 65 %. Проте наступного року після пожежі 2 % дерев переходить до свіжого сухостою, 5 % не змінюють свій стан і лишаються в категорії всихаючих, а стан інших дерев узагалі покращується. У наступні чотири роки частка всихаючих дерев зменшується (до 3 %).

В сосняках, де середня висота нагару перевищувала 4,5 м, більшість дерев загинули вже у рік пожежі (IV КС – 6 %, V КС – 61, VI КС – 8 %). Такі пожежі спричиняють до суттєвих втрат товарності сосняків, але й створює умови для поширення стовбурових шкідників і хвороб лісу.

Негативні наслідки пошкодження середньовікових сосняків низовими пожежами влітку виявилися більшими, ніж навесні. При максимальній висоті нагару на наступний рік після пожежі I_c був більшим 3, проте особливо сильне погіршення спостерігалось при опіку тонкої кори ($I_c = 4,48$) (табл. 4.29).

Здорові дерева були відсутні навіть за мінімального пошкодження слабкою низовою пожежею, а більшість становили сильно ослаблені (від 53 до 60 %) та ослаблені (від 33 до 41 %) дерева. Про погіршення стану дерев після пожеж у рік пошкодження і в подальші роки свідчить наявність усихаючих дерев (3 %) та поява (через два роки) та збільшення відсотку свіжого сухостою (в наступні три роки після пожежі). Частка старого сухостою на п'ятий рік становила 5 % (табл. 4.29).

Таблиця 4.29 – Динаміка розподілу дерев за категоріями стану після літніх низових пожеж різної інтенсивності

$H_{\text{наг}}, \text{ м}$	Період після пожежі	I_c	За категоріям санітарного стану, %					
			I	II	III	IV	V	VI
до 0,5 м	у рік пожежі	2,6	0	39	58	3	0	0
	наступний рік	2,7	0	35	60	3	2	0
	2 роки	2,7	0	35	60	3	2	0
	3 роки	2,8	0	33	62	0	5	0
	4 роки	2,8	0	41	53	0	0	6
	5 років	2,8	0	41	53	0	0	6
від 0,5 до 1,5 м	у рік пожежі	2,7	0	38	58	3	0	1
	наступний рік	2,6	1	38	59	2	0	0
	2 роки	2,6	1	40	58	2	0	0
	3 роки	2,6	1	39	59	1	1	0
	4 роки	2,7	3	37	56	0	3	2
понад 1,5 м	у рік пожежі	2,8	0	55	41	0	2	2
	наступний рік	3,0	0	34	57	7	1	1
	2 роки	3,2	0	15	69	13	2	1
	3 роки	3,1	0	6	74	16	4	0
	4 роки	3,0	0	7	78	11	0	4
	5 років	2,8	0	11	79	6	0	4
Пошкодження тонкої кори	у рік пожежі	4,5	0	0	3	46	49	2

До 60 відсотків дерев при літніх пожежах середньої інтенсивності влітку (середня висота нагару – від 0,5 до 1,5 м), у рік пожежі та наступних роках були сильно ослабленими. У них основні негативні зміни зафіксовано в рік пожежі. В наступні роки стан деяких дерев покращився і здорові дерева становили 1,6 % та близько 3 % – на четвертий і п'ятий роки. Про покращення стану деревостанів на п'ятий рік після пожежі також свідчить перехід сильно ослаблених дерев до ослаблених. Всихаючих дерев на четвертий рік взагалі не було, а частка сухостою не перевищувала 5 %.

Літні пожежі улітку з висотою нагару понад 1,5 м негативно вплинули на деревостан. Вже у перший рік частка всихаючих дерев становила 6,5 %. У наступні три роки частка всихаючих, сухостійних дерев збільшилася до 3,5 %. Лише на четвертий – шостий роки частка сухостою зменшилася. Через 5 років після пожежі виявлено здорові дерева.

Після низової пожежі високої інтенсивності влітку ($H_{\text{наг.}} = 4,5$ м, з пошкодженням кори) у середньовікових сосняках всихало понад 90 % дерев.

4.3.2.3 Динаміка стану сосняків чутливих до кореневої губки після пожежі

Усихання сосняків куртинами спостерігали як після весняних, так і літніх пожеж, при цьому залежності погіршення стану дерев на таких ППП від висоти нагару та сезону пожежі не виявлено. Так після весняної низової пожежі середньої інтенсивності (висота нагару від 0,5 м до 1,5 м), у рік пошкодження вогнем виявлено 7 % усихаючих дерев та 4 % свіжого сухостою. В подальшому відбулося суттєве погіршення стану, а частка всихаючих дерев та сухостою через два роки складала разом 24 %, а через п'ять років 35 %. Тобто усихання дерев в куртинах не припинилося навіть після через 5 років після пожежі.

Ґрунтові дослідження у багатьох з цих ППП підтвердили наявність похованих гумусових горизонтів на глибині до 1 м. Саме такі умови як відомо є сприятливі до розвитку епіфітотій кореневої губки навіть за незначного пошкодження вогнем.

Куртинне усихання сосняків Васищевського л-ва, схильних до кореневої губки, було зафіксовано на ППП, пошкоджених пожежами як у 2009, так і у 2011 р. На ППП В-09-5 частка свіжого сухостою через рік після пожежі зросла до 23 %. Особливо значне усихання дерев було зафіксовано через два роки після пожежі, частка сухостою коливалася від 23 до 46 % (табл. 4.30).

На ППП Бабаївського л-ва у насадженнях, що мали незначні пошкодження стовбурів унаслідок пожежі, яка сталася у 2009 р., сухостійні дерева з'явилися вже в рік пожежі. Наступного року їхня частка зростала поступово. Вже через два роки після пошкодження загальна частка сухостою коливався від 16 до 19 %.

Таблиця 4.30 – Динаміка стану сосняків, чутливих до кореневої губки, у наступні роки після пожежі

Код ППП	$H_{\text{наг}}, \text{м}$	Рік спостереження	N, шт./га	Категорія санітарного стану, %						I_c
				I	II	III	IV	V	VI	
Васищевське л-во										
Пожежі 2009 р.										
В-09-1	0,79	2009	675	0	19	70	7	4	0	2,96
		2010	675	2	19	63	9	4	4	3,04
		2011	675	2	20	54	2	11	11	3,33
		2012	650	0	15	60	2	4	19	3,51
		2013	650	2	35	35	2	4	23	3,40
		2014	650	0	33	33	8	0	27	3,56
В-09-5	0,97	2009	573	0	34	63	1	2	0	2,74
		2010	573	0	31	41	0	23	5	3,29
		2011	573	0	23	47	2	5	23	3,58
		2012	573	0	19	51	0	2	28	3,70
		2013	573	8	28	34	0	2	28	3,44
		2014	566	8	29	33	0	2	27	3,41
Пожежі 2011 р.										
В-11-16	2,61	2011	544	0	32	60	4	0	4	2,84
		2012	544	1	16	65	7	6	4	3,13
		2013	544	1	14	39	3	37	6	3,79
		2014	544	0	7	42	4	2	45	4,36
Бабаївське л-во										
Пожежі 2009 р.										
Б-09-1	0,15	2009	1103	3	49	36	10	0	1	2,58
		2010	1103	3	48	36	10	1	2	2,62
		2011	1103	1	29	51	9	8	2	3,01
		2012	1088	2	30	45	6	8	9	3,16
		2013	1088	2	28	44	3	2	21	3,38
		2014	1088	2	28	44	3	0	23	3,40
Б-09-2	1,01	2009	1074	1	60	35	2	0	2	2,47
		2010	997	1	58	36	3	0	3	2,50
		2011	997	1	45	38	3	5	8	2,88
		2012	997	0	35	46	6	0	13	3,10
		2013	997	0	24	42	0	13	21	3,63
		2014	997	0	10	54	3	13	21	3,79
Чемужівське л-во										
Пожежі 2008 р.										
Ч-08-6	0,69	2008	624	0	36	52	5	2	5	2,88
		2009	602	0	7	54	18	13	9	3,63
		2010	602	0	11	48	12	9	19	3,76
		2011	409	0	13	70	12	0	5	3,14
		2014	355	5	23	64	3	0	6	2,89
Ч-08-1	2,02	2008	950	0	24	70	3	0	4	2,91
		2009	938	0	18	72	4	3	4	3,03
		2010	938	0	11	69	9	5	5	3,24
		2011	938	0	11	65	5	7	11	3,40
		2014	863	9	38	31	2	1	17	3,00

У результаті пожеж стан сосняків Чемужівського л-ва погіршувався впродовж тривалого післяпожежного періоду. Здорових дерев за період 2008–2011 рр. не виявлено. На більшості ППП за цей період помітне зменшення частки ослаблених дерев. Лише у 2014 р. після проведення санітарних рубок їхня частка на окремих ППП збільшилася, а також з'явилися здорові дерева.

Причиною значного збільшення частки сухостою в даному випадку не є висота нагару. Так, на ППП Ч-08-6 за висоти нагару всього 0,69 м вже на наступний рік частка всихаючих та сухостійних дерев досягла 40 % (усихання куртинного характеру), водночас на ППП Ч-08-1 із висотою нагару 2,02 м частка сухостою через рік після пожежі становила 11 %, але в наступні роки постійно збільшувалася (до 23 %); всихання також мало куртинний характер.

У таких насадженнях дія пожеж суттєво прискорює процес усихання.

4.3.3 Особливості постпірогенного розвитку стиглих і перестійних сосняків

Сосняки віком від 81 до 116 років (табл. 4.31) менш стійкі особливо до літніх низових пожеж, ніж середньовікові та пристиглі. Відпад в пошкоджених влітку сосняках виявився у 10 разів більшим ніж після весняних (табл. 4.32).

Таблиця 4.31 – Таксаційні показники сосняків на ПП закладених в стиглих й перестійних соснових насадженнях пошкодження низовими пожежами

№ ППП	$H_{\text{наг.}}, \text{ м}$	Вік, років	$D \text{ сер.}, \text{ см}$	$H \text{ сер.}, \text{ м}$	$M, \text{ м}^3/\text{га}$	Повнота
Стиглі й перестійні						
Весняні пожежі						
21	1,10	81	31,2	23,0	370	0,70
22	3,00	81	37,3	26,2	390	0,60
23	2,33	88	30,1	27,3	642	0,99
24	2,46	88	31,2	24,8	480	0,93
25	1,81	86	34,7	26,0	375	0,69
26	2,40	86	33,2	26,6	476	0,96
27	1,90	86	31,1	25,2	398	0,77
Літні пожежі						
28	0,48	95	42,6	27,2	361	0,60
29	2,02	116	50,4	31,1	477	0,72
30	2,16	116	42,6	29,8	385	0,60

За даними деяких дослідників [218, 227] частка постпірогенного відпаду залежить від діаметрів дерев, для стиглих і перестійних сосняків кореляційний зв'язок виявився прямим (з індексом санітарного стану: $r = 0,73$, $t_f = 3,06$, $t_{st} = 2,32$; з часткою сухостійних дерев: $r = 0,74$, $t_f = 3,12$, $t_{st} = 2,31$).

Більші за діаметром дерева уразливішими до вогню, адже такі дерева акумулюють значні запаси підстилки, під час згорання можливе пошкодження корневих систем.

На обсяги відпаду впливала також товщина кори. У зв'язку з подібністю реакції на пошкодження низовими пожежами стиглих і перестійних соснових деревостанів дані з усіх цих ППП було об'єднано в одну групу.

Для групи стиглих і перестійних дерев сосни достовірних зв'язків між висотою нагару на стовбурі та станом не виявлено.

Для підтвердження статистичної значущості отриманих результатів усі дерева було розподілено на дві групи: «живі» та «усохлі». Достовірність розходжень між вибірковими частками (частка «усохлих») оцінювали за допомогою F критерію: $\varphi_{\text{весна}} = 0,465$; $\varphi_{\text{літо}} = 1,633$ $df_2 = 537$. $F_f = 154,6$, та $F_{0,001} = 11$. $F_f > F_{0,001}$. Нульову гіпотезу про рівність часток у генеральній сукупності було відхилено на рівні значущості $p < 0,001$ – більша частка відпаду після пожеж влітку, ніж після весняних, є статистично достовірною. Підтверджено, що літні пожежі мали такий же суттєвий вплив на стиглі сосняки, як і на середньовікові. Це було пов'язане як із характеристиками самих пожеж, так і з тим, що навесні пошкоджені дерева не відчували дефіциту вологи, тому їм було легше витримувати пошкодження, а камбій у стані відносного спокою є стійким до дії високих температур.

Таблиця 4.32 – Розподіл за категоріями санітарного стану пошкоджених вогнем стиглих сосняків через рік після пожежі

№ ППП	$H_{\text{наг}}, \text{ м}$	Час пожежі	I_c	Категорія санітарного стану дерев, %					
				I	II	III	IV	V	VI
Весняні пожежі									
21	1,10	травень	2,20	4	71	25	0	0	0
21К	—	—	1,95	15	75	10	0	0	0
25	1,81	квітень	2,71	0	40	54	3	0	3
25К	—	—	2,15	22	50	19	9	0	0
27	1,90	квітень	2,60	0	48	46	4	2	0
27К	—	—	2,10	18	59	18	5	0	0
23	2,33	травень	2,91	0	14	80	5	0	0
23К	—	—	1,98	30	46	20	4	0	0
24	2,46	травень	3,09	0	17	72	2	2	7
24К	—	—	2,12	27	43	21	9	0	0
26	2,40	квітень	2,44	0	56	44	0	0	0
26К	—	—	2,21	15	56	22	7	0	0
22	3,00	травень	2,80	0	31	63	3	3	0
22К	—	—	1,98	19	64	17	0	0	0
Літні пожежі									
28	0,48	липень	4,34	0	6	35	14	33	13
28К	—	—	1,98	30	46	20	4	0	0
29	2,02	серпень	4,07	0	4	44	11	21	19
29К	—	—	1,95	36	39	19	6	0	0
30	2,16	серпень	5,42	0	0	11	4	17	68
30К	—	—	1,65	50	37	11	2	0	0

Порівняння природного та фактичного відпаду, спровокованого низовими пожежами (табл. 4.33) свідчить, що фактичний відпад стиглих сосняків, пошкоджених весняними пожежами, часом поступався природному (різниці становили 1,9–7,6 % за кількістю дерев і 0,7–4,5 % за запасом). Після літніх пожеж фактичний відпад стиглих сосняків перевершував природний на 39,1–84,1 % за кількістю загинувших дерев і на 36,6–74,5 % за запасом.

Таблиця 4.33 – Природний та постпірогенний відпад в стиглих сосняках

№ ППП	$H_{\text{наг., м}}$	I_c	Фактичний відпад, %		Природне зрідження, %		Різниця між фактичним і природним відпадом, %	
			N	M	N	M	N	M
Пожежі навесні								
21	1,1	2,2	0	0,0	1,9	0,9	-1,9	-0,9
25	1,8	2,7	3	2,4	1,4	0,9	1,6	1,5
27	1,9	2,6	2	4,2	1,4	1	0,6	3,2
23	2,3	2,9	0	0,0	1,5	0,7	-1,5	-0,7
24	2,5	3,1	9	5,4	1,4	0,9	7,6	4,5
26	2,4	2,4	0	0,0	1,4	0,9	-1,4	-0,9
22	3,0	2,8	3	2,9	1,7	0,8	1,3	2,1
Пожежі влітку								
28	0,5	4,3	46	45,3	1,1	0,7	44,9	44,6
29	2,0	4,1	40	37,5	0,9	0,9	39,1	36,6
30	2,2	5,4	85	75,4	0,9	0,9	84,1	74,5

Зважаючи на значення показника висоти нагару на стовбурах як індикатора пошкодження пожежею, було розроблено таблиці відпаду для стиглих і перестійних насаджень, пошкоджених низовими пожежами влітку та навесні (табл. 4.34, 4.35).

Після літніх пожеж стиглі дерева реагували стрімким погіршенням стану (табл. 4.35). Проте не виявлено достовірного зв'язку між станом дерев та інтенсивністю пошкодження.

Таблиця 4.34 – Розподіл дерев за категоріями стану в стиглих і перестійних сосняках, пошкоджених низовими пожежами навесні

$H_{\text{наг.}}$, м	Категорія стану, %						I_c	Частка відпаду, %	
	I	II	III	IV	V	VI		за кількістю	за запасом
0,0–0,5	0	47	47	0	0	6	2,7	5,9	2,6
0,51–1,0	0	44	46	3	0	7	3,0	7,4	3,2
1,1–1,5	2	28	60	5	1	4	2,9	5,4	1,7
1,51–2,0	0	27	68	0	1	4	2,9	5,4	3,5
2,1–2,5	2	21	73	3	1	0	2,9	1,5	1,2
2,6–3,0	0	27	63	5	2	3	2,9	4,8	3,4
3,1–3,5	0	21	79	0	0	0	2,8	0,0	0,0
3,6–4,0	0	37	60	0	3	0	2,7	3,0	4,2

Таблиця 4.35 – Розподіл дерев за категоріями стану в стиглих і перестійних сосняках, пройдених низовими пожежами влітку, залежно від висоти нагару

$H_{\text{наг}}, \text{м}$	Категорія санітарного стану, %						I_c	Частка відпаду, %	
	I	II	III	IV	V	VI		за кількістю дерев	за запасом
0–0,5	0	16	35	16	3	30	4,3	33	38,4
0,51–1,0	0	6	22	18	16	38	4,5	54	55,9
1,1–1,5	0	18	24	2	27	29	4,1	56	65,6
1,51–2,0	0	12	44	13	11	20	4,3	31	27,0
2,1–2,5	0	11	25	0	3	61	4,7	64	52,3
2,6–3,0	0	17	17	2	14	50	4,7	64	72,1
3,1–3,5	0	0	0	17	10	73	5,7	83	72,3
3,6–4,0	0	25	15	0	15	45	4,8	60	73,6

З метою встановлення реакції відмінних за розвитком дерев у насадженні на пошкодження вогнем різної інтенсивності було побудовано таблиці з урахуванням природних ступенів товщини та середньої висоти нагару на стовбурах (табл. 4.36, 4.37).

Таблиця 4.36 – Частка сухостійних дерев (%) у стиглих і перестійних сосняках залежно від природних ступенів товщини та висоти нагару після пожеж улітку

$H_{\text{наг}}, \text{м}$	Природний ступінь товщини				
	> 0,6	0,7–0,8	0,9–1,0	1,1–1,2	1,3–1,4
> 1,0	43	5	48	54	55
1,1–2,0	–	0	69	100	100
2,1–3,0	–	0	100	70	100
3,1–4,0	–	0	100	67	–

Таблиця 4.37 – Індекс стану стиглих сосняків залежно від природних ступенів товщини та висоти нагару після низових пожеж улітку

$H_{\text{наг}}, \text{м}$	Природний ступінь товщини				
	> 0,6	0,7–0,8	0,9–1,0	1,1–1,2	1,3–1,4
> 1,0	4,7	3,1	4,4	4,7	4,7
1,1–2,0	–	2,6	4,5	5,6	5,0
2,1–3,0	–	2,7	5,8	5,1	5,7
3,1–4,0	–	2,2	5,8	5,3	–

Пригнічені дерева (ПСТ > 0,6) всихали за мінімальних пошкоджень (природне зрідження). З іншого боку, найбільш розвинені дерева (найвищих ступенів товщини) також реагували на пошкодження надзвичайно гостро: відпад становив 48–55 % за мінімальних пошкоджень (висота нагару до 1 м) та 100 % за висоти нагару понад 1 м.

Стан дерев погіршувався зі збільшенням природного ступеня товщини та висоти нагару. Тобто діаметр стиглих і перестійних дерев не є показником вогнестійкості – дерева з меншим діаметром виявилися стійкішими.

Виявлено тенденцію збільшення частки всихаючих і сухостійних дерев у міру збільшення їхнього діаметра. Кореляційним аналізом встановлено дуже сильний прямий достовірний зв'язок ($r=0.92$ $t_f = 5,84$; $t_{0,01} = 3,71$; $p = 0,01$) між досліджуваними величинами.

Хоча деякі автори і наводять дані про резистентність, яка пов'язана з морфологічними особливостями дерев і зростає у міру збільшення розміру (діаметра) дерева та віку, у нашому дослідженні такі висновки не знайшли підтвердження. Пожежі влітку для стиглих і перестійних сосняків становлять велику небезпеку [94].

Між середньою кількістю відкритих кореневих лап і часткою дерев IV–VI КС виявлено дуже сильний достовірний кореляційний зв'язок ($r = 0,95$; $t_f = 6,63$; $t_{0,01} = 4,03$). Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,90$ свідчить, що у 90 % дерев наявність пошкоджених кореневих лап призводила до всихання. Водночас у стиглих сосняках у міру збільшення діаметра зростає також кількість пошкоджених кореневих лап ($r = 0,73$; $t_f = 4,28$; $t_{0,01} = 4,03$).

У випадку низової пожежі в стиглих деревостанах, коли підстилка повністю згорає, основною причиною усихання дерев є наявність (оголення) після пожежі пошкоджених кореневих лап.

Під час пожежі вогонь пошкоджував стовбури дерев, але вплив цього чинника не був вирішальним (середня висота нагару коливалася від 0,2 до 0,8 м). Основною ж причиною масового всихання дерев було пошкодження кореневих систем. Подібного висновку дійшли й інші автори, які доводять, що летальна температура під час пожежі може розповсюджуватися углиб ґрунту більш ніж на 20 см. Тривала дія тепла призводить до пошкодження коріння: гинуть не тільки корені першого порядку біля основи стовбура, але й решта коренів вищих порядків, пов'язаних із ними [210].

На основі отриманих результатів було розроблено алгоритм відбору дерев для призначення санітарно-оздоровчих заходів.

4.3.4 Пірогенна трансформація трав'яного покриву

Пірогенні зміни лісових екосистем досліджували впродовж шести років на семи чистих середньовікових сосняках (ТЛУ-В₂, Вік 55–65 років) Чемужівського л-ва ДП «Зміївське ЛГ». Дані з усіх ППП за різні роки згруповано за тривалістю періоду після пожежі та порою року, коли відбулося пошкодження вогнем (табл. 4.38).

На відміну від контролю, де індекс санітарного стану деревостану становив 2,4, майже для всіх деревостанів, пошкоджених пожежею, він перевищував 2,8, тобто насадження було сильно ослаблене. Для трьох ППП, пошкоджених літніми пожежами, після 3–5 років I_c сягав 3,5.

Таблиця 4.38 – Таксаційна характеристика сосняків на ППП

Пора року пожежі	Період після пожежі, роки	$H_{\text{наг}}, \text{ м}$	$H_{\text{сер}}, \text{ м}$	$D_{\text{сер}}, \text{ см}$	$M, \text{ м}^3/\text{га}$	$N, \text{ шт./га}$	Повнота
Контроль	–	–	18,6	20,0	321	1211	0,97
Весна	3	2,4	22,7	26,4	392	718	0,84
	4	2,5	22,7	26,4	392	718	0,84
	5	2,5	22,7	26,4	392	718	0,84
	6	2,1	23,2	27,7	425	700	0,80
Літо	2	1,9	23,6	27,2	448	757	0,90
	3	2,0	22,4	25,7	395	755	0,82
	4	2,2	22,0	25,6	367	713	0,78
	5	2,2	22,0	25,6	367	713	0,78
	6	2,5	19,8	23,2	247	649	0,60

Після пожежі, незалежно від пори року, коли вона виникла, у сосняках були відсутні здорові дерева. Їх виявлено лише на контролі, а в пошкоджених деревостанах – лише на п'ятий і шостий роки після пожежі. Переважали, незалежно від пори року пошкодження вогнем та періоду після пожежі, сильно ослаблені дерева – від 51 до 72 %, тоді як на контролі вони становили лише 32 %. На контролі переважали ослаблені дерева (62 %). Частка свіжого та старого сухостою після літніх пожеж із кожним роком після пожежі збільшувалася, а максимум (21 %) зафіксовано на п'ятий рік після пошкодження вогнем. Наслідки весняних пожеж не є такими відчутними, як літніх, і частка сухостою не перевершувала 3 % (табл. 4.39).

Таблиця 4.39 – Стан пошкоджених пожежею сосняків і середнє проективне покриття трав'яного покриву, %

Пора року, коли сталася пожежа	Період після пожежі, роки	Розподіл дерев за категоріями стану, %						I_c	Середнє проективне покриття живого надґрунтового покриву, %
		I	II	III	IV	V	VI		
Контроль	–	1	62	32	3	–	2	2,4	42,0
Весна	3	–	11	67	19	1	2	3,2	37,1
	4	–	12	69	16	–	3	3,1	60,9
	5	2	22	66	8	–	2	2,9	64,4
	6	1	25	72	3	–	–	2,8	75,5
Літо	2	–	11	66	13	6	5	3,3	43,0
	3	–	7	55	19	12	7	3,6	52,4
	4	–	6	59	15	4	15	3,6	60,2
	5	–	17	51	9	2	19	3,5	69,4
	6	4	13	63	5	2	15	3,3	82,0

У рік пожежі на усіх ППП травостій був відсутній, але вже на другий рік після неї одночасно із погіршенням стану сосняків (табл. 4.39) з'явився трав'яний покрив та відбулося збільшення проективного покриття до 43 %. У

наступні роки після пожежі зафіксовано чітку тенденцію до зростання проективного покриття. На шостий рік після пожежі хоча й відбувалося певне покращення стану дерев, але проективне покриття травостою проти контролю (42 %) було майже вдвічі більшим (82 %). Такі зміни відбулися у зв'язку з погіршенням стану та всиханням дерев, що призвело до зрідження деревного намету і створення умов для активного розвитку трав'яного покриву.

Проростання насіння багатьох видів може сприяти пошкодження пожежею підстилки й верхнього шару ґрунту. При цьому після пожежі створюються сприятливі умови для проростання насіння й виживання сходів: покращення умов освітлення й забезпечення рослин елементами мінерального живлення, зменшення впливу деревної рослинності на трав'яну.

У живому надґрунтовому покриві відзначено варіювання кількості та частоти трапляння різних видів рослин (рис. 4.28). Загалом визначено близько 70 видів. На графіку наведено участь домінантних видів трав'яної та мохової рослинності в проективному покритті живого надґрунтового покриву.

Під час порівняння живого надґрунтового покриву в різні періоди після пожежі із контролем встановлено повну відсутність в усі періоди на ППП, пошкоджених пожежами, такого виду мохової рослинності, як гілокомій блискучий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) W.P. Schimp), частка якого на контролі сягає 37 % від загального проективного покриття. Цей вид листкостеблових мохів родини Гілокомієві (*Hylocomiaceae*) не відновився навіть через шість років після пожежі.

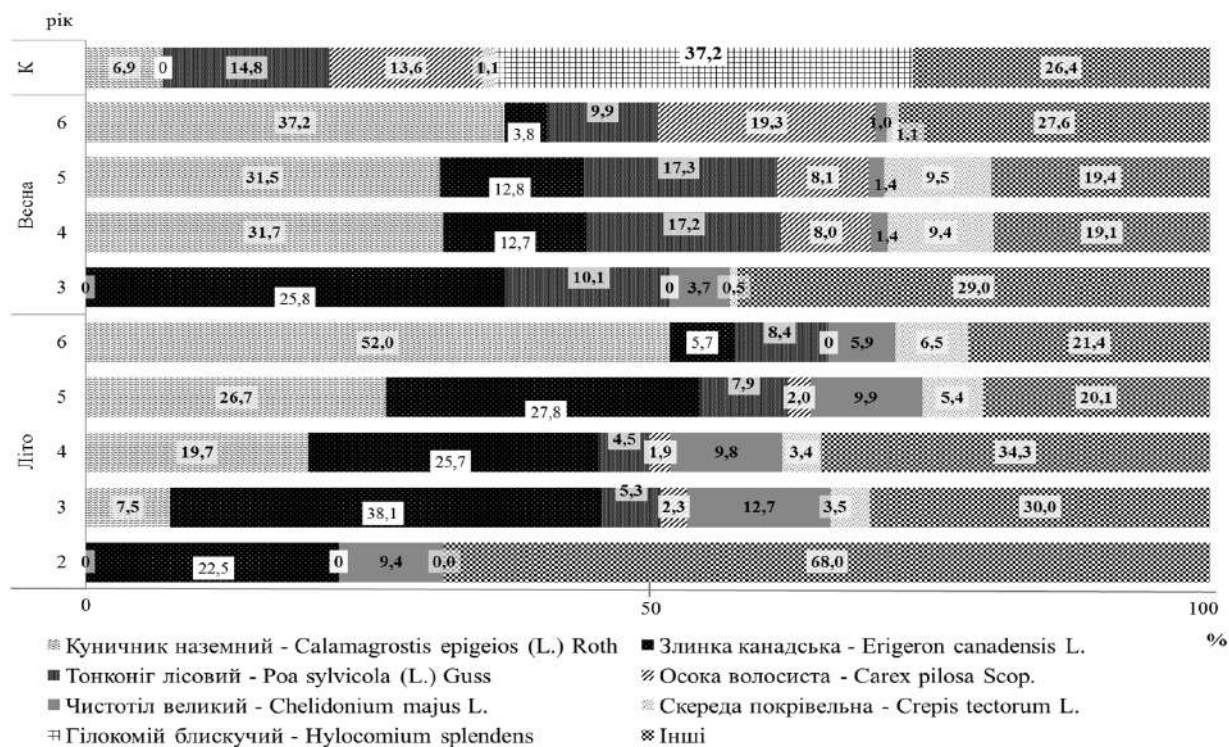


Рис. 4.28 – Проективне покриття видів рослин у складі трав'яного покриву, %

У перші роки як після весняних, так і після літніх пожеж проєктивне покриття збільшувалося переважно за рахунок появи та домінування злинки канадської (*Erigeron canadensis* L.) – адвентивного виду з родини Айстрових (*Asteraceae*) (рис. 4.29). Для цього виду в перші два роки після пожежі характерне найвище проєктивне покриття. Його максимальні значення становили 38 % після літньої пожежі, 26 % – на третій рік після весняної пожежі. Лише в наступні роки його частка зменшувалася до 13–28 %, а на шостий рік не перевищувала 4–6 %. На контрольних ППП цей вид не виявлено взагалі. Ще один вид цієї родини, *Crepis tectorum* L., у значній кількості (до 9,5 %) з’являється на 4-й рік у пошкоджених вогнем насадженнях, тоді як на контролі його частка становить лише 1,1 %.



Рис. 4.29 – Домінування у трав’яному покриві в перші роки після пожежі *Erigeron canadensis* L.

На четвертий і в подальші роки після пожежі внаслідок погіршення стану, зниження повноти деревостанів і зрідження крон відбувалося значне задерніння ґрунту у результаті розростання злакової рослинності (рис. 4.30). Серед злаків домінував *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, представник родини Тонконогових (*Poaceae*). На четвертий рік після пожежі його проєктивне покриття збільшилося до 20–32 %, а через шість років сягало 52 %. Значний внесок у задерніння робить *Poa sylvicola* (L.) Guss. (до 17 %). На другий рік після пожежі цей вид зник зі складу трав’яного покриву горільника. На третій рік після весняних пожеж його частка сягала 10,1 %, а після літніх – 5,3 %. Максимальне проєктивне покриття цього виду після весняної пожежі відзначали на п’ятий (17,3 %), а після літньої – на шостий рік (8,4 %). Обидва види зафіксовано й на контролі, але частка першого виду становить лише 7,1 %, другого – 14,8 %.

Інші види, назви яких не наведено на графіку (див. рис. 4.30), виявлено в меншій кількості. Максимальну їхню кількість зафіксовано через два роки після літньої пожежі (68,0 %) і через три роки після весняної (59,0 %). Серед них переважали кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H.Wigg), гравілат міський (*Geum urbanum* L.), зірочник гайовий (*Stellaria nemorum* L.), осока дводомна (*Carex dioica* L.), деревій дрібноквітковий (*Achillea micrantha*).



Рис. 4.30 – Задерніння ґрунту злаковою рослинністю

На другий і третій рік після пожежі в трав'яному покриві загалом переважали багаторічні види (від 52,1 до 63,6 %), основну частку яких становили *Poa sylvicola* (L.) Guss., *Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H.Wigg, *Chelidonium majus* L., *Carex pilosa* Scop. Проективне покриття однорічних рослин у цей період сягало 44,7 %, переважно за рахунок рудеранта *Erigeron canadensis* L. Проективне покриття дворічних рослин не перевершувало 4,2 %, а в деяких випадках вони взагалі були відсутніми. На четвертий і п'ятий роки зменшувалася частка однорічних (до 25,2–38,0 %) та значно збільшувалася за рахунок злаків частка багаторічних рослин після весняних (до 72,1 %) і літніх (до 65,3 %) пожеж. Під час порівняння з контролем усіх груп, що характеризувалися різними періодами після пошкодження пожежею та часом виникнення пожежі, певну подібність усіх показників надґрунтового покриву встановлено лише на шостий рік, коли відзначено домінування багаторічних видів (рис. 4.31).

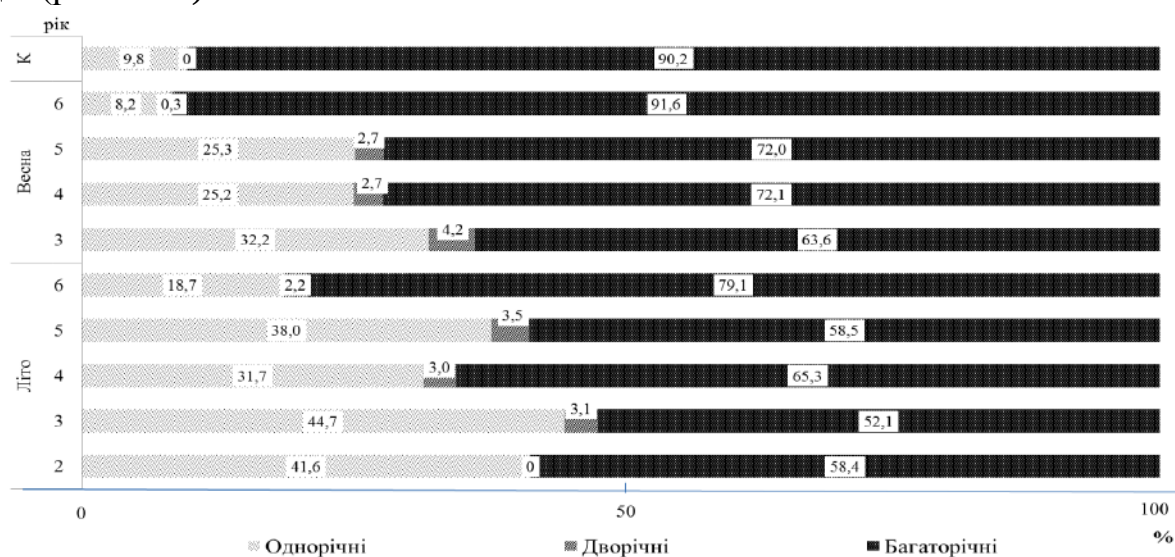


Рис. 4.31 – Розподіл проективного покриття трав'яного покриву за біоморфами, %

У перші роки після пожежі в трав'яному покриві помічено значне розповсюдження *Erigeron canadensis* L. (до 33 %) (рис. 4.32). Велику частку проєктивного покриття (до 29,9 %) становили також лучні види – *Calamagrostis epigeios* L. Частка лісових і степових видів не перевершувала 21,5 %. На четвертий і п'ятий роки участь рудерантів зменшилася і почала збільшуватися частка лучних (до 35,2 %) і степових (до 19,8 %) видів. Частка останніх, суттєво збільшилася, у деяких групах – у декілька раз. Лісові види в усі ці роки росли переважно в більш затінених місцях (проєктивне покриття – від 7,8 до 21,5 %).

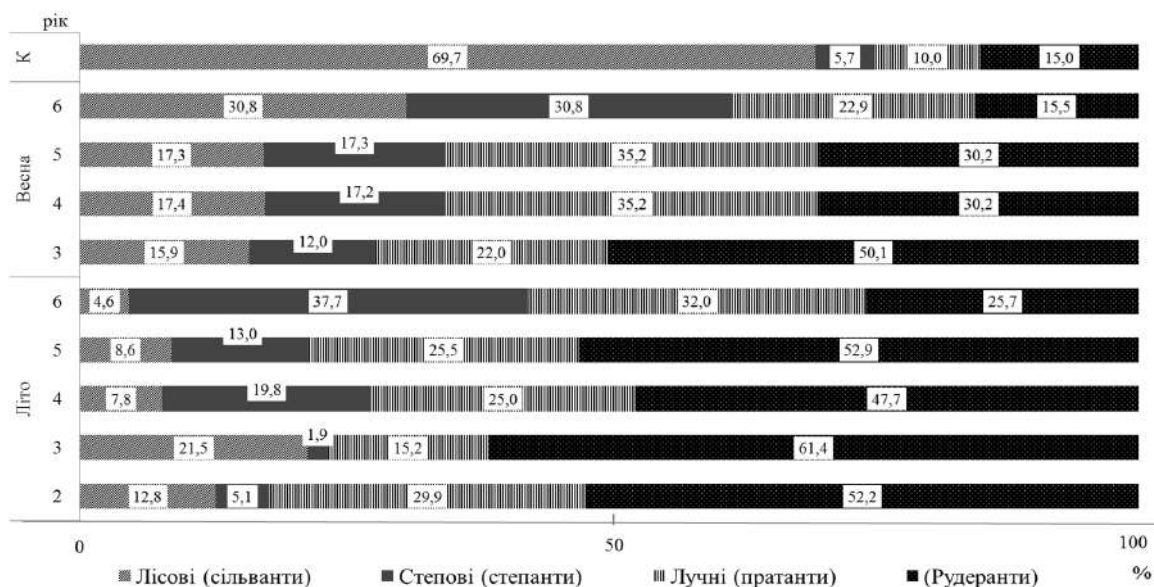


Рис. 4.32 – Розподіл проєктивного покриття трав'яного покриву за ценоморфами, %

4.4 Вплив низових пожеж на продуктивність та приріст сосняків

4.4.1 Вплив пожеж на продуктивність сосняків

В ДП «Жовтнєве ЛГ» особливо напруженою є пірогенна ситуація у Васищевському, Бабаївському, Мереф'янському та Рокитянському л-вах. За період 1989-2017 рр. найбільшу кількість пожеж зареєстровано в Бабаївському та Васищевському л-вах (у середньому 36 та 45 випадків на рік). У цих двох л-вах найбільша площа пошкодження пожежами – 2,7 та 4,3 га на рік відповідно (рис. 4.33). В інших л-вах середня кількість пожеж не перевищувала однієї на рік, а площа – 1 га.

У л-вах, де частка сосняків становить від 20,3 до 46,0 %, показники середньорічної кількості та площі пожеж є найвищими. Відсоток пожежонебезпечних дуже сухих та сухих борів і суборів, є незначною, а близько 90 % займають свіжі бори та субори (табл. 4.40). У Васищевському та Бабаївському л-вах (рис. 4.34). горимість сосняків як за кількістю, так і за площею значно вища ніж інших лісництв.

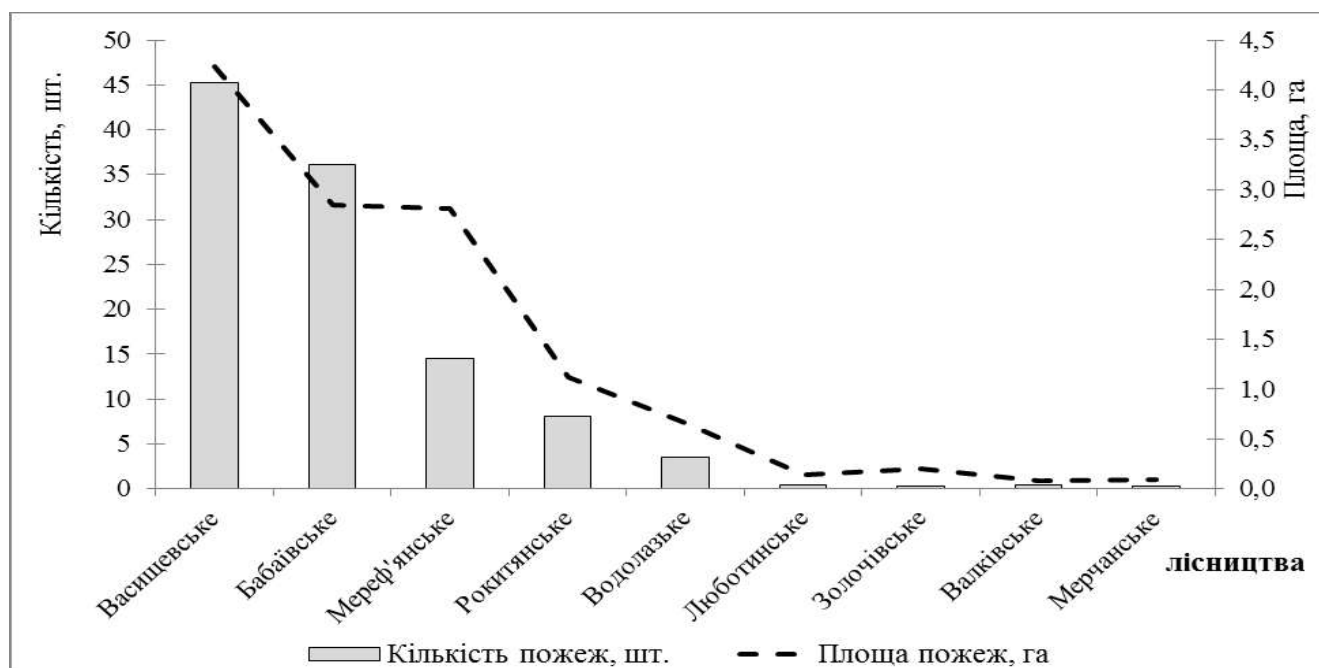


Рис. 4.33 – Середньорічна кількість та площа пожеж у розрізі лісництв ДП «Жовтневе ЛГ» за період 1989–2016 рр.

Таблиця 4.40 – Розподіл площі сосняків за ТЛУ в л-вах ДП «Жовтневе ЛГ», %

Показник		Л-во								
		Васищевське	Бабаївське	Мереш'янське	Рокитянське	Володазьке	Люботинське	Золочівське	Валківське	Мерчанське
Площа сосняків, га		1853,9	675,4	2676	1447,8	336,2	78,5	240,1	163,7	99,1
% сосняків від площі л-ва		33,2	20,3	46,0	39,7	12,0	1,8	3,5	2,7	1,8
ТЛУ	A ₀	–	–	0,1	–	–	–	–	–	–
	A ₁	–	–	0,5	–	–	–	–	–	–
	A ₂	5,9	31,7	4,8	0,5	3,3	–	–	–	–
	B ₁	–	–	2,2	0,1	2,4	3,2	0,3	–	–
	B ₂	90,5	66,3	86,5	88,5	37,7	–	55,6	67,8	–
	B ₃	0,1	0,7	0,6	–	–	–	–	–	–
	C ₁	–	–	–	–	0,4	–	4,5	–	26,0
	C ₂	3,2	1,3	4,8	10,7	56,2	95,8	26,9	18,3	66,1
	C ₃	–	–	–	0,3	–	1,0	–	–	–
	D ₁	–	–	–	–	–	–	0,2	4,5	1,6
	D ₂	0,3	–	0,4	–	–	–	12,4	9,3	6,3

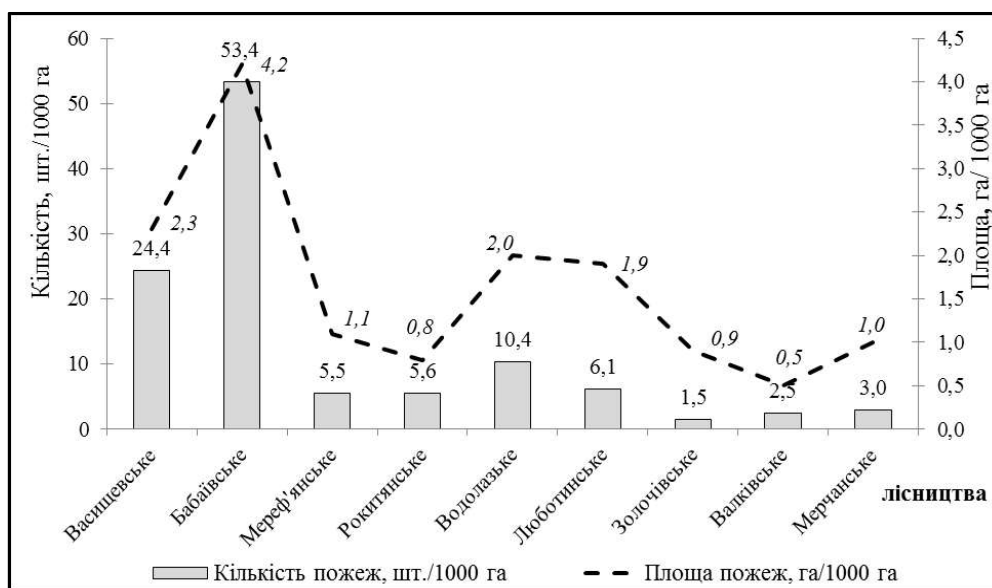


Рис. 4.34 – Середньорічна горимість сосняків у л-вах ДП «Жовтневе ЛГ»

Для сосняків Бабаївського л-ва, яке має найбільшу горимість характерне значне зниження повноти та бонітету. Середня повнота сосняків Бабаївського л-ва становить 0,67 бонітет – II,0, тоді як в інших л-вах ці показники варіюють відповідно від 0,73 до 0,76 і від I,7 до I,8, відповідно. Повнота стиглих сосняків (100–110 років) падає до 0,30. У сосняків III класу віку Бабаївського л-ва найнижчий бонітет – III,4 (табл. 4.41).

Таблиця 4.41 – Площа, середня повнота та бонітет сосняків різних класів віку в умовах свіжого субору (B_2) у різних л-вах

Клас віку	Площа, га				Повнота				Бонітет			
	Л-во											
	Бабаївське	Васищевське	Мерешанське	Роки-тянське	Бабаївське	Васищевське	Мерешанське	Роки-тянське	Бабаївське	Васищевське	Мерешанське	Роки-тянське
I	5,2	12,1	19,6	9,5	0,83	0,65	0,73	0,73	I,4	I,4	I,4	I,4
II	3,5	25,0	29,7	19,6	0,63	0,71	0,73	0,78	I,4	I,5	I,8	I,4
III	4,5	40,5	42,1	25,2	0,70	0,82	0,76	0,80	II,4	II,0	II,3	I,6
IV	19,6	32,9	100,5	32,8	0,75	0,84	0,85	0,85	I,5	I,5	I,5	II,2
V	50,7	207,5	237,2	113,3	0,82	0,85	0,87	0,81	I,0	I,3	II,1	I,7
VI	224,0	411,7	759,3	328,9	0,77	0,82	0,81	0,83	I,5	I,3	I,7	I,5
VII	40,6	279,7	213,0	136,3	0,80	0,78	0,80	0,80	II,2	I,4	I,6	I,4
VIII	72,4	342,1	270,9	174,7	0,76	0,76	0,78	0,81	II,0	I,6	I,3	I,5
IX	16,3	183,4	333,4	192,4	0,63	0,74	0,77	0,79	II,0	I,7	I,7	I,5
X	6,9	39,2	159,2	185,1	0,38	0,64	0,66	0,72	II,4	II,1	II,0	II,0
XI	1,9	3,2	62,9	17,7	0,30	0,62	0,61	0,65	II,4	II,4	II,0	II,1
XII	—	34,7	57,7	19,3	—	0,55	0,54	0,58	—	II,5	II,6	II,2
Сер.	—	—	—	—	0,67	0,73	0,74	0,76	II,0	I,8	I,7	I,7
Σ	445,6	1612,0	2285,5	1254,8	—	—	—	—	—	—	—	—

Запаси модальних сосняків у представлених л-вах збільшуються до 90 років (рис. 4.35). У сосняків старшого віку зафіксовано значне зниження запасів. При цьому запас еталонних сосняків суттєво перевершував модальних. Найбільшою є різниця у сосняках Бабаївського л-ва.

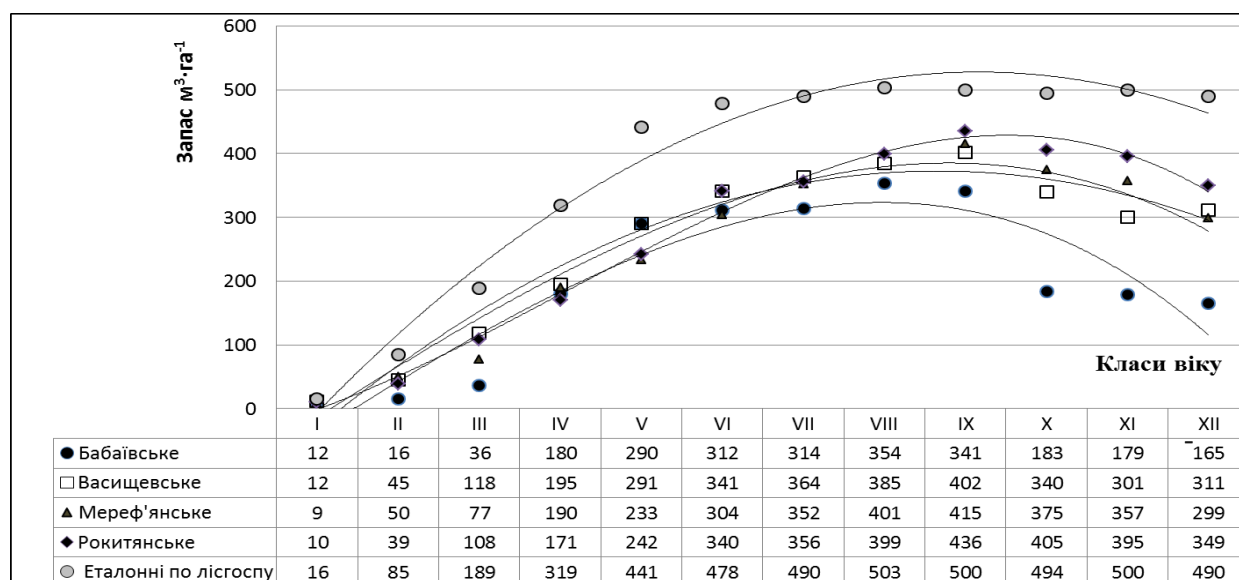


Рис. 4.35 – Запаси сосняків свіжого субору (B_2) у л-вах за класами віку

Залежність запасів сосняків від віку еталонних деревостанів у ДП «Жовневе ЛГ» та модальних у досліджуваних лісництвах добре апроксимують поліноміальні функції другого порядку (4.2–4.6), які є достовірними:

– запас еталонних сосняків у ДП «Жовневе ЛГ»:

$$M = -6,0623 \times A^2 + 108,64 \times A, R^2 = 0,89, t_{\phi} = 3,84, t_{0,01} = 3,16, \quad (4.2)$$

– запас модальних соснових деревостанів у л-вах:

• Бабаївське:

$$M = -4,4856 \times A^2 + 70,409 \times A, R^2 = 0,66, t_{\phi} = 2,49, t_{0,1} = 1,83, \quad (4.3)$$

• Васищевське:

$$M = -3,8405 \times A^2 + 73,496 \times A, R^2 = 0,85, t_{\phi} = 4,21, t_{0,01} = 3,16, \quad (4.4)$$

• Мереф'янське:

$$M = -2,8615 \times A^2 + 64,877 \times A, R^2 = 0,86, t_{\phi} = 5,27, t_{0,01} = 3,19 \quad (4.5)$$

• Рокитнянське:

$$M = -2,4922 \times A^2 + 64,165 \times A, R^2 = 0,89, t_{\phi} = 6,43, t_{0,01} = 3,16, \quad (4.6)$$

Значно менша кореляційна залежність запасу модальних сосняків від віку в Бабаївському л-ві ($R^2 = 0,66$ $p=0,05$) доводить значний вплив рекреаційного тиску та пожежного режиму на ріст соснових деревостанів. У віці понад 70 років вони були найменш продуктивними, а після 90 років запас різко знижувався (рис. 4.36). Дещо менше зниження запасу в цьому ж віці відзначено у Васищевському л-ві, але для менших класів віку суттєвих відмінностей від Мереф'янського та Рокитнянського л-тв не виявлено. У цих двох л-вах середній запас знижується зі збільшенням віку деревостанів.

У Мереф'янському та Рокитнянському л-вах, де горимість лісів менша, запас модальних сосняків Х–ХІІ класів віку найвищий (від 363 до 411 м³·га⁻¹). Водночас навіть у них різниця фактичного запасу із потенційним у менших класах віку велика. Набагато менший від запас сосняків до 30 років. Найбільшу різницю (понад 80 %) виявлено в сосняках Бабаївського л-ва ІІ та ІІІ класів віку.

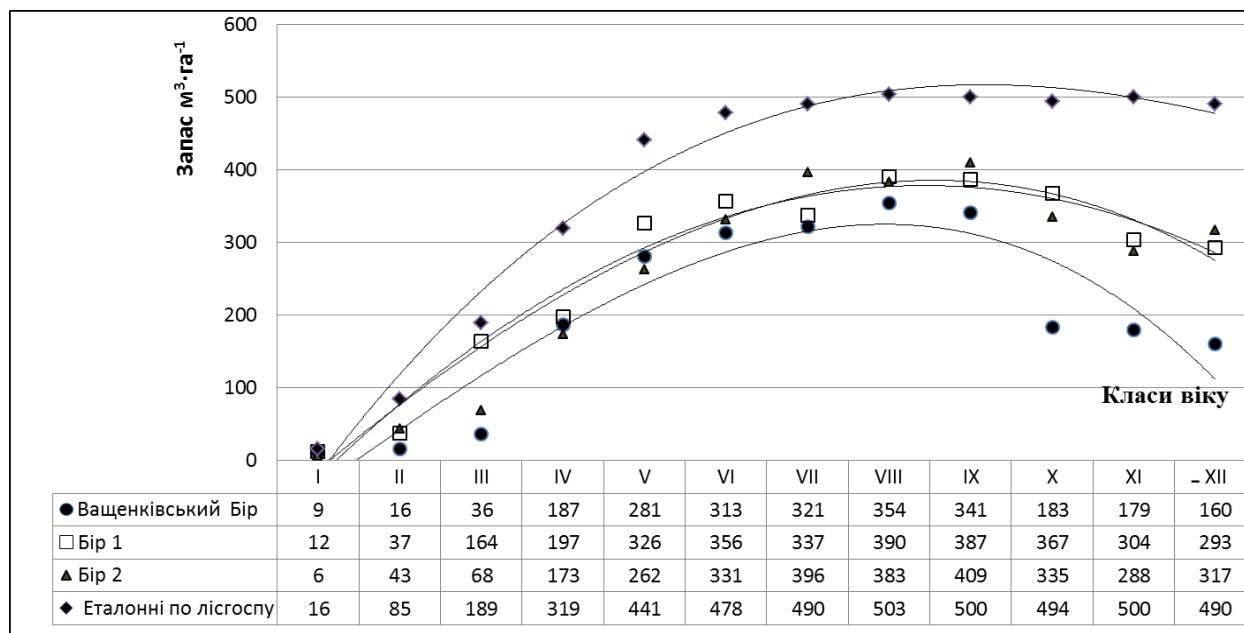


Рис. 4.36 – Запаси модальних сосняків у межах досліджуваних урочищ та еталонних у підприємстві в ТЛУ В₂ за класами віку

Горимість за кількістю пожеж у пожежонебезпечних урочищах надзвичайна, а за площею, коливалася від вище середнього до надзвичайної. Найвища вона в урочищі «Ващенківський Бір» Бабаївського л-ва. У урочищах «Бір 1» і «Бір 2» Васищевського л-ва горимість в два рази меншою.

Частка пожеж в окремих урочищах коливалася від 35 до 73 % від загальних значень у лісництві, а в деякі роки сягала 100 % (табл. 4.42).

Таблиця 4.42 – Горимість окремих урочищ Бабаївського та Васищевського л-тв

Л-во	Урочище	Квартали	Відносна горимість на 1000 га				Частка пожеж від кількості за рік у л-ві, %	
			за кількістю випадків		за площею, га		за кількістю	за площею
Бабаївське	Ващенківський Бір	22–34	44	Над.	3,6	Над.	73	73
Васищевське	Бір 1	69–89, 139–140, 154–156	23	Над.	2,2	Вис.	50	50
	Бір 2	90–129	17	Над.	1,4	В. ср.	35	34

У переважаючому ТЛУ В₂ площа сосняків різних класів віку в урочищах суттєво різнилася (табл. 4.43). Основна частка припадала на V–VIII класи віку. У сосняків в урочищі «Ващенківський Бір» Бабаївського л-ва, що мало найбільшу горимість, помічено значне зниження повноти та бонітету. Так, повнота середньовікових соснових деревостанів там становила 0,67, а бонітет – переважно II, тоді як в урочищах Васищевського л-ва («Бір 1» та «Бір 2») ці показники становили 0,73–0,83 і I,3–I,4 відповідно. Повнота пристиглих і стиглих сосняків урочища «Ващенківський Бір» у віці 100–110 років знижувалася до 0,30. Сосняки III класу віку мали найнижчий бонітет – III,4.

Таблиця 4.43 – Розподіл площі та середніх повноти й бонітету сосняків за класами віку досліджуваних урочищ

Клас віку	Площа, га			Повнота			Бонітет		
	Ващенківський Бір	Бір 1	Бір 2	Ващенківський Бір	Бір 1	Бір 2	Ващенківський Бір	Бір 1	Бір 2
I	5,2	10,3	2,1	0,83	0,65	0,70	I,4	I,4	I,4
II	3,5	4,5	7,0	0,63	0,78	0,74	I,4	I,7	I,4
III	4,5	16,6	10,0	0,70	0,84	0,84	III,4	I,6	I,7
IV	11,6	11,4	11,2	0,71	0,89	0,72	I,5	I,4	I,8
V	23	93,4	41,2	0,82	0,85	0,86	I,0	I,6	I,9
VI	200,9	139,0	198,1	0,76	0,83	0,81	I,5	I,3	I,3
VII	35,8	68,2	172,3	0,80	0,71	0,82	II,2	I,4	I,3
VIII	72,4	139,5	188,4	0,80	0,74	0,79	II,0	I,5	I,7
IX	16,3	54,9	117,3	0,63	0,71	0,75	II,0	I,7	I,7
X	6,9	15,2	22,2	0,38	0,68	0,63	II,4	II,1	I,9
XI	1,9	2,5	1,0	0,30	0,65	0,50	II,4	II,4	II,4
XII	–	9	26,0	–	0,49	0,57	–	II,2	II,6
Сер.	–	–	–	0,67	0,74	0,73	I,8	I,7	I,8
Σ	382,0	564,5	795,0	–	–	–	–	–	–

Різниця запасів еталонних і модальних сосняків у межах окремих урочищ була значною. Мінімальний запас модальних сосняків визначено для більшості класів віку урочища «Ващенківський Бір». Для нього є характерним дуже низький запас сосняків до 30 років та різке зменшення запасу стиглих і перестійних деревостанів. Поліноміальна крива другого порядку ходу росту показала, наскільки нерівномірно відбувається зміна запасу із віком ($R^2 = 0,91$). В урочищах «Бір 1» і «Бір 2» Васищевського л-ва різниця запасів модальних та еталонних сосняків була також доволі суттєвою (до 40 років), але спад у віці понад 90 років виявився менш відчутним. Запаси сосняків цих урочищ, горимість яких схожа у багатьох класах віку, суттєво не різнилися.

Розподіл запасів модальних сосняків у межах класів віку в окремих урочищах описують поліноміальні функції другого порядку (4.6–4.8), які є достовірними:

- «Ващенківський Бір»:

$$M = -5,2151 \times A^2 + 76,131 \times A, R^2 = 0,65, t_{\phi} = 2,48, t_{0,1} = 1,83, \quad (4.6)$$

- «Бір 1»:

$$M = -4,3189 \times A^2 + 77,643 \times A, R^2 = 0,85, t_{\phi} = 3,79, t_{0,01} = 3,16, \quad (4.7)$$

- «Бір 2»:

$$M = -3,4371 \times A^2 + 69,677 \times A, R^2 = 0,82, t_{\phi} = 4,27, t_{0,01} = 3,16, \quad (4.8)$$

де M – запас модальних сосняків, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

A – вік деревостанів, років.

Порівняння запасів модальних сосняків у л-вах та урочищах із показниками еталонних сосняків ДП «Жовтневе ЛГ» дало можливість визначити втрати деревини сосняками державного підприємства через показник використання ними лісорослинного потенціалу (табл. 4.44). Найменший показник ВЛП встановлено у Бабаївському л-ві, що має найбільшу середньорічну горимість за кількістю та площею пожеж. Найменші значення в молодняках і стиглих сосняках. Використання лісорослинного потенціалу сосняками було ще меншим, ніж сосновими деревостанами в л-вах. Так, в урочищі «Ващенківський Бір» у сосняках II класу віку він становив лише 38 %, а III класу віку – 40 %. Значення показника ВЛП менше ніж 50 % виявлено не лише в цьому урочищі (X та XI класи віку), а й в урочищі «Бір 2» (I–III класи віку). У сосняках урочищ Васищевського л-ва віком понад 50 років у більшості класів віку показник ВЛП коливався в межах 63–82 %.

Таблиця 4.44 – Використання лісорослинного потенціалу сосняками, %

Клас віку	Л-во				Урочище		
	Бабаївське	Васищевське	Мереф'янське	Роки-тянське	Ващенківський Бір	Бір 1	Бір 2
I	57	74	55	66	57	80	38
II	38	54	59	47	38	44	51
III	40	63	41	57	40	81	36
IV	56	61	60	53	59	62	54
V	66	66	53	55	64	74	59
VI	65	71	65	71	65	74	69
VII	62	72	69	70	66	69	81
VIII	70	76	80	79	70	77	76
IX	68	79	83	87	68	77	82
X	37	69	77	82	37	74	68
XI	41	69	82	80	41	69	66
XII	–	79	76	80	–	73	79
Сер.	51	70	67	69	51	71	63

4.4.2 Вплив низових пожеж на приріст соснових молодняків

4.4.2.1 Динаміка приросту за висотою

На ріст дерева впливають як внутрішні, так і зовнішні чинники, що викликають різні реакції дерева в різні періоди онтогенезу. Початок приросту за висотою відповідає початку подовження центральної бруньки. Початком періоду активного росту є розкриття верхівкової бруньки й утворення центрального пагону в третій декаді квітня – першій половині травня. Максимум інтенсивності росту за діаметром – у червні-липні, тобто у період найбільшого росту однолітніх пагонів і хвої. Тому пожежа наприкінці травня 2011 р., пошкодила основний молодняк під час проходження ним фази «періоду активного росту» – на фазі «максимуму інтенсивності росту».

Пошкодження дерев призвело до зниження як приросту поточного так і наступного року Середній поточний приріст за висотою в рік пожежі та через рік після неї на контролі є вищим, ніж у пошкоджених пожежею дерев (рис. 4.37, табл. 4.45). Це пов'язано з тим, що на приріст впливають як умови минулого року (ембріональна фаза формування приросту – липень-вересень попереднього вегетаційного сезону – коли утворюються бруньки), так і цього річчч чинники впливу (постембріональна стадія формування асиміляційного апарату й річного кільця деревостанів – травень-червень поточного вегетаційного сезону).

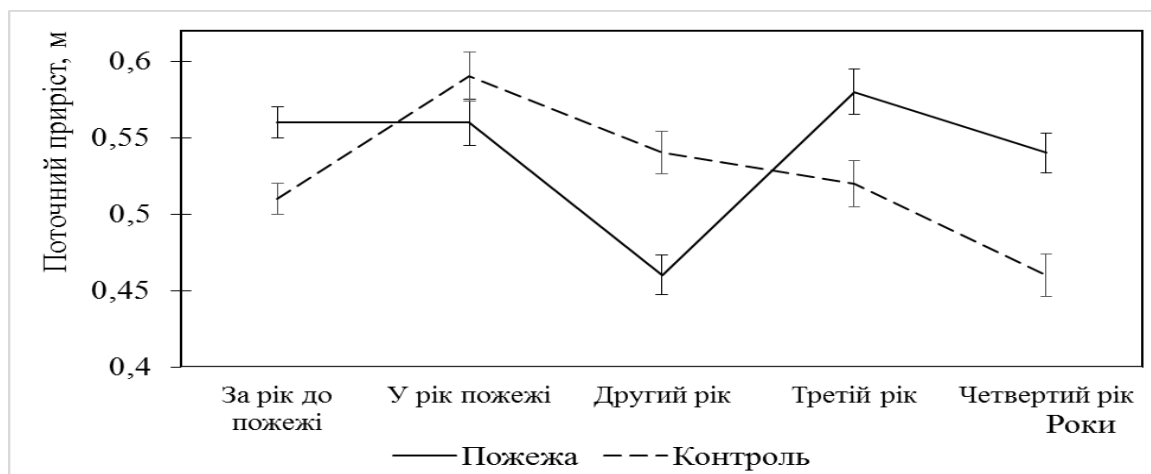


Рис. 4.37– Прирости за висотою у дерев контрольної та пошкодженої вогнем груп упродовж п'яти років

Таблиця 4.45 – Середні показники приросту дерев за висотою на пошкодженій і контрольній ППП упродовж чотирьох років після низової пожежі

Група	Поточний приріст за висотою, м/рік				
	за рік до пожежі	у рік пожежі	на другий рік після пожежі	на третій рік після пожежі	на четвертий рік після пожежі
Пошкоджена ППП	0,56 ± 0,01	0,56 ± 0,016	0,46 ± 0,014	0,58 ± 0,015	0,54 ± 0,014
Контроль	0,51 ± 0,01	0,59 ± 0,015	0,54 ± 0,013	0,52 ± 0,015	0,46 ± 0,013

На другий після пожежі рік приріст у висоту на пошкоджених ділянках відновився до рівня контролю (навіть дещо його перевищив). На третій рік середній приріст пошкодженого сосняку був більшим на 0,08 м порівняно з контролем. Таке зростання приросту відбулося внаслідок збільшення площ живлення та покращення освітленості дерев, що залишилися.

Різниці середніх приростів пошкоджених і контрольних дерев виявилися статистично достовірними (табл. 4.46). Відмінності між групою пошкоджених і контрольних дерев не підтверджено лише для приростів у рік пожежі. Дещо вищі показники дисперсії в групі пошкоджених дерев у подальші роки пояснюються впливом різного ступеня пошкодження (як крони, так і стовбура).

Таблиця 4.46 – Результати t -тесту при порівнянні пошкодженої і контрольної груп дерев

Середнє	Рік									
	За рік		Перший		Другий		Третій		Четвертий	
	П	К	П	К	П	К	П	К	П	К
	0,56	0,51	0,57	0,59	0,60	0,54	0,60	0,52	0,56	0,46
Дисперсія	0,03	0,02	0,05	0,03	0,05	0,02	0,05	0,02	0,04	0,02
t_f	2,83		-0,89		3,03		3,96		5,87	
$t_{0,05}$	1,97		1,97		1,97		1,97		1,97	
p	0,01		0,37		0,003		0,002		0,001	

Примітка. П – дерева, пошкоджені низовою пожежею, К – контроль.

Пригнічені в рості дерева, які мали меншу висоту й низько спущену крону, отримали суттєві пошкодження, що спричинило усихання значної частки дерев у перші два роки після пожежі.

За допомогою кореляційного аналізу виявлено (табл. 4.47), що серед таксаційних показників найдужче на приріст впливає початкова висота дерева до пожежі: у більших за розміром дерев і приріст був вищим (прямий зв'язок), а серед параметрів, які характеризують пошкодження, – дехромація (обернений зв'язок). Для прикладу, зв'язок висоти дерева з приростом послабився (значення r змінилося від 0,5 за рік до пожежі до -0,02 на третій рік після неї (відсутність зв'язку)).

Таблиця 4.47 – Кореляційна залежність між приростами та розмірами дерев

Приріст у висоту	Таксаційні показники дерев на ПП			Показники, які характеризували величину пошкодження/ослаблення				
	D , см	H , м	КК	Стан	H_{max} , м	Дех, %	$H_{від}$, м	Підсушина, м
За рік до пожежі	0,40	0,50	-0,40	Рік до пошкодження				
Рік пожежі	0,29	0,38	-0,28	-0,29	-0,05	-0,34	-0,20	-0,17
Другий рік	0,13	0,19	-0,12	-0,24	-0,17	-0,28	-0,22	-0,29
Третій рік	0,12	0,19	-0,12	-0,25	-0,16	-0,26	-0,21	-0,21
Четвертий рік	-0,01	-0,02	0,04	0	0	0,10	0	-0,08

Примітка. Жирним шрифтом – достовірні ($p = 0,01$).

Тіснота зв'язку між дехромацією крон і приростом за висотою зменшилася від -0,34 у рік пожежі до 0,10 на третій рік після неї.

Дерева на ППП після низової пожежі та на контрольній ППП (табл. 4.48) було розподілено на три групи за висотою (ранжовано) і досліджено їхній приріст. Дерева всередині груп було додатково розподілено на групи за рівнем пошкодження з градацією 25 %.

Таблиця 4.48 – Мінливість приросту різних за висотою груп дерев, ослаблених низовою пожежею, за результатами однофакторного дисперсійного аналізу

Група за висотою	Середнє	Дисперсія	F_f	p	F_{st}
Рік пожежі					
Перша	0,39	0,050	19,70	0,00	3,03
Друга	0,54	0,031			
Третя	0,65	0,055			
Другий рік					
Перша	0,39	0,034	4,10	0,02	3,03
Друга	0,47	0,039			
Третя	0,52	0,057			
Третій рік					
Перша	0,45	0,045	8,30	0,00	3,03
Друга	0,60	0,049			
Третя	0,64	0,041			
Четвертий рік					
Перша	0,48	0,046	2,74*	0,07*	3,03
Друга	0,57	0,035			
Третя	0,58	0,050			

Примітка. *Результат недостовірний.

Однофакторним дисперсійним аналізом (ОДА) (табл. 4.48) доведено достовірність відмінностей між приростами дерев різних груп за висотою. За дослідний період у пошкоджених сосняках дерева різних груп за початковою висотою мали різні величини приросту.

На третій рік після пожежі ОДА не підтвердив відмінності між деревами різних груп. Дерева другої та третьої груп фактично не різнилися (приріст становив 0,57 м та 0,58 м відповідно). Це сталося внаслідок збільшення площі живлення та надходження світла через те, що упродовж перших двох років після пожежі відбувся відпад значної частки дерев.

Додатково було проведено t -тест. Порівнювали дві групи дерев (першу й третю). Встановлено, що відмінності в приростах між цими двома групами є статистично достовірними, тобто панівні дерева мали достовірно більший приріст ($t_f = -2,20$; $t_{0,05} = 2,02$).

Приріст за висотою пригнічених дерев (перша група) за рік до пожежі на контролі та на ППП не розрізнявся (табл. 4.49). У рік пожежі й впродовж двох років після неї приріст на контролі суттєво перевищував показники на ППП, пошкоджених низовою пожежею. Лише через три роки після пожежі темпи росту пошкоджених пожежею дерев відновилися і навіть перевершили

показники, отримані на контролі. Це пояснюється впливом природного зрідження на контролі, коли найменші дерева не витримують конкуренції більших, а також збільшенням площі живлення й покращенням умов освітлення деяких дерев на пошкоджених ділянках.

Таблиця 4.49—Прирости за висотою контрольних та пошкоджених вогнем дерев

Група за висотою	Приріст за висотою				
	у рік до пожежі	у рік пожежі	на другий рік	на третій рік	на четвертий рік
Перша	$0,41 \pm 0,032$	$0,40 \pm 0,053$	$0,40 \pm 0,039$	$0,49 \pm 0,042$	$0,51 \pm 0,043$
Друга	$0,54 \pm 0,016$	$0,54 \pm 0,017$	$0,46 \pm 0,018$	$0,58 \pm 0,020$	$0,56 \pm 0,018$
Третя	$0,66 \pm 0,021$	$0,65 \pm 0,027$	$0,48 \pm 0,025$	$0,62 \pm 0,025$	$0,53 \pm 0,026$
1К*	$0,39 \pm 0,031$	$0,46 \pm 0,032$	$0,56 \pm 0,037$	$0,57 \pm 0,055$	$0,41 \pm 0,024$
2К*	$0,51 \pm 0,015$	$0,59 \pm 0,023$	$0,52 \pm 0,020$	$0,50 \pm 0,019$	$0,47 \pm 0,023$
3К*	$0,58 \pm 0,023$	$0,65 \pm 0,020$	$0,56 \pm 0,018$	$0,50 \pm 0,018$	$0,47 \pm 0,015$

* К – контроль

Прирости дерев другої групи (висота 3,0–4,6 м) за рік до пожежі на контролі та на ППП також не різнилися (табл. 4.49, рис. 4.38). У рік пожежі приріст дерев на контролі суттєво перевершував показники приростів за висотою дерев, пошкоджених низовою пожежею. Водночас у цьому випадку відновлення приросту реєстрували через два роки після пожежі, коли приріст у висоту на ділянках, пошкоджених пожежею, перевершив контроль. Через три роки після пожежі така тенденція зберігалася.

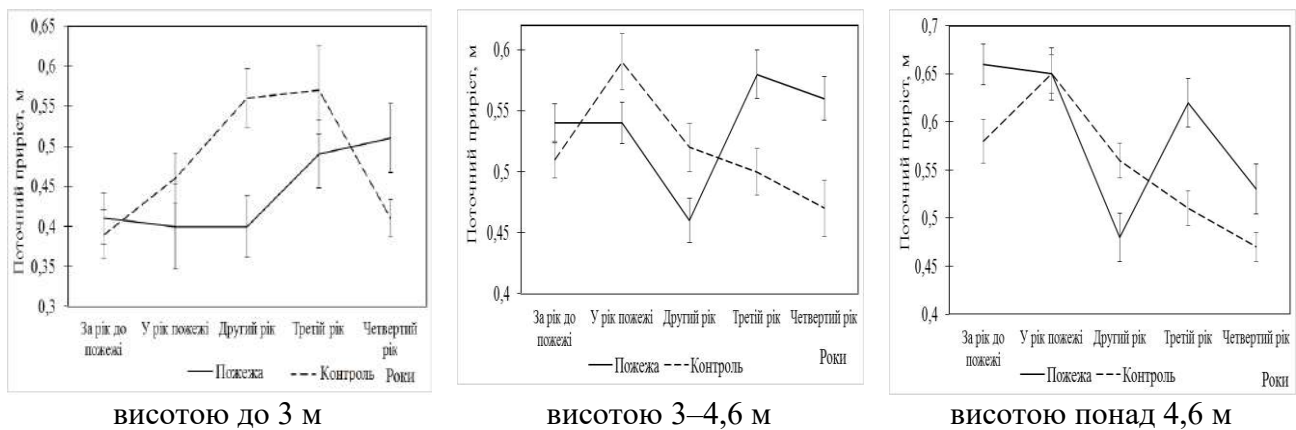


Рис. 4.38 – Приріст за висотою контрольних і пошкоджених вогнем дерев

Панівні і препанівні дерева третьої групи у рік пожежі мали прирости такі ж, як і на контролі, й лише на другий рік знизили приріст унаслідок ослаблення після пошкоджень. На третій рік після пожежі такі дерева повністю відновили темпи приросту.

Для дослідження впливу пошкодження вогнем на приріст за висотою дерева кожної групи в досліді та контролі було розподілено за рівнями дехромації з градацією 25 %.

Для пригнічених дерев (перша група) простежується стрімкий спад приросту у рік пожежі (табл. 4.50). Лише дерева з мінімальними пошкодженнями мали дещо вищі показники приросту за висотою (перевершували контроль на 18 %), але зі збільшенням пошкодження від 25 % до 90 % приріст знижувався від 0,41 до 0,26 м, що було меншим від контрольних значень на 12 % та 77 % відповідно.

У наступний рік після пожежі усі дерева (як із мінімальними, так із максимальними пошкодженнями) мали менший приріст порівняно з контролем (на 10 % – за мінімальних пошкоджень та на 155 % – за максимальних). Унаслідок ослаблення дерев низовою пожежею приріст наступного року зменшився, причому депресія приросту пригнічених дерев, на відміну від інших груп, тривала два роки після пожежі, і лише на четвертий рік приріст досяг рівня контролю.

Для дерев другої групи (висота 3–4,6 м) у рік пожежі й наступного року після пожежі, навіть за дехромації половини крони, не відбулося суттєвого зменшення приросту (0–3 % від контролю). Збільшення ступеня дехромації крони понад 50 % спричиняло зниження приросту на 16–33 %. На третій рік після пошкодження вогнем приріст повністю відновився в усіх дерев незалежно від ступеня пошкодження (перевершував контроль на 7–24 %).

Таблиця 4.50 – Вплив пірогенного пошкодження крон дерев на приріст за висотою соснового молодняку

Дехромація, %	Приріст за висотою, м/рік				Проти контролю, %			
	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Перша група (до 3 м)								
0–25	0,56	0,51	0,60	0,47	18	-10	5	13
26–50	0,41	0,35	0,62	0,62	-12	-60	8	34
51–75	0,36	0,38	0,49	0,51	-28	-47	-16	20
76–90	0,26	0,22	0,20	0,30	-77	-155	-185	-37
Контроль	0,46	0,56	0,57	0,41	–	–	–	–
Друга група (3–4,6 м)								
0–25	0,61	0,52	0,61	0,56	3	0	18	16
26–50	0,60	0,52	0,63	0,58	2	0	21	19
51–75	0,49	0,45	0,59	0,62	-20	-16	15	24
76–90	0,47	0,39	0,54	0,57	-26	-33	7	18
Контроль	0,59	0,52	0,5	0,47	–	–	–	–
Третя група (понад 4,6 м)								
0–25	0,85	0,52	0,73	0,53	24	-8	30	11
26–50	0,70	0,55	0,62	0,57	7	-1	18	18
51–75	0,57	0,44	0,65	0,57	-14	-27	22	18
76–90	0,52	0,41	0,60	0,54	-25	-37	15	13
Контроль	0,65	0,56	0,51	0,47	–	–	–	–

У панівних і препанівних дерев за незначного рівня пошкодження (до 25 %) збільшився приріст у рік пожежі. Водночас у випадку пошкодження понад 25 % крони приріст зменшився на 25 % проти контролю. Через рік після

пожежі приріст зменшився, а через три роки він відновився і навіть збільшився проти контролю на 11–30 %.

Відновлення приросту дерев, які не були пригніченими в рості, відбулося лише на третій рік після пожежі. Приріст за висотою на третій та четвертий роки не лише наблизився до показників контрольних дерев, але й перевершив їх на 7–30 % незалежно від ступеня пошкодження крони, яка до цього періоду практично повністю відновилася. Приріст також підвищився у зв'язку зі збільшенням площі живлення дерев (після відпаду дерев, які мали летальні пошкодження) та покращенням освітленості крон дерев, що залишилися.

4.4.2.2 Динаміка радіального приросту

Досліджено радіальний приріст (рис. 4.39) соснового молодняку, пошкодженому пожежею у третій декаді травня 2011 р. Метеодані, використані для встановлення впливу варіацій клімату на формування шарів різних видів деревини, подано в додатку А2 .

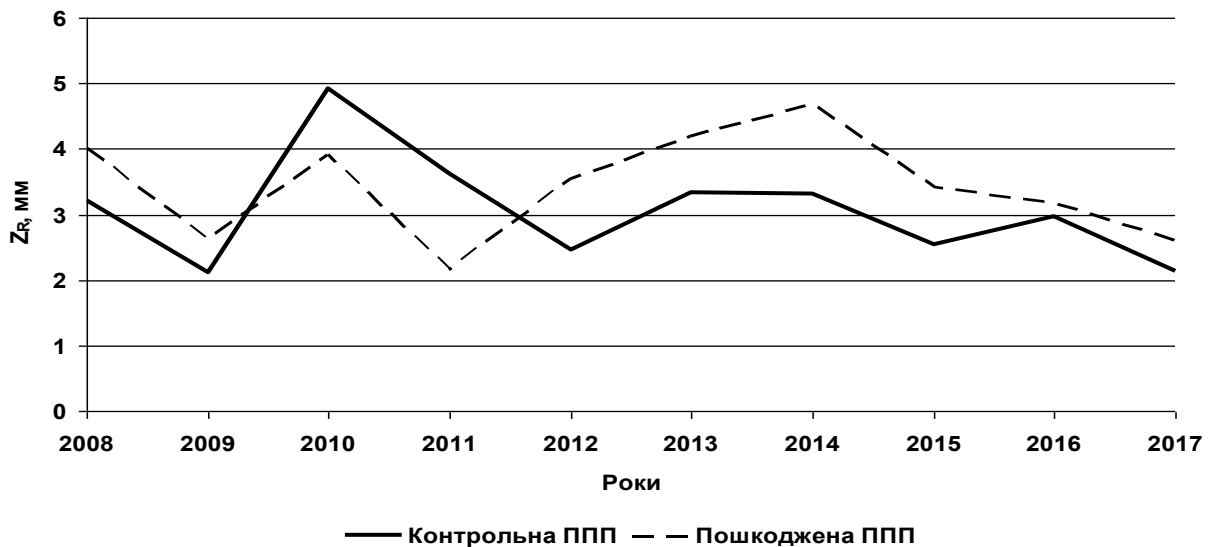


Рис. 4.39 – Динаміка радіального приросту (Z_R , мм) у сосновому молодняку, пошкодженому пожежею 2011 р.

У період до пожежі (2008–2010 рр.) радіальний приріст (табл. 4.51) у пошкодженому сосняку на 3 % перевищував контроль. В цей період радіальний приріст змінювався подібно до приросту на контролі. Подібність було порушено пожежею 2011 р. У рік пожежі радіальний приріст пошкоджених дерев був на 42 % менший ніж на контролі. Після пожежі у 2012–2017 рр. відмічено збільшення радіального приросту в пошкодженому сосняку внаслідок значного відпаду майже 24 %, пошкоджених пожежею дерев. Це стало причиною так званого «світлового» приросту дерев, внаслідок збільшення площі живлення та покращення світлових умов для дерев, що залишилися. У наступні роки відпад дерев коливався в межах 0,5–2 %. В перші роки після пожежі пошкоджені дерева мали приріст на 35 % вищий за контроль, то в наступні 2016–2017 рр. ця різниця зменшилася до 20 %..

Таблиця 4.51– Різниця між середніми значеннями радіального приросту сосни у допожежний та післяпожежний періоди і в рік пожежі

ППП	Середній радіальний приріст, мм	$t_{\text{факт.}}$	$t_{\text{теор.}}$
Допожежний період (2008–2010 рр.)			
Пошкоджена ППП	3,42	0,17	2,78
Контроль	3,51	–	–
Рік пожежі (2011 рік)			
Пошкоджена ППП	3,60	2,154* _{0,05}	2,150 _{0,05}
Контроль	2,10	–	–
Післяпожежний період (2012–2017 рр.)			
Пошкоджена ППП	2,80	6,09** _{0,001}	4,59
Контроль	3,60	–	–

Примітка. 2,154*_{0,05} – рівень значущості 0,05; 6,09**_{0,001} – рівень значущості 0,001.

Роками максимального приросту були 2010, 2014 та 2016. Депресію радіального приросту виявлено в 2009, 2011 (для пошкодженого насадження), 2012 (для контролю) та 2015 рр. Знайдено помірний зв'язок ($r=0.54$ $p=0.05$) між показниками радіального приросту та мінімальною висотою нагару для 2011 р.

Отже в період до пожежі різниця між приростом сосняків була недостовірною. В рік пожежі (2011 р.) зафіксовано достовірне зменшення радіального приросту пошкодженого сосняку порівняно з контролем. Встановлено залежність між радіальним приростом та мінімальною висотою нагару на стовбурі для 2011 р. Після пожежі (2012–2017 рр.) відмічене достовірне збільшення радіального приросту пошкоджених дерев порівняно з контролем. У 2016 та 2017 рр. спостерігається синхронність коливань радіального приросту між пошкодженими та контрольними деревами, а й недостовірна різниця між ними, що свідчить про стабілізацію стану дерев.

Таким чином, пожежа спричинила загибель ослаблених і відсталих у рості дерев, значно пришвидшивши процес природного зрідження насадження. Унаслідок цього конкуренція за світло та ресурси живлення певною мірою послабилася. Відновлення радіального приросту дерев, які залишилися живими, відбулося у 2014 р.

4.4.3 Радіальний приріст пошкоджених пожежею середньовікових сосняків

Проаналізовано динаміку радіального приросту дерев у середньовікових (56 років) сосняках після пошкодження низовими пожежами. Пожежа сталася навесні 2011 р. На ППП 15 висота нагару на стовбурі становила 0,61 м, на ППП 16 – 1,76 м та на ППП 17 – 2,76 м. Повнота насаджень коливалася в межах 0,83–0,93 (рис.4.40).

У липні 2014 р. на ППП 15 всохло 11 % дерев, на ППП 16 – 21 %, на ППП 17 – 48 % (32 дерева всохло, а 65 дерев було зрубано до 2013 р.), індекс санітарного стану в цьому насадженні був 4,03 на відміну від ППП 15 та ППП 16, де відповідні величини становили 3,05 та 3,17, тобто стан насаджень був дещо кращим, що вплинуло на площу живлення дерев та на динаміку

радіального приросту сосни. У результаті зафіксовано найвищі прирости в найбільш пошкодженому насадженні на ППП 17, де збільшилася площа живлення дерев унаслідок відпаду та санітарних рубок. У рік пожежі найглибшу депресію приросту зафіксовано на ППП 15 та ППП 16.

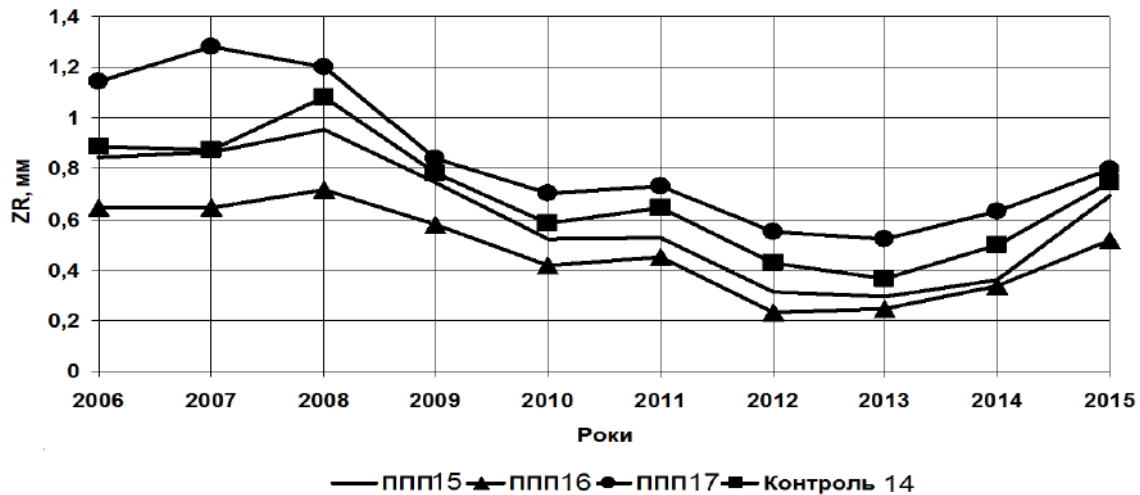


Рис. 4.40 – Динаміка радіального приросту сосняків із різним рівнем пірогенного пошкодження

На ППП 15 зафіксовано зменшення радіального приросту у 2011–2015 рр. проти попереднього періоду (2006–2010 рр.) на 43 %, на ППП 16 – на 40 %, на ППП 17 – на 37 %, на контролі – на 35 %.

Отже, зменшення радіального приросту на пошкоджених пожежами ППП були більшими, ніж на контролі, у зв'язку зі збільшенням відпаду дерев та санітарними рубками (табл. 4.52)

Таблиця 4.52 – Радіальний приріст сосняків із різним пошкодження пожежею

ППП	$H_{наг}$, м, м	Радіальний приріст до пожежі (2006–2010 рр.)		Радіальний приріст після пожежі (2011–2015 рр.)	
		Середнє радіального приросту, мм/похибка	Дисперсія	Середнє радіального приросту, мм/похибка	Дисперсія
15	0,61	0,78 ± 0,07	0,03	0,44/0,07	0,03
16	1,76	0,60/0,05	0,01	0,36/0,06	0,02
17	2,76	1,10/0,12	0,07	0,70/0,04	0,01
14-К	0,00	0,84/0,08	0,03	0,54/0,07	0,02

Дисперсія, яка характеризує відхилення значень від середнього, найбільшою мірою знизилася в найбільш пошкодженому насадженні (ППП 17) – від 0,07 до 0,01, що свідчить про втрату швидкої реакції насадження на зміну умов довкілля, а отже й про втрату стійкості після пожежі.

У рік пожежі відносно високі значення радіального приросту виявлено на фоні значної кількості опадів впродовж квітня – серпня (330 мм). Відомо, що переважно опади лімітують приріст дерев у лісостеповій зоні [28]. У наступному році в цей період випало всього 200 мм опадів, що негативно позначилося на формуванні шарів річної деревини в ослаблених пожежею насадженнях. Температурний режим упродовж квітня – серпня був сприятливішим у рік пожежі – у 2011 р. (середня температура за цей період становила 18°C). У наступному 2012 р. середня температура повітря за відповідний період була вищою (21°C), що теж негативно вплинуло на приріст.

4.4.4 Взаємозв'язки між пошкодженням стовбура і радіальним приростом

Між індексами радіального приросту та висотою нагару достовірних зв'язків не виявлено, але між абсолютними величинами радіального приросту 2014 р. (табл. 4.53) та максимальною висотою нагару виявлено регресійний зв'язок, описаний кривою третього порядку. Результати регресійного аналізу свідчать про те, що 47 % ($R^2=0.47$ $p=0.05$) зменшення річного радіального приросту можна пояснити максимальною висотою нагару. Кореляційне відношення цих зв'язків, яке становить 0,69, є достовірним на рівні значущості 0,05. Таким чином, індекси в цьому випадку нівелюють вплив пожежі на приріст, і необхідно використовувати абсолютні значення річних кілець для виявлення зв'язків між радіальним приростом та іншими чинниками.

Таблиця 4.53 – Коефіцієнти кореляції між абсолютними величинами радіального приросту та висотою нагару на стовбурі

Рік	Висота нагару на стовбурі		
	Максимальна	Мінімальна	Середня
ППП 15			
2011	-0,07	0,05	-0,03
2012	0,16	0,30	0,22
2013	0,11	0,30	0,19
2014	-0,03	0,04	-0,01
2015	-0,08	0,00	-0,05
ППП 16			
2011	0,00	-0,01	-0,01
2012	-0,02	-0,33	-0,17
2013	-0,48	-0,45	-0,49
2014	-0,28	-0,40	-0,35
2015	-0,11	-0,14	-0,13
ППП 17			
2011	0,23	-0,02	0,14
2012	0,39	-0,04	0,23
2013	0,38	-0,12	0,18
2014	0,46*	0,28	0,42*
2015	0,07	0,24	0,16

Примітка*. Достовірність на рівні значущості 0,05.

У 2014 р. на найбільш пошкодженій ППП 17 дерева, які залишилися, відновили радіальний приріст. Цей процес описано кривими третього порядку. Коефіцієнти детермінації 0,47 (для максимальної висоти нагару на стовбурі) та 0,41 (для середньої висоти нагару на стовбурі) свідчать про те, що вплив висоти нагару на формування шарів річної деревини становив 47 та 41 % відповідно.

4.5 Основні показники індивідуальної вогнестійкості сосни звичайної

Пожежостійкість рослин як пірогенна властивість є ценотичною або ценопопуляційною формою стійкості до пожеж. Вона належить до пристосувальних реакцій першого рівня, що характеризують рослинні угруповання в результаті впливу на них зовнішніх чинників, зокрема пожеж. Така форма стійкості переважно зумовлена поліморфізмом дерев і деревостанів. Її основою є видова, вікова та структурна неоднорідність насадження, вертикальна й горизонтальна розчленованість тощо [159].

На відміну від пожежостійкості, яка стосується усього насадження, вогнестійкість визначає ступінь потенційної стійкості різних частин (органів) і усього дерева загалом до теплового впливу під час лісової пожежі та здатності зберігати свою життєдіяльність на індивідуальному рівні.

4.5.1 Висота стовбура до нижньої живої гілки як показник вогнестійкості

Спроможність окремого дерева до відновлення внаслідок теплового впливу зумовлена його індивідуальними теплозахисними властивостями. Так, важливими показниками пожежостійкості чистих одновікових соснових насаджень є насамперед висота стовбура до першої живої гілки (у насадженнях із низько опущеними кронами збільшується ризик переходу низової пожежі у верхову), зімкненість і повнота насадження (у зріджених насадженнях, у зв'язку з розростанням злаків, збільшується ймовірність виникнення пожеж).

Важливим аспектом оцінювання пожежостійкості насаджень є виявлення вікових особливостей зміни висоти стовбура до першої живої гілки (рис. 4.41).

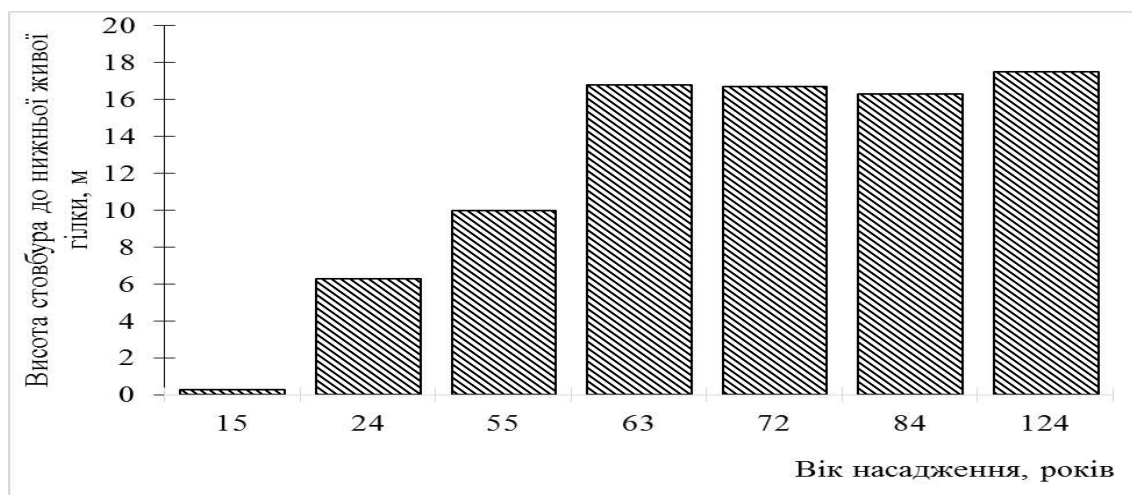


Рис. 4.41 – Висота стовбура до нижньої живої гілки в сосняках різного віку

Найменшу висоту стовбура до нижньої живої гілки відзначено в молодняках (у 15-річних сосняках мінімальне значення показника становить 0,3 м, у 24-річних – 2,0 м). Унаслідок збільшення віку та зімкненості насаджень цей показник збільшується (максимальну висоту стовбура до нижньої живої гілки визначено у 72-річному сосняку – 19,2 м). У старших сосняках вікового ряду висота стовбура до нижньої живої гілки є меншою (у 124 річному – 17,5 м), що пов'язано з низькою повнотою (0,65).

Своєчасне проведення лісогосподарських заходів щодо формування оптимальної густоти та зімкненості крон у середньовікових, пристиглих, стиглих і перестійних сосняках забезпечує посилення пожежостійкості деревостанів та зменшення ймовірності переходу низової пожежі у верхову. У молодняках одним із протипожежних заходів є підрізання нижніх гілок крони.

4.5.2 Висота грубої кори у дерев у сосняках різних вікових груп

Висота й товщина грубої кори є одними із показників вогнестійкості дерев. Дерев сосни в середньовікових насадженнях у свіжих гігروتпах за висоти нагару, яка не перевершує висоту грубої кори, вирізняються більшою вогнестійкістю. Такі дерева не мають поверхневої кореневої системи та сформованих кореневих лап. Водночас завдяки тому, що крони знаходяться на значній висоті над поверхнею ґрунту (високе розташування нижньої живої гілки), вони уникають впливу конвективних потоків під час низових пожеж. Саме для таких насаджень висота грубої кори є одним із найбільш інформативних показників індивідуальної вогнестійкості дерев сосни.

Як зазначають С. Л. Шевелєв та А. Н. Курченко, формування грубої кори на певній висоті стовбура дерев сосни звичайної є складним процесом, який залежить як від спадковості, так і від чинників середовища [242].

Встановлено, що верхня межа розташування грубої кори на стовбурі залежить від діаметра дерева. У насадженнях різного віку в умовах свіжого субору виявлено достовірний зв'язок між висотою грубої кори та діаметром дерев ($r = 0,97$; $t_f = 11,28$; $t_{st0,01} = 3,25$).

За допомогою регресійного аналізу було досліджено характер зв'язку між висотою грубої кори та діаметром у межах вікових груп (табл. 4.54). Було встановлено, що зв'язок між діаметром і висотою грубої кори має середню силу ($r = 0,64$ $p = 0,05$). Тіснота такого зв'язку слабшає з віком дерев, зокрема у 120-річному сосняку зв'язок відсутній ($r = 0,07$).

Таблиця 4.54 – Залежність між діаметром дерев і висотою грубої кори

Вік, років	Регресійне рівняння	R^2	$r, p = 0,05$	Характер зв'язку	n
15	$y = 0,0528x + 0,6045$	0,19	0,44	помірний	63
24	$y = 0,163x + 1,0106$	0,22	0,47	помірний	126
55	$y = 0,1035x + 0,637$	0,08	0,30	помірний	165
72	$y = 0,2175x - 1,7471$	0,18	0,42	помірний	114
82	$y = 0,1955x - 0,3076$	0,22	0,50	значний	117
124	$y = 0,0287x + 7,5819$	0,01	0,07	відсутній	45

Шляхом розподілу дерев сосни за ступенями товщини не лише підтверджено збільшення висоти грубої кори зі збільшенням діаметра стовбура, але й виявлено особливості формування грубої кори залежно від віку дерева (табл. 4.55).

Таблиця 4.55 – Середні значення висоти грубої кори дерев за ступенями товщини в різних за віком соснових насадженнях, м

Ступені товщини, см	Вік насаджень, років:					
	15	24	55	72	82	124
4	0,8	—	—	—	—	—
6	0,9	2,4	—	—	—	—
8	1,2	2,6	—	—	—	—
10	1,4	3,0	—	—	—	—
12	1,5	3,1	—	—	—	—
14	1,8	3,3	—	—	—	—
16	—	3,4	—	—	—	—
18	—	3,7	—	—	—	—
20	—	3,9	3,0	—	—	—
22	—	4,0	3,2	4,3	3,0	—
24	—	—	4,0	4,2	4,4	—
26	—	—	4,2	4,4	4,5	—
28	—	—	4,8	4,7	4,9	—
30	—	—	5,0	5,0	5,1	—
32	—	—	6,0	6,5	6,0	7,0
34	—	—	6,4	7,0	7,1	7,7
36	—	—	7,0	7,7	6,7	8,1
38	—	—	6,7	—	6,6	9,0
40	—	—	6,5	—	6,7	9,7
42	—	—	7,0	—	7,0	10,0
44	—	—	—	—	—	10,5
46	—	—	—	—	—	11,0
48	—	—	—	—	—	10,5
50	—	—	—	—	—	10,6
52	—	—	—	—	—	10,2
54	—	—	—	—	—	10,0
56	—	—	—	—	—	10,0
58	—	—	—	—	—	9,9
60	—	—	—	—	—	10,2
62	—	—	—	—	—	11,0
64	—	—	—	—	—	12,0

Коефіцієнт варіації за діаметром був меншим за коефіцієнт варіації висоти грубої кори. Висота грубої кори в усіх вікових групах має значне варіювання ($V > 25\%$). У середньовікових і пристиглих деревостанах цей показник сягає 51 %, у 85-річних та 124-річних насадженнях знижується до 41,5 % та 38,8 % відповідно. Навіть у межах одного ступеня товщини висота грубої кори може сильно різнитися.

Діаметр дерев варіював у межах вікових груп меншою мірою (табл. 4.56): у середньому рівень варіювання ознаки становив 14,6–21 %. У 15-річних та 24-річних сосняках діаметр дерев варіював від 20,7 до 21,0 %.

Для оцінювання значущості впливу віку на формування верхньої межі грубої кори було відібрано дерева в 15-річних і 24-річних сосняках у межах одного ступеня товщини. Методами дисперсійного однофакторного аналізу нерівномірного комплексу доведено достовірність впливу віку дерев на висоту грубої кори ($F_f = 83,2$; $F_{st} = 1,8$). Таким чином, різниця середніх значень висот грубої кори $1,3 \pm 0,07$ м для 15-річних дерев і $2,7 \pm 0,14$ м для 24-річних виявилася статистично значущою (при $p = 0,001$).

Таблиця 4.56 – Висота верхньої межі грубої кори ($H_{гр. к.}$) дерев сосни звичайної різних вікових груп

Вік, років	Показник	M	Min	Max	σ	V
15	$H_{гр. кори}, м$	$1,30 \pm 0,06$	0,60	3,00	0,50	38,70
	$D, см$	$10,16 \pm 0,25$	4,78	15,92	2,14	21,04
24	$H_{гр. кори}, м$	$3,31 \pm 0,09$	1,50	6,80	1,05	31,75
	$D, см$	$13,77 \pm 0,25$	7,96	21,02	2,85	20,73
55	$H_{гр. кори}, м$	$3,49 \pm 0,14$	0,50	8,50	1,77	50,81
	$D, см$	$27,83 \pm 0,42$	17,20	58,60	5,37	19,28
72	$H_{гр. кори}, м$	$4,18 \pm 0,19$	0,50	13,00	2,13	50,94
	$D, см$	$27,99 \pm 0,37$	20,38	40,45	4,07	14,55
85	$H_{гр. кори}, м$	$5,46 \pm 0,21$	1,00	15,00	2,27	41,52
	$D, см$	$28,57 \pm 0,50$	18,47	42,68	5,47	19,15
124	$H_{гр. кори}, м$	$8,92 \pm 0,52$	1,00	16,00	3,46	38,81
	$D, см$	$46,40 \pm 1,26$	30,89	62,42	8,43	18,16

Для оцінювання достовірності залежності висоти грубої кори від віку нами було сформовано три групи дерев (55 років, 72 роки і 83 роки), що характеризувалися однаковим діаметром (рис. 4.42). Дисперсійним аналізом доведено достовірність залежності висоти грубої кори від віку дерев однакового діаметра ($F_f = 6,8$; $F_{st} = 2,49$). Водночас середні значення показників 55- та 72-річних дерев не мали достовірної різниці та становили $4,63 \pm 0,469$ м та $4,69 \pm 0,545$ м, відповідно. Висота грубої кори 82-річних дерев сягала $6,90 \pm 0,49$ м, тобто була на 49 % більшою від висоти дерев інших вікових груп.

Слід зазначити, що дерева сосни з високою верхньою межею розташування грубої кори характеризуються високими показниками смолопродуктивності, що є досить ефективним способом захисту проти заселення стовбуровими шкідниками після пошкоджень, отриманих унаслідок дії вогню.

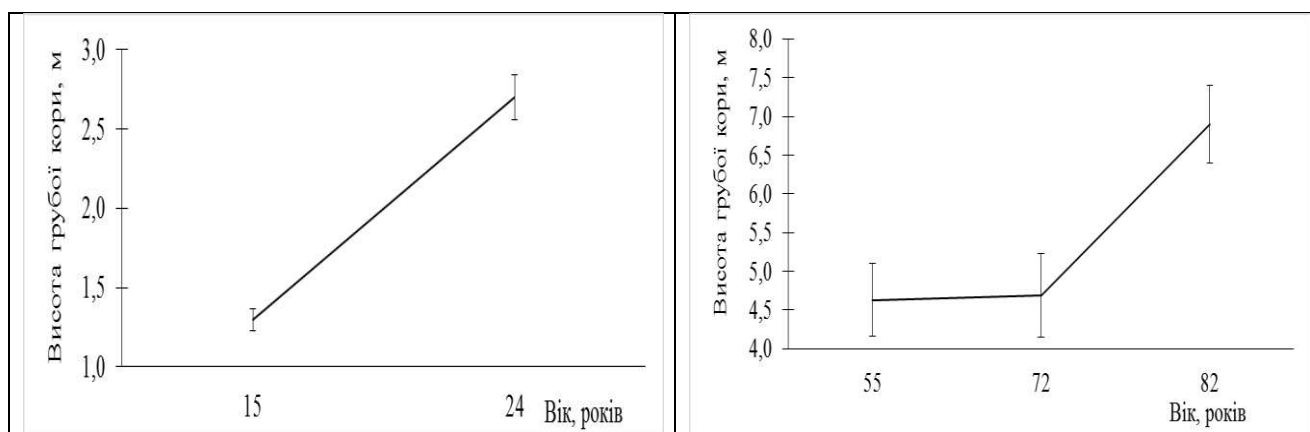


Рис.4.42 – Залежність висоти грубої кори дерев сосни звичайної від віку

4.5.3 Товщина кори та її зміни з висотою дерева

Зміни товщини кори з висотою вивчали у 50- та 66-річному насадженнях. Товщину кори визначали в окоренковій частині стовбура, на висоті 1,3 м та вище через кожен метр до зони переходу грубої кори в тонку. Також заміряли товщину кори у тріщинах в окоренковій частині стовбура.

Початкова товщина кори, як і її значення на різній висоті дерева, значно варіювала залежно від діаметра та висоти грубої кори (рис. 4.43). Товщина кори в зоні переходу грубої кори в тонку в усіх випадках коливалася в межах 0,5–1,6 мм.

Дослідженнями підтверджено визначену раніше закономірність щодо збільшення товщини кори дерев, що мають більшу висоту грубої кори. На висоті трьох метрів у дерев, що суттєво різнилися за показниками висоти грубої кори, були відібрані зразки. Товщина кори модельних дерев сильно варіювала.

Дерева з більшою висотою грубої кори є стійкішими до пошкодження стовбура тепловим випромінюванням. Зі збільшенням висоти грубої кори збільшується її товщина, отже збільшується й вогнестійкість дерева.

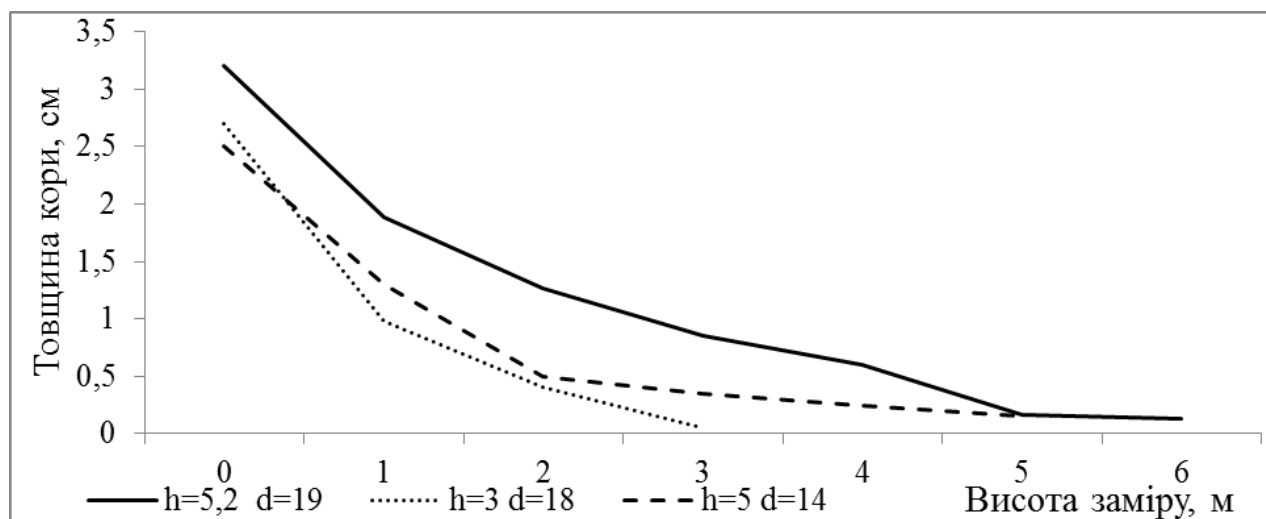


Рис 4.43 – Зміни товщини кори на різній висоті заміру в 50-річних дерев сосни діаметром до 20 см (h – висота грубої кори, м; d – діаметр дерева, см)

В усіх випадках товщина кори на відстані 1 м до переходу грубої кори в тонку становила 2–4 мм; така її товщина не здатна запобігти пошкодженню камбію вогнем. Навіть за висоти нагару на стовбурі, яка не досягає зони переходу грубої кори у тонку, збільшується ризик пошкодження тканин дерева. Отже ризик усихання дерев за такого рівня пошкодження (на відстані 1 м до переходу грубої кори в тонку) зростає.

На всіх висотах заміру товщина кори була більшою у дерев із вищою верхньою межею розташування грубої кори, навіть попри те, що це дерево мало менший діаметр і меншу товщину кори на висоті 1 м. У зоні переходу грубої кори в тонку її товщина становила 0,5–0,9 мм. Таким чином, висота розташування верхньої межі грубої кори дерева та його діаметр визначають товщину кори.

Модельні дерева з діаметрами в межах 30–33 см мали відмінності у товщині кори на різних висотах заміру. Так, на модельному дереві з низько розташованою верхньою межею грубої кори (7,5 м) відзначено найбільшу товщину кори на висоті 1 м, яка становила 24,2 мм; у дерев, що мали висоту грубої кори понад 9 м, товщина кори на цій висоті сягала 18,2 мм. Зміни товщини кори з висотою також різнилися у модельних дерев. Наприклад, у модельного дерева з найнижчим показником висоти грубої кори товщина кори на висоті 4 м становила 10,0 мм, тоді як у модельного дерева з більшою висотою грубої кори (9 м) – 14,0 мм. На висоті заміру 7 м різниця у товщині кори модельних дерев є суттєвішою: 3,7 мм у дерева з висотою грубої кори 7,5 м, та 6,1–6,2 мм в інших модельних дерев. Товщина кори в зоні переходу грубої кори в тонку у всіх модельних дерев була в межах від 0,1 до 0,2 мм.

Під час досліджень виявлено, що серед модельних дерев із меншими діаметрами (25–27 см) дерева із вищою межею розташування грубої кори мали більшу товщину кори на всіх висотах заміру. Так, на висоті заміру 1 м товщина кори дерева з висотою грубої кори становила 30,5 мм, відповідний показник дерева з найнижчою висотою грубої кори дорівнював 13,7 мм.

Товщина кори модельних дерев (діаметр 16–21 см) у зоні переходу грубої кори в тонку є незначною та коливається у межах від 0,3 до 1,4 мм. За 1 м до переходу грубої кори в тонку товщина кори коливається у межах 2,8–6,1 мм.

У 66-річних дерев визначали також максимальну товщину кори в окоренковій частині та в тріщинах (табл. 4.57).

Встановлено, що товщина кори в окоренковій частині може в 10–15 разів перевищувати товщину кори в тріщинах, яка становить від 1,5 до 5,8 мм. Локальну загибель камбію та провідної флоєми у тріщинах кори сосни дослідники відзначали навіть після літньої низової пожежі низької інтенсивності (висота нагару на стовбурах до 0,5 м) через рік після пошкодження. Подібні результати наводить також С. І. Мелехов для північних вологих борів [156], коли під час слабких низових пожежах камбій у тріщинах кори загинув, але під товстими шарами кори зберігав активність навіть через декілька десятків років, що призводило до заростання захисної мертвої деревини і відновлення загального камбіального кільця.

Таблиця 4.57 – Характеристика товщини кори 66-річних модельних дерев сосни

D, см	H _{дер.} , м	H _{гр. кори} , м	Товщина кори, мм		
			у зоні тонкої кори	в окоренковій частині	
				максимальна	у тріщині
16,0	17,0	5,5	0,15	25,3	1,5
20,5	20,0	9,0	0,2	31,3	3,6
21,0	21,0	9,0	0,2	39,5	4,6
21,5	20,0	4,5	0,1	61,7	3,5
23,0	23,0	5,3	0,1	30,7	3,1
25,0	22,5	5,0	0,1	28,6	2,2
26,0	17,0	6,0	0,7	37,5	2,5
27,0	22,5	11,0	0,8	54,9	2,9
28,0	22,0	8,0	0,1	47,2	3,5
30,0	22,0	9,0	0,2	46,1	5,8
33,0	27,0	7,5	0,2	56,1	3,2
33,0	25,0	14,0	0,1	59,1	4,5
36,0	23,0	8,6	0,8	32,8	2,8
37,0	24,0	9,0	0,1	62,9	3,5
42,0	23,0	6,3	0,9	58,9	3,7

Аналіз власних та опублікованих іншими авторами даних свідчить, що під час низових пожеж можливим є локальне ураження камбію вздовж тріщин, що може спричинити сильне ослаблення дерева й за інших несприятливих умов (посухи, заселення стовбуровими шкідниками, зараження хворобами) призвести до його загибелі.

4.5.4 Особливості вогнестійкості дерев стиглих і перестійних сосняків

Особливості реакції дерев стиглих сосняків на пошкодження низовими пожежами помітно відрізняються від тенденцій, встановлених для середньовікових насаджень. Для пошкоджених стиглих сосняків характерним було зменшення стійкості більш розвинених дерев до пошкодження пожежею. При цьому частка всихаючих і сухостійних дерев у стиглих деревостанах зростала зі збільшенням діаметра стовбура.

Однією з причин сильнішого всихання більш розвинених дерев (І–ІІ КК) може бути більший об'єм накопиченої підстилки під основою стовбура. У непошкодженій вогнем частині виділу на ППП 28 товщина підстилки коливалася від 7 до 15 см біля основи стовбура (середнє значення – $11,0 \pm 0,52$ см) і зменшувалася у міру збільшення віддалі від стовбура до $2,6 \pm 0,30$ см. Зменшення товщини шару підстилки зі збільшенням віддалі від стовбура підтверджено статистично ($F_f = 56,8$; $F_{st} = 2,7$) (рис. 4.44).

На модельних деревах було заміряно товщину кори в окоренковій частині стовбура сосни на рівні підстилки (5 см вище рівня підстилки) та нижче цього рівня (на кореневих лапах). Встановлено, що товщина кори на кореневих лапах

є у 2,5 разу тоншою, ніж на стовбурі в окоренковій частині ($22,2 \pm 2,29$ мм та $8,8 \pm 0,99$ мм на стовбурі й кореневих лапах відповідно). Достовірність різниці підтверджено статистично ($t_f = 5,54$; $t_{0,05} = 2,26$).

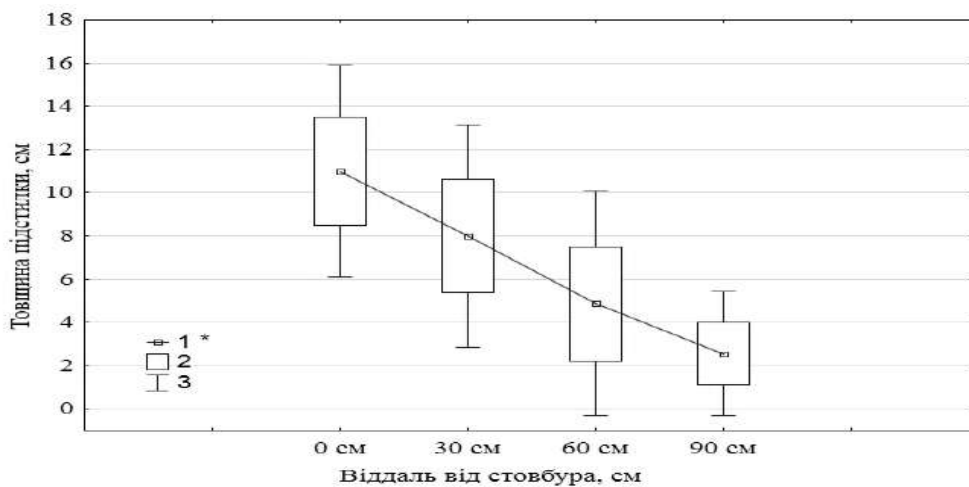


Рис. 4.44 – Товщина шару підстилки залежно від віддалі від стовбура (1 – сер. арифметичне; 2 – сер. арифметичне $\pm \sigma$; 3 – сер. арифметичне $\pm 1,96 \times \sigma$)

Виявлено, що пожежі влітку в стиглих сосняках можуть набувати характеру підстилково-гумусових пожеж. Найсильніші пошкодження може отримати коренева система дерев навіть за невеликої висоти нагару на стовбурах. Незважаючи на незначну теплопровідність ґрунту, пожежа може суттєво пошкодити кореневі системи.

Дерева сосни гинули в насадженнях із потужним шаром лісової підстилки у випадку повного її вигорання. Дія високих температур призводить до сильного ушкодження камбію, що спричиняє ослаблення та в подальшому усихання дерев.

Під час низової пожежі, коли відбувається суцільне вигорання підстилки, основною причиною та індикатором негативних наслідків для насаджень є оголеність корневих лап.

З одного боку, наявність оголених корневих лап свідчить про пошкодження коренів першого порядку, з іншого – є індикатором сильного ступеня вигорання підстилки, що може спричиняти пошкодження тонких висисних коренів. Як відомо, до 80 % тонкого коріння зосереджено у верхніх 20 см ґрунту й частково у нижніх шарах підстилки.

4.6 Лісова підстилка соснових лісостанів та її роль у пошкодженні дерев вогнем

Успішне прогнозування виникнення та розвитку пожеж можливе лише за умови оцінювання якісних і кількісних характеристик лісових горючих матеріалів. У чистих сосняках основним і найбільш легкозаймистим горючим матеріалом є лісова підстилка. Дослідження проведено у Васищевському л-ві ДП «Жовтневе ЛГ» (ТЛЮ В₂) у чистих одновікових сосняках, що ростуть у найбільш поширених умовах – свіжих суборах. Характеристику насаджень за основними таксаційними показниками на пробних площах подано у таблиці 4.58.

Таблиця 4.58 – Таксаційна характеристика чистих сосняків, у яких вивчалася лісова підстилка

ПП №	Вік, років	$D_{сер}$, см	$H_{сер}$, м	Клас бонітету	Повнота
1	9	10	4	I	1,0
7	17	8	7,6	I	1,0
2	24	14	10	I	0,8
9	42	24	16	I	0,8
3	55	28	16	II	0,8
8	63	30	18	I	0,8
4	72	28	24	I	0,8
5	82	29	22	II	0,8
6	124	46	26	II	0,4

У соснових насадженнях Васищевського л-ва ДП «Жовтнєве ЛГ» накопичуються значні запаси підстилки (від 172,7 до 675,9 ц/га), що значно перевершують обсяги, встановлені для чистих соснових насаджень М. П. Курбатським та О. О. Молчановим (від 80 до 260 ц/га). Товщина підстилки варіює від 0,7 до 10,3 см і збільшується з віком ($r = 0,8$; $p = 0,05$), зокрема у віці 9 років вона становить 1,2 см, а у віці 124 роки – 6,4 см (табл. 4.59).

Таблиця 4.59 – Товщина лісової підстилки на різній відстані від дерева в соснових насадженнях різного віку

Вік, років	Товщина підстилки, см				Запас підстилки, ц/га			
	стовбур	крона	простір	середнє	стовбур	крона	простір	середнє
9	1,1	1,0	–	1,0	245,6	101,1	–	173,4
17	2,0	0,8	0,7	1,2	232,2	179,0	106,8	172,7
24	2,2	2,0	–	2,1	264,3	204,4	–	234,3
35	4,9	2,2	3,2	3,4	302,2	304,2	200,8	269,4
55	5,5	2,3	3,0	3,6	512,1	401,3	415,5	443,0
63	6,7	3,6	2,6	4,3	567,2	452,3	409,4	476,3
72	9,6	3,7	2,9	5,4	848,1	614,2	565,4	675,9
82	6,2	4,4	3,9	4,8	690,6	598,5	442,9	577,3
124	10,3	5,3	3,5	6,4	463,5	321,6	320,7	368,6

Найбільший запас підстилки накопичується біля стовбура дерева (232,2–848,1 ц/га), а найменший – у вільному просторі між кронами дерев, де маса опадів хвої мінімальна або взагалі відсутня (0–565,4 ц/га). Запас підстилки під короною посідає проміжне місце. Різниця в товщині підстилки залежно від локації збору може сягати 200–250 % і є статистично значущою ($Ff = 3,71$; $Ft = 3,20$; $p = 0,05$). Товщина підстилки у межах лісостану також є нерівномірною та залежить від локації збору. Біля стовбура товщина підстилки коливається від 2,0 до 10,3 см, а у міжкроновому просторі – від 0 до 3,9 см ($Ff = 4,32$; $Ft = 3,46$; $p = 0,05$).

Запас і товщина підстилки змінюються з віком насадження (рис. 4.45). Під час кореляційного аналізу виявлено сильний прямий зв'язок між запасом лісової підстилки та віком насадження ($r = 0,78$; $p = 0,05$). Регресійний аналіз виявив, що цю залежність найкраще апроксимує логарифмічна функція (4.9):

$$M = 159,19 \ln(A) - 208,34, \quad (4.9)$$

де M – запас лісової підстилки, ц/га,

A – вік насадження, років.

Запас підстилки на 67 % залежить від товщини ($R^2 = 0,67$; $p = 0,05$) і на 33 % – іншими факторами. Отримане регресійне рівняння дає змогу швидко оцінити запаси підстилки в насадженні, виходячи з її товщини. Об'ємна маса підстилки в різних лісорослинних умовах може суттєво різнитися.

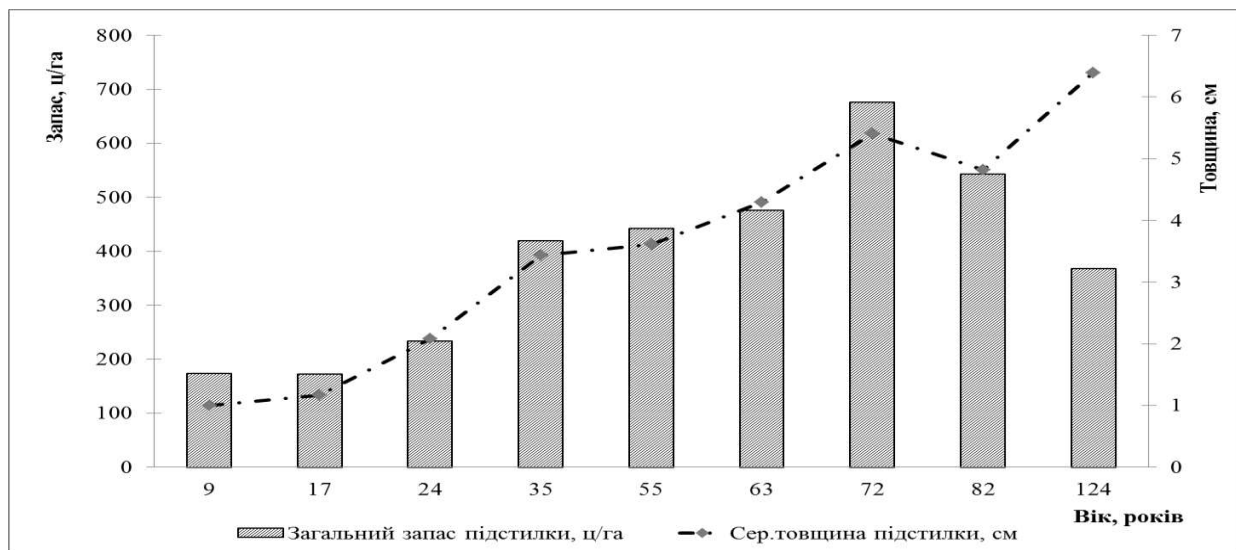


Рис. 4.45 – Загальний запас та середня товщина лісової підстилки в сосняках різного віку

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,61$ доводить, що у 61 % випадків загальний запас підстилки залежить від віку насадження. Зростання запасів підстилки зі збільшенням віку та значне її накопичення біля стовбурів призводить під час пожежі до локального збільшення інтенсивності горіння, що веде до значних пошкоджень не тільки стовбурів сосни, але й коренів першого порядку.

Щільність і вологість підстилки збільшуються від верхнього опадового шару до нижніх шарів, які зазвичай є щільнішими та вологішими.

Основною складовою мортмаси опадового шару є опад хвої. Цей шар підстилки разом із трав'яним покривом належить до I групи ЛГМ, які є «провідниками горіння». Нижній шар H складається з однорідної щільно спресованої маси. Тривалий режим горіння горизонту H збільшує силу й тривалість негативних процесів під час постпірогенного розвитку сосняків.

Співвідношення між шарами підстилки змінюється з віком. До 55 років частки L і F майже однаковими, а H – незначною або зовсім відсутня. У сосняках старше 50 років маса шару H різко зростає, сягаючи піку у 72 роки (480 ц/га), і поступово зменшувалася до 124 років (до 234 ц/га) (рис.4.46).

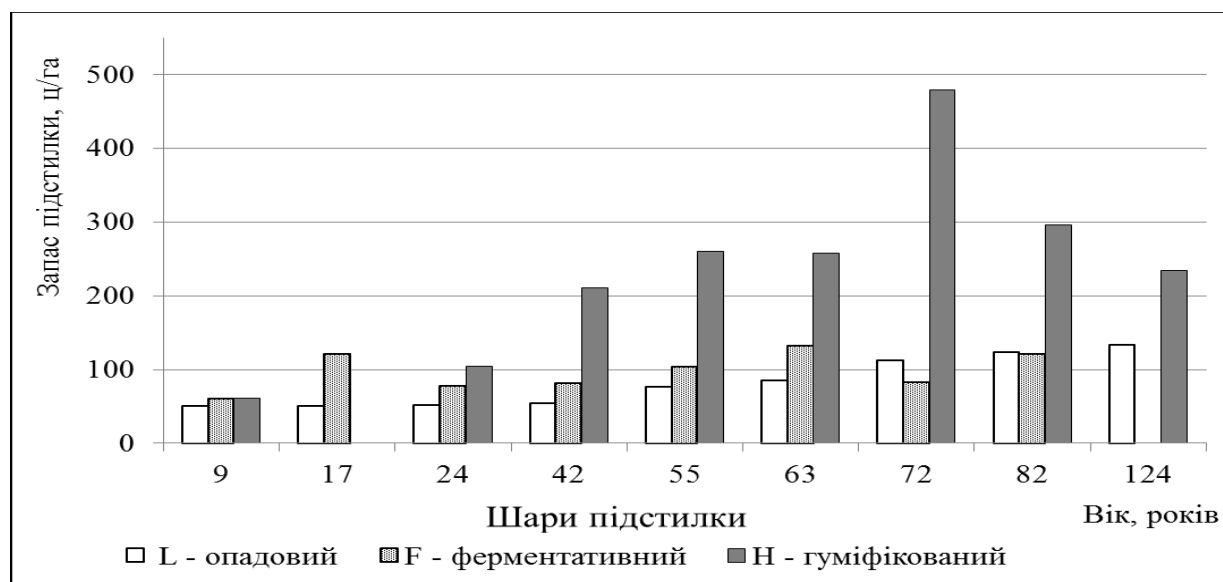


Рис. 4.46 – Запас різних шарів підстилки в сосняках різного віку

Зростання запасів шарів *F* і *H* підстилки у пристиглих, стиглих і перестійних сосняках збільшує ризики виникнення пожеж (рис.4.47).

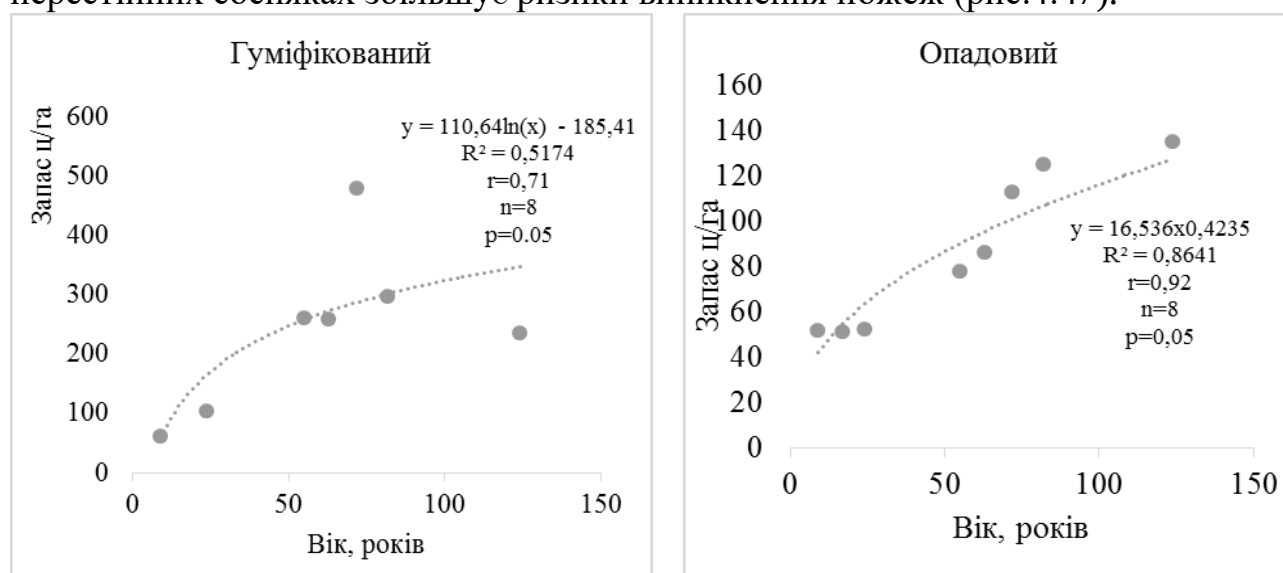


Рис. 4.47 – Запас окремих шарів підстилки залежно від віку деревостану

Мінімальну вологість відзначено в опадовому шарі (10 %), а найвищу – в гуміфікованому (29 %). Відмінності у вологості різних шарів підстилки є статистично достовірними ($F_f = 5,82$; $F_t = 3,20$; $p = 0,05$) (рис.4.48).

Оцінюючи пожежну небезпеку, необхідно враховувати тривалість посушливих періодів, коли в сосняках підстилка настільки висихає, що нівелюється різниця у вологості між сухими та свіжими типами лісу. Переважну кількість пожеж виявлено в найбільш поширених середньовікових деревостанах ДП «Жовтнєве ЛГ» із повнотою 0,7–0,8.

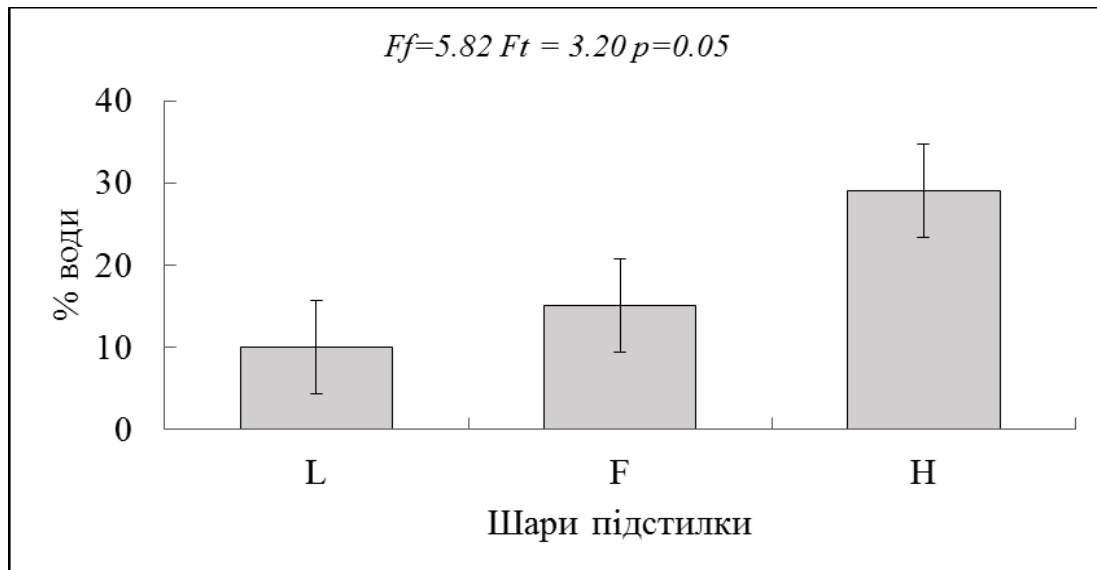


Рис. 4.48 – Вологість різних шарів підстилки у сосняках

4.7 Економічні втрати сосняків пошкоджених низовими пожежами

Однією з основних складових суттєвих втрат лісового господарства внаслідок погіршення стану пошкоджених пожежами деревостанів є зниження виходу ділової деревини. Так, якщо у середньовікових сосняках Харківської області частка ділової деревини становить від 60 до 80 %, то через декілька місяців вона помітно знижується внаслідок погіршення стану дерев.

За даними розподілу ділової деревини за сортиментами для груп сосняків із різною висотою нагару встановлено особливості зміни запасу ділової й дров'яної деревини в рік пошкодження і наступного року після пожеж, що мали різну інтенсивність та сталися в різні сезони.

Загальний запас середньовікових сосняків, пошкоджених пожежами різної інтенсивності в різні сезони, коливався від 261 до 355 м³·га⁻¹, при цьому вихід ділової деревини після пошкодження вогнем різної інтенсивності та через різний період часу помітно відрізнявся (від 8 до 277 м³·га⁻¹) (табл. 4.60)

За висоти нагару не більше 1,5 м вихід ділової деревини коливається від 216 до 277 м³·га⁻¹. Особливо відчутні зменшення ділової деревини зафіксовано при пошкодженні тонкої кори, вже в рік пошкодження (97 м³·га⁻¹ ділової деревини після весняних пожеж та 87 м³·га⁻¹ після літніх). Причому як після літніх, так і весняних пожеж та за різних періодів після пожежі (3 та 12 місяців). Наступного року збільшилася частка сухостою та зменшилася частка ділової деревини. Так після весняних пожеж із пошкодженням тонкої кори на 6 %, а після літніх пожеж вихід ділової деревини взагалі зменшився на 90 %.

Матеріальна грошова оцінка деревини у сосняків пошкоджених вогнем з висотою нагару менше 1,5 м мало відрізнялися у рік пошкодження вогнем та наступного року після пожежі (табл. 4.60, табл. 4.61.)

Таблиця 4.60 – Товарна й сортиментна структура середньовікових сосняків, пошкоджених пожежами, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$

$H_{\text{наг}}, \text{ м}$	Період після пожежі	Ділова деревина,					Технологічна сировина	Дрова паливні
		Будівельний ліс	Пиловник	Рудниковий стояк	Баланси	Разом		
Весняні пожежі								
до 0,5	3 міс.	138	49	18	11	216	33	33
	12 міс.	138	49	18	11	216	33	33
0,5–1,5	3 міс.	125	126	9	9	268	27	38
	12 міс.	125	126	9	9	268	27	38
понад 1,5	3 міс.	131	69	15	10	226	30	31
	12 міс.	130	69	15	10	223	31	32
Пошкоджена тонка кора	3 міс.	64	9	16	8	97	127	87
	12 міс.	56	9	13	6	84	124	90
Літні пожежі								
до 0,5	3 міс.	152	95	18	12	277	20	26
	12 міс.	152	95	18	12	277	20	26
0,5–1,5	3 міс.	143	82	16	11	252	54	49
	12 міс.	142	80	16	11	249	56	48
понад 1,5	3 міс.	156	59	22	13	251	34	35
	12 міс.	137	56	18	11	222	50	44
Пошкоджена тонка кора	3 міс.	48	29	6	4	87	103	73
	12 міс.	4	4	0	0	8	152	101

Найбільше зменшення вартості деревини від невчасного проведення необхідних санітарних рубок внаслідок переходу ділової деревини до дров'яної встановлено при пошкодженні тонкої кори. Після пожеж весняного сезону вартість деревини становила 185,5 тис. грн. у рік пошкодження вогнем, а наступного року знизилася на 11,1 тис.грн, або 6 % від вартості деревини у рік пошкодження. Наслідки таких пожеж у літній сезон в рік пошкодження подібні (вартість деревини – 173,3 тис.грн), але наступного року втрати становили 48,3 тис.грн, тобто тільки 28 % від вартості у рік пожежі. Після літніх і весняних пожеж з висотою нагару $>1,5$ м суттєві збитки наступного року лише для літніх пожеж – 14,5 тис. грн., або 5 % вартості деревини у рік пошкодження (табл. 4.61).

Порівняння динаміки сортиментної структури насаджень із різною висотою нагару, сезоном пожежі свідчить про доцільність найшвидшого проведення санітарних рубок при пошкодженні пожежами високої інтенсивності з висотою нагару більше 1,5 метра та пошкодженням тонкої кори.

Таблиця 4.61 – Вартість сортиментів сосняків, пошкоджених пожежами, тис.грн

$H_{\text{наг}}, \text{ м}$	Після-пожежний період	Ділова деревина					Технологічна сировина	Дрова паливні	Разом
		Будівельний ліс	Пиловник	Рудниковий стояк	Баланси	Разом			
Весняні пожежі									
до 0,5	3 міс.	138,3	68,8	8,1	5,8	221,0	17,8	10,9	249,7
	12 міс.	138,3	68,8	8,1	5,8	221,0	17,8	10,9	249,7
0,5–1,5	3 міс.	125,3	176,9	4,1	4,8	311,0	14,6	12,5	338,1
	12 міс.	125,3	176,9	4,1	4,8	311,0	14,6	12,5	338,1
понад 1,5	3 міс.	131,3	96,9	6,8	5,3	240,2	16,2	10,2	266,6
	12 міс.	130,3	96,9	6,8	5,3	239,2	16,7	10,6	266,5
Пошкоджена тонка кора	3 міс.	64,1	12,6	7,2	4,2	88,2	68,6	28,7	185,5
	12 міс.	56,1	12,6	5,9	3,2	77,8	67,0	29,7	174,4
Літні пожежі									
до 0,5	3 міс.	152,3	133,4	8,1	6,4	300,1	10,8	8,6	319,5
	12 міс.	152,3	133,4	8,1	6,4	300,1	10,8	8,6	319,5
0,5–1,5	3 міс.	143,3	115,1	7,2	5,8	271,4	29,2	16,2	316,8
	12 міс.	142,3	112,3	7,2	5,8	267,6	30,2	15,8	313,7
понад 1,5	3 міс.	156,3	82,8	9,9	6,9	255,9	18,4	11,6	285,8
	12 міс.	137,3	78,6	8,1	5,8	229,8	27,0	14,5	271,3
Пошкоджена тонка кора	3 міс.	48,1	40,7	2,7	2,1	93,6	55,6	24,1	173,3
	12 міс.	4,0	5,6	0,0	0,0	9,6	82,1	33,3	125,0

4.8 Депонування вуглецю в пірогенно пошкоджених соснових молодняках

Обчислення запасів депонованого вуглецю в стовбурах проводили на трьох ППП із різним рівнем пошкодження дерев пожежею (табл. 4.62).

Таблиця 4.62 – Таксаційна характеристика соснових молодняків з різним рівнем пошкодження пожежею

ППП	$D_{\text{сер.}}, \text{см}$	$H_{\text{сер.}}, \text{м}$	Запас, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$	$H_{\text{наг}}, \text{м}$
1	7,00	5,08	13,5	1,21
2	7,06	5,34	19,3	0,94
Контроль	7,04	5,48	7,2	0

Сума запасів депонованого вуглецю на найбільш пошкодженій ППП 1 становила 0,000077 кг/га, водночас виявлено, що на менш пошкодженій ППП 2 кількість акумульованого вуглецю становила 0,00009 кг/га. Втрати депонованого вуглецю внаслідок пожеж становили 34 % на ППП 1 та 22 % – на ППП 2 (рис. 4.49).

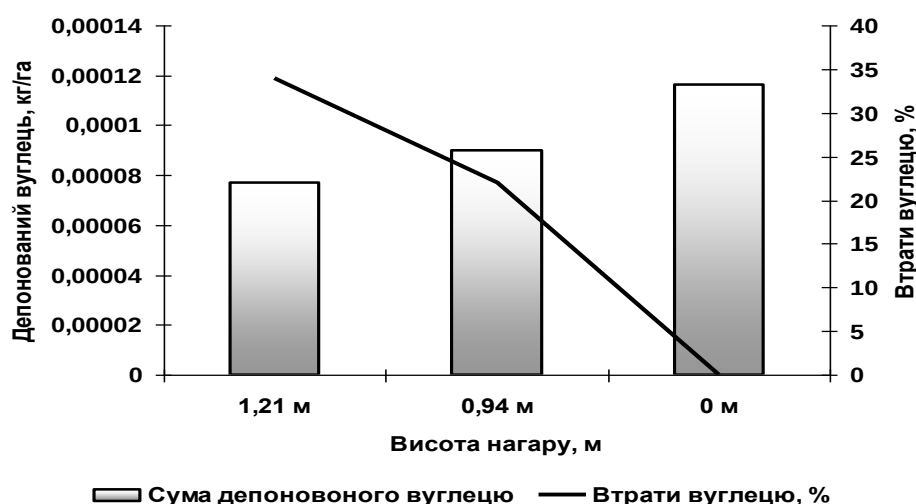


Рис. 4.49 – Запас та втрати депонованого вуглецю в пошкоджених пожежею сосняках

Зв'язки між висотою дерев на ППП із різним рівнем пошкодження та депонованим вуглецем у надземній фітомасі описано кривими другого порядку. Тіснота зв'язку є сильною (табл. 4.63).

Таблиця 4.63 – Регресійні рівняння, що характеризують запаси депонованого вуглецю в надземній фітомасі залежно від висоти дерева та його діаметра

Рівняння	Коефіцієнт детермінації R^2	Кореляційне відношення η
Регресійні рівняння депонованого вуглецю у надземній фітомасі дерева залежно від висоти дерева		
ППП із висотою нагару на стовбурах дерев 1,21 м		
$y = 0,1466x^2 + 0,1359x - 0,6085$	0,45	0,67*
ППП з висотою нагару на стовбурах дерев 0,94 м		
$y = 0,3145x^2 - 1,4556x + 2,7504$	0,52	0,71*
Контроль		
$y = 0,3701x^2 - 1,7163x + 1,8277$	0,70	0,83*
Регресійні рівняння депонованого вуглецю у надземній фітомасі дерева залежно від діаметра дерева		
ППП з висотою нагару на стовбурах дерев 1,21 м		
$y = 0,1035x^2 - 0,1752x - 0,0691$	0,93	0,96*
ППП з висотою нагару на стовбурах дерев 0,94 м		
$y = 0,1263x^2 - 0,5116x + 1,1008$	0,91	0,95*
Контроль		
$y = 0,1245x^2 - 0,4813x + 0,897$	0,97	0,98*

Примітка. *Значущість на рівні 0,001.

Коефіцієнти детермінації показали, що в сосняку із найбільшим рівнем пошкодження висота дерева впливає на масу депонованого вуглецю на 45 %, із середнім рівнем пошкодження – на 51 % та на контролі – на 69 %. Зі

зменшенням рівня пошкодження дерев пожежами збільшується залежність запасів депонованого вуглецю від висоти дерева.

Обчислено також регресійні моделі між кількістю депонованого вуглецю в надземній фітомасі та діаметром дерев, які апроксимовані кривими другого порядку. Регресійні зв'язки між діаметром дерев на всіх ППП та кількістю депонованого вуглецю виявилися сильнішими, ніж взаємозв'язки між висотою та кількістю депонованого вуглецю. На ППП із найбільшим рівнем пошкодження діаметр дерева впливає на масу депонованого вуглецю на 92 %, із середнім рівнем пошкодження – на 91 % та на контролі – на 97 %, про що свідчать коефіцієнти детермінації.

Простежується тенденція збільшення зв'язків між діаметром дерев і накопиченням вуглецю в стовбурах дерев зі зменшенням пошкодження дерев пожежами. При цьому зв'язки між діаметром і накопиченням вуглецю в надземній фітомасі є тіснішими, порівняно зі зв'язками між депонуванням вуглецю й висотами дерев. Виявлені зв'язки між висотою й діаметром дерев з одного боку та депонованим вуглецем у надземній фітомасі дерева апроксимовані кривими другого порядку й посилюються зі зменшенням інтенсивності пошкодження насадження низовою пожежею.

Наступним кроком було обчислення кумулятивної площі поперечного перетину на двох ППП – пошкодженій пожежею та контролі. У допожежний період площа поперечного перерізу на пошкодженій ППП коливалася в межах 0,004–0,17 м², що в середньому становило 0,03 м². У післяпожежний період ці значення варіювали від 0,02 до 0,84 м². Середнє значення площі поперечного перерізу за цей період становило 0,29 мм².

На пошкодженій ППП у період до пожежі маса вуглецю коливалася від 0,2 кг/рік у 2006 р. до 55,08 кг. Середня маса накопиченого вуглецю в стовбурі сосни за цей період становила 9,3 кг/рік. У післяпожежний період маса накопиченого вуглецю коливалася від 5,6 до 378 кг на рік, у середньому 159,2 кг/рік. На контролі впродовж 2006–2010 рр. (допожежений період) маса накопиченого вуглецю перебувала в межах від 0,01 до 63,4 кг/рік. У післяпожежний період відповідні величини коливалися в межах 15,8–450,0 кг/рік. Водночас середні значення обсягів вуглецю, накопиченого в стовбуровій деревині, за зазначений період сягали 126,08 кг/рік.

На пошкодженій ППП (рис. 4.50) у допожежний період коливання маси накопиченого вуглецю варіювало у межах 0,17–34,6 кг на рік, у середньому 4,89 кг/рік. Упродовж післяпожежного періоду кількість вуглецю коливалася від 4,89 до 117,6 кг/рік. У контрольних дерев упродовж допожежного періоду обсяг депонованого вуглецю коливався від 0,03 до 3,36 кг/рік. Середнє значення за цей період становило 0,69 кг/рік. Для післяпожежного періоду відзначено коливання обсягів вуглецю на контролі від 0,93 до 8,44 кг/рік. Середнє значення маси накопиченого вуглецю за період 2011–2017 рр. становило 3,16 кг/рік ($R^2=0.99$ $p=0.05$).

Обсяги накопичення вуглецю в стовбуровій деревині суттєво не різнилися впродовж періоду до пожежі. Після пожежі збільшився обсяг депонування

вуглецю в стовбуровій деревині пошкодженого насадження. За період після пожежі різниця між масою вуглецю в стовбуровій деревині між деревами контролю та деревами на пошкодженій ПП становить 20% (рис. 4.50).

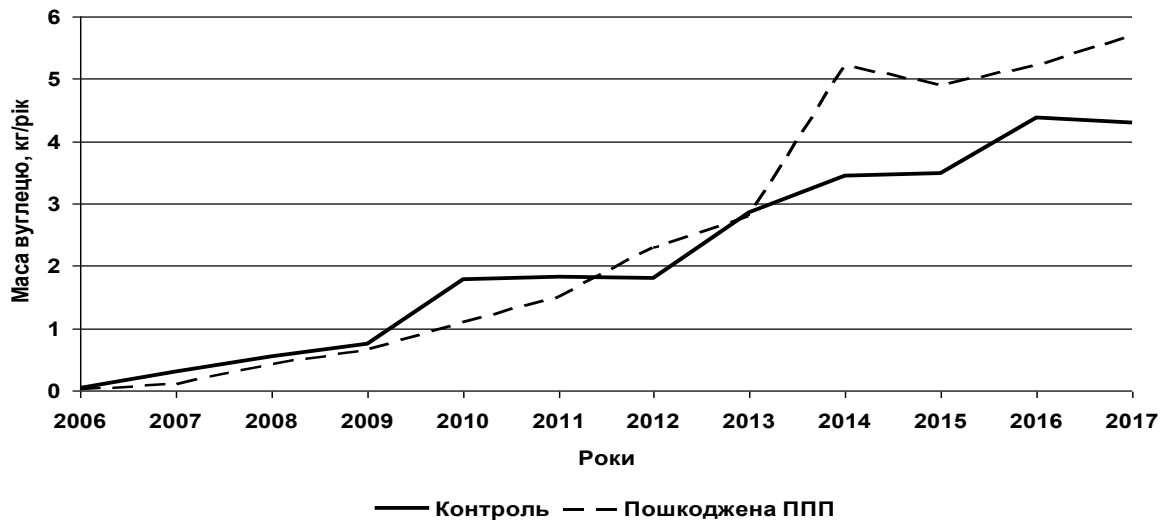


Рис. 4.50 – Динаміка щорічної маси вуглецю в стовбурах сосни звичайної на ПП, пошкодженій пожежею, та на контролі

Виявлено тенденцію до збільшення вмісту акумульованого вуглецю в стовбурах з віком (рис. 4.50). Подібні результати отримано під час дослідження акумуляції вуглецю в стовбурах вікових дуба звичайного в парку «Феофанія» в Києві. Дослідження депонування вуглецю в стовбуровій деревині дуба на основі дендрохронологічного аналізу дало змогу реконструювати щорічну варіацію приросту стовбурової біомаси й накопиченого вуглецю [296].

Пік збільшення маси вуглецю спостерігали у 2014 р. для обох ПП, мінімум його накопичення відзначено у 2015 р.

У насадженнях з висотою нагару на стовбурах 0,94 та 1,21 м маса депонованого вуглецю перевищувала контроль відповідно на 22 і 30%. Маса депонованого вуглецю в надземній фітомасі дерева залежить від висоти й діаметра. Темпи акумулювання вуглецю в стовбурах дерев збільшується з віком. Приріст маси вуглецю не компенсував загальні втрати від пожежі. Упродовж періоду після пожежі продукування вуглецю в стовбуровій деревині пошкодженого сосняку збільшилося, а маса вуглецю в стовбуровій деревині виявилася на 20 % більшою, ніж на контролі.

Висновки до розділу

1. У лісостеповій частині Харківщини найбільші загроза виникнення пожеж навесні, а найменша – восени. Найбільшу кількість пожеж відзначено в сухих і дуже сухих гігротопах та в насадженнях, що межують із населеними пунктами.

2. Найчастіше займання виникають у вихідні та святкові дні. Понад 70 % випадків пожеж відбуваються в другій половині дня – від 12 до 18 години доби.

3. У молодняках переважає опік крони конвективним тепловим потоком, у середньовікових сосняках – пошкодження стовбура тепловипромінюванням, у стиглих сосняках – пошкодження стовбура тепловипромінюванням і кореневих систем внаслідок теплопровідності ґрунту.

4. Найінтенсивніше всихання в перший рік після пожежі. У молодняках одночасно тривають всихання та відновлення дерев, причому на другий рік процеси погіршення стану уповільнюються, а на третій переважають процеси відновлення. Серед дерев, стан яких у рік пожежі визначено як «усихаючі», впродовж двох років 63 % змінили стан на «сильно ослаблені» та «ослаблені».

5. Лімітувальним рівнем дехромації молодняків унаслідок пожежі є 10 % хвої в кроні, а критичним – 70 %. Сильно пригнічує розвиток молодого дерева дехромація 30–40 %, а летальною 70 % хвої.

6. Літні пожежі для середньовікових і старших сосняків більш нищівними за весняні. Інтенсивність відпаду після літніх низових пожеж у стиглих сосняках у 10 разів вища, ніж після весняних.

7. Інтенсивність куртинного всихання в середньовікових соснових деревостанах у наступні два та більше років після низових пожеж не залежить від висоти нагару.

8. Низові пожежі сильної інтенсивності (висота нагару – понад 1,5 м) призводять до суттєвого зменшення товарності деревини та значних економічних втрат. Найбільші втрати при пошкодженнях тонкої кори.

9. Найвідчутніше реагують на пошкодження вогнем дерева стиглих сосняків найвищих ступенів товщини – відпад 48–55 % за мінімальних пошкоджень та 100 %, якщо висота нагару становить понад 1 м. Висока інтенсивність усихання розвиненіших дерев у стиглих сосняках пов'язана з накопиченням порівняно більшого об'єму підстилки біля стовбурів.

10. Найуразливішими до дії вогню є пригнічені в рості дерева. У цій групі частка сухостою зростає від 22 % за висоти нагару на стовбурі 0,5 м до 75 % за висоти нагару понад 3,5 м. Панівні дерева всихають лише у разі, коли висота нагару на стовбурі сягає понад 4 м.

11. Основними показниками вогнестійкості середньовікових сосняків є діаметр та висота грубої кори. Більш вогнестійкими є дерева з діаметром більше від середнього та високою верхньою межею грубої кори.

12. За малої товщини кори (0,1–0,9 мм) унаслідок пошкодження камбію вогнем порушується метаболізм дерева, тому висота розташування верхньої межі грубої кори є показником вогнестійкості дерев.

13. Під час низових пожеж можливе локальне ураження камбію вздовж тріщин кори, оскільки її товщина в тріщинах є в 10–15 разів меншою, ніж на рівні кореневої шийки.

14. Товщина кори на кореневих лапах ($8,8 \pm 0,99$ мм) у стиглих сосняках є у 2,5 разу меншою, ніж на стовбурі в окоренковій частині ($22,2 \pm 2,29$ мм). Низова пожежа пошкоджує камбій в окоренковій частині стовбура та на кореневих лапах, що спричиняє ослаблення та всихання дерев.

15. Основним горючим матеріалом у сосняках є лісова підстилка, запас якої зменшується в міру збільшення відстані від стовбура. Зі збільшенням віку частка опадового шару підстилки зменшується, а гуміфікованого – зростає.

16. Після низових пожеж рН ґрунтів збільшується в результаті зростання вмісту лужних металів (насамперед калію), що надходять до ґрунту з попелу, який утворюється під час згорання опадів, підстилки та органічних речовин у верхньому гумусовому горизонті. Оскільки таке явище є одноразовим, то в подальшому відбувається поступове вимивання цих елементів у нижні шари ґрунту. Значення рН вже через деякий час наближується до природного, особливо на глибині ґрунту 5–10 см.

17. Зрідження деревного намету внаслідок всихання дерев і вигорання підстилки створюють умови для розвитку нелісового трав'яного покриву.

18. На другий та третій роки після пожеж у складі живого надґрунтового покриву середньовікових сосняків переважає рудеральна рослинність, а на четвертий рік злаки. Інтенсивність розвитку лісових видів в наступні роки після пожеж найбільша в затінених місцях, але рівня проективного покриття контролю не досягає навіть на шостий рік після пожежі.

19. За біоморфною структурою на другий і третій роки після пожеж у трав'яному покриві переважають багаторічні (52–64 %) та однорічні (до 45 %) види. На четвертий і п'ятий роки частка однорічних рослин зменшується (до 25 %), а багаторічних – збільшується (до 72 %).

20. Втрати депонованого вуглецю на основі запасу фітомаси внаслідок пожеж, як порівняти з контролем, становили 30 % за висоти нагару на стовбурах 1,2 м та 22 % – за висоти 0,94 м.

21. Уміст акумульованого вуглецю в стовбурах дерев коливається впродовж онтогенезу, але його обсяги збільшуються з віком насаджень.

22. Накопичення вуглецю в стовбуровій деревині суттєво не різнилося впродовж допожежного періоду, а в післяпожежний період спостерігали збільшення продукування вуглецю в стовбуровій деревині сосни пошкодженого сосняку внаслідок інтенсивного відпаду дерев. У післяпожежний період різниця між масою вуглецю в стовбуровій деревині контрольних та пошкоджених пожежею дерев становить 20 %.

23. Ослаблені та сильно ослаблені дерева із середньою висотою нагару на стовбурі 0,87 та 1,46 м відновили свій приріст за три роки, а дерева, що мали середню висоту нагару понад 1,5 м, не відновили приріст навіть за чотири роки.

РОЗДІЛ 5. ПОЖЕЖІ У СТЕПУ ТА ЇХНІ НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ ДЛЯ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ

5.1 Тенденції та наслідки пожеж у лісах Північно-Східного Степу України

5.1.1 Часові та просторові тенденції виникнення пожеж

В північній частини Лівобережного Степу України, на сході Харківської області розташоване Державне підприємство «Куп'янське ЛГ».

Територія характеризується високим класом пожежної небезпеки (2,32), що зумовлено великою площею соснових насаджень. Соснові молодняки займають 6,4 % всієї площі, середньовікові соснові деревостани – 22,8 % (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Розподіл площ земель ДП «Куп'янське ЛГ» за класами природної пожежної небезпеки

Лісництво		Клас пожежної небезпеки					Разом	Середній клас
		I	II	III	IV	V		
Борівське	га	968,0	3949,2	1331,0	202,6	377,2	6828,0	2,27
	%	14,2	57,8	19,5	3,0	5,5	100	
Велико-бурлуцьке	га	115,7	3588,5	2125,7	85,2	236,9	6152,0	2,46
	%	1,9	58,3	34,6	1,4	3,9	100	
Дворічанське	га	1249,6	2909,2	859,7	535,7	288,8	5843,0	2,26
	%	21,4	49,8	14,7	9,2	4,9	100	
Кам'янське	га	940,7	2341,6	1186,4	107,2	154,1	4730,0	2,19
	%	19,9	49,5	25,1	2,3	3,3	100	
Куп'янське	га	1366,5	4542,4	1920,8	401,5	318,8	8550,0	2,27
	%	16,0	53,1	22,5	4,7	3,7	100	
Сеньківське	га	1119,9	1591,7	1820,8	313,5	344,1	5190,0	2,45
	%	21,6	30,7	35,1	6,0	6,6	100	
Разом	га	5760,4	18922,6	9244,4	1645,7	1719,9	37293,0	2,32
%	%	15,5	50,7	24,8	4,4	4,6	100	

Сосняки найчастіше трапляються в B_1 та B_2 (табл. 5.2). Значна частка сосняків росте в умовах C_2 . Площа лісів, які ростуть в особливо пожежонебезпечних умовах A_0 та A_1 , є помітно меншою і становить 6 та 379 га відповідно.

Таблиця 5.2 – Розподіл за ТЛУ площі вкритих лісовою рослинністю у ДП «Куп'янське ЛГ», га

ТЛУ	A_0	A_1	A_2	B_1	B_2	B_3	C_1	C_2	C_3
Вкриті лісовою рослинністю землі	6	378,9	606,7	2195,	6345,8	48,6	321	3729,2	64,6
Сосна звичайна	6	347,8	595,8	2130	6095,4	4,5	38,6	2727,3	13,1
Сосна звичайна (коренева губка)	–	25,1	9,2	55,4	210,9	1,2	–	122,2	–

Виявлено, що найбільша загроза виникнення пожеж у хвойних насадженнях є поблизу населених пунктів, уздовж залізниць, а також по берегах водоймищ (у місцях відпочинку населення).

За період з 1980 до 2017 р. загальна кількість пожеж у ДП «Куп'янське ЛГ» становила 1880 випадків, загальна площа – 671,9 га. Найбільшу кількість та площу пожеж зафіксовано в Куп'янському лісництві (1143 випадки із загальною площею 354,5 га), де соснові насадження І–ІІ КПН становлять 69,1 %. Значну кількість пожеж зафіксовано в Сеньківському (327 випадків пожеж, частка лісів І–ІІ КПН – 52,3 %), Дворічанському (203 випадки пожеж, частка лісів І–ІІ КПН – 71,2 %) та Борівському (179 випадків, частка лісів І–ІІ КПН – 72 %) лісництвах. Загальна площа пожеж у цих лісництвах коливалась від 39,1 до 153,5 га. Зважаючи на близькі значення середньозваженого КПН за лісництвами (у межах 2,19–2,47) та відсутність зв'язку між часткою лісів І–ІІ КПН та кількістю пожеж, встановлено, що відмінності в частоті виникнення пожеж були результатом значного рекреаційного тиску та нехтування правилами пожежної безпеки рекреантами. Рекреаційне навантаження визначалося доступністю лісів для населення та було максимальним у Куп'янському лісництві (місто Куп'янськ – районний центр з населенням понад 58 тис. жителів).

Найменшу кількість випадків пожеж відзначено у Великобурлуцькому лісництві (лише одна пожежа з площею 2,4 га). У Кам'янському лісництві трапилося всього 27 пожеж площею 17,3 га (рис. 5.1). У лісових масивах цих двох лісництв домінують листяні насадження.

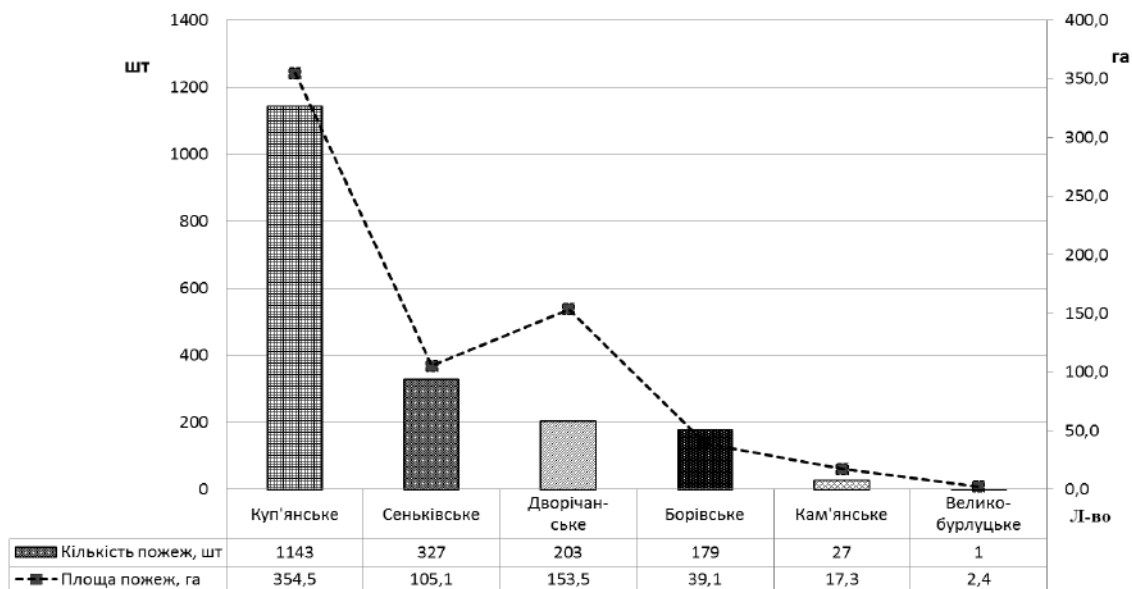


Рис. 5.1 – Кількість і площа пожеж у лісництвах ДП «Куп'янське ЛГ»

Найменшими площі пожеж були в 1980-ті роки (75,5 га). Упродовж наступних десятиріч вони були значно більшими й коливалися від 168 до 217 га. (рис. 5.2).

Найбільша кількість верхових пожеж трапилася в 1990-ті роки: в 1992 р. – 3, 1994 – 8 і в 1996 р. – 7 випадків. Найбільшу кількість та площу верхових пожеж за період із 1980 до 2017 р. зафіксовано в Куп'янському та Сеньківському л-вах. У 2008 р. у Куп'янському л-ві сталася верхова пожежа площею 25 га. Верхові пожежі не фіксували лише у Великобурлуцькому л-ві (рис. 5.3).

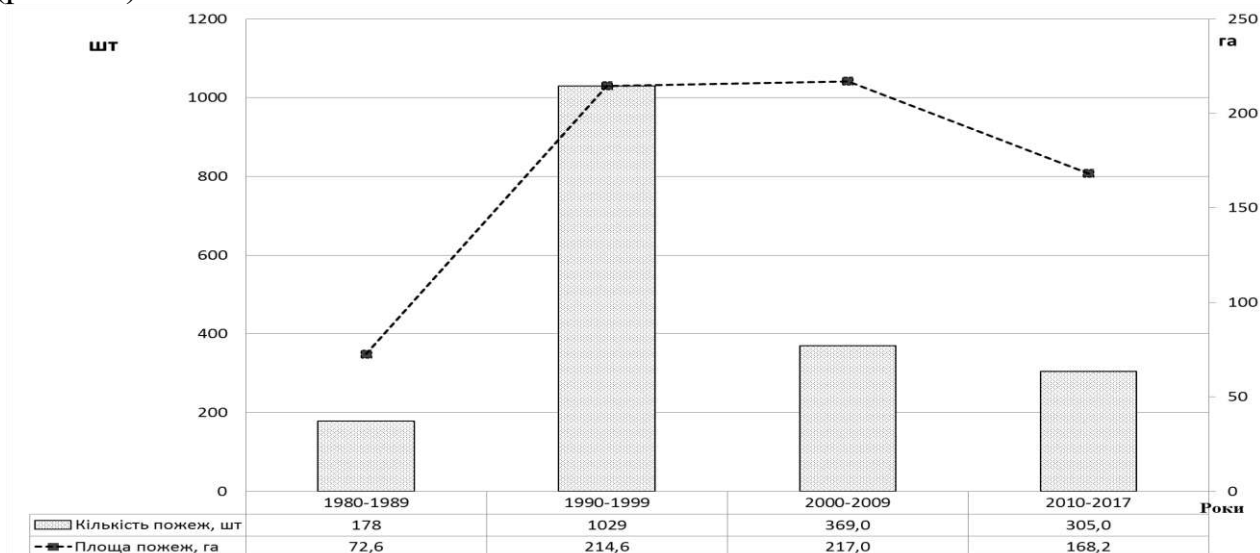


Рис. 5.2 – Кількість і площа пожеж по десятиріччях у ДП «Куп'янське ЛГ»

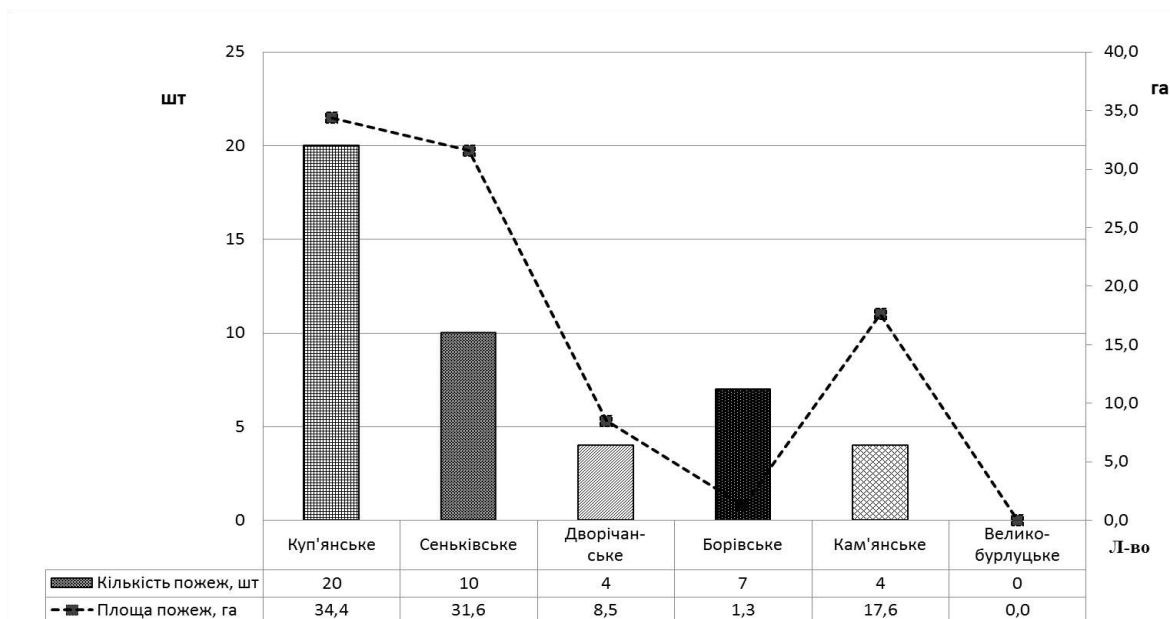


Рис. 5.3 – Кількість і площа верхових пожеж у л-вах ДП «Куп'янське ЛГ»

У період з 1992 до 1999 р., а також у 2008 та 2009 рр., коли були найсухіші погодні умови з ГТК від 0,6 до 1,0, виявлено не тільки велику кількість пожеж, але й найбільшу їхню площу. Значно менші площі пожеж спостерігали з 2000 до 2005 р., коли погодні умови були несприятливими для їхнього виникнення (рис. 5.4).

Найбільші площі пожеж не завжди відзначали в роки з найбільшою їхньою кількістю. Відносну горимість за кількістю випадків пожеж майже в

усіх л-вах, за винятком Великобурлуцького та Кам'янського, класифіковано як «надзвичайну». Горимість за площею вище за середню виявлено в Куп'янському л-ві, а в усіх інших і в усьому ДП горимість була «нижчою за середню». Середня площа однієї пожежі коливалася від 0,22 до 0,76 га. (табл. 5.3).

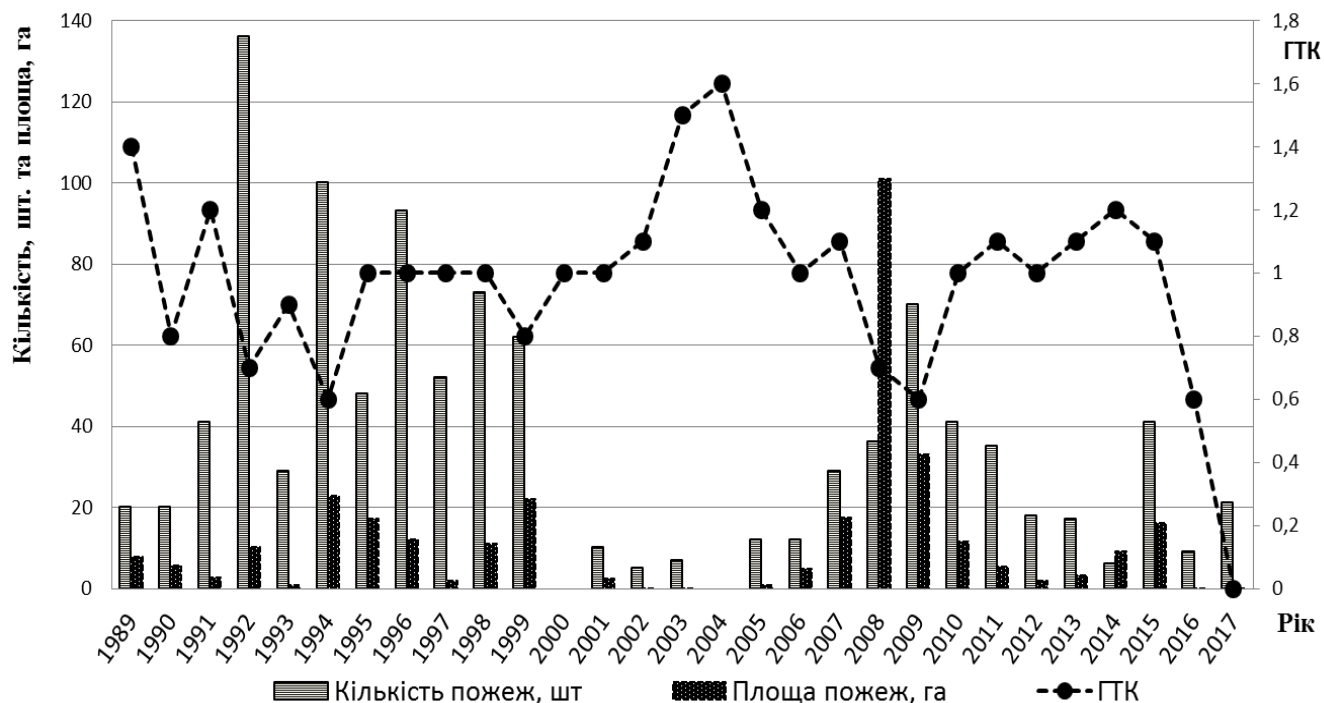


Рис. 5.4 – Кількість і площа пожеж у ДП «Куп'янське ЛГ» за роками та ГТК

Таблиця 5.3 – Середні кількість і площа пожеж та горимість лісів

Підприємство, Л-во	Кількість випадків загоряння			Площа, пройдена вогнем, га			Середня площа однієї пожежі, га
	Середня за рік	На 1000 га площі ЛФ	Відносна горимість	середня за рік	На 1000 га площі ЛФ	Відносна горимість	
ДП «Куп'янське ЛГ»	49	1,3	Над.	17,7	0,47	Н ср.	0,36
Куп'янське л-во	30	3,5	Над.	9,3	1,10	В. ср.	0,31
Сеньківське л-во	9	1,7	Над.	2,8	0,53	Ср.	0,32
Дворічанське л-во	5	0,9	Над.	4,0	0,70	Ср.	0,76
Борівське л-во	5	0,7	Над.	1,0	0,15	Н ср.	0,22
Кам'янське л-во	1	0,15	Вис.	0,5	0,10	Н ср.	0,64
Великобурлуцьке л-во	0,03	0,05	В. ср.	0,1	0,01	Низ.	0,01

Найбільша частка від кількості пожеж в ДП «Куп'янське ЛГ» припадає на травень – 27 %. Доволі високу частоту виникнення пожеж відзначено й у літні

місяці (від 13 до 17 %) та у вересні – 13 % (рис. 5.5). Таким чином, виділено два піки горимості – весняний і літньо-осінній.

Максимальну площу лісових пожеж зафіксовано в серпні – 31 %; у Куп'янському л-ві частка пожеж у цьому місяці становила 38 %. Високий відсоток пожеж зафіксовано в липні (18 %) та травні (14 %). Тобто періодом пожежного максимуму є квітень – вересень (рис. 5.6).

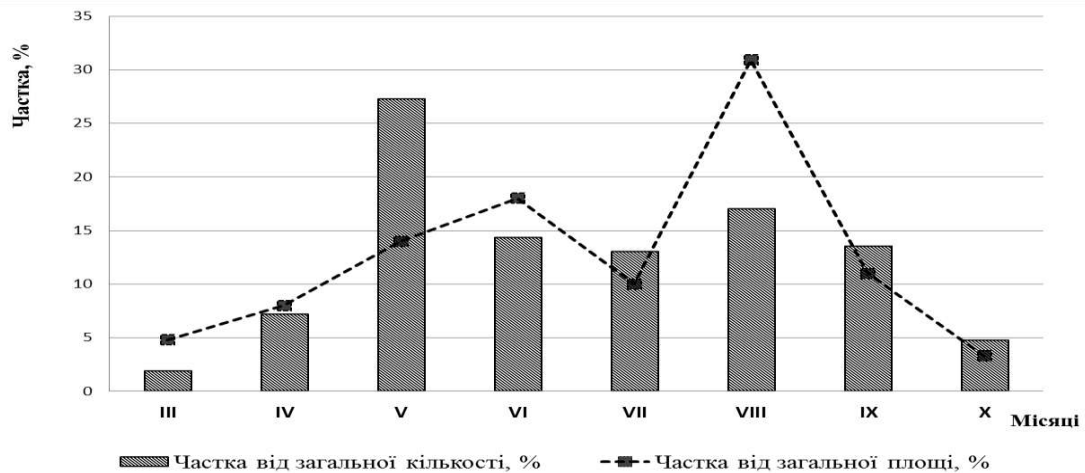


Рис. 5.5 – Розподіл кількості випадків і площі пожеж в ДП «Куп'янське ЛГ» за місяцями

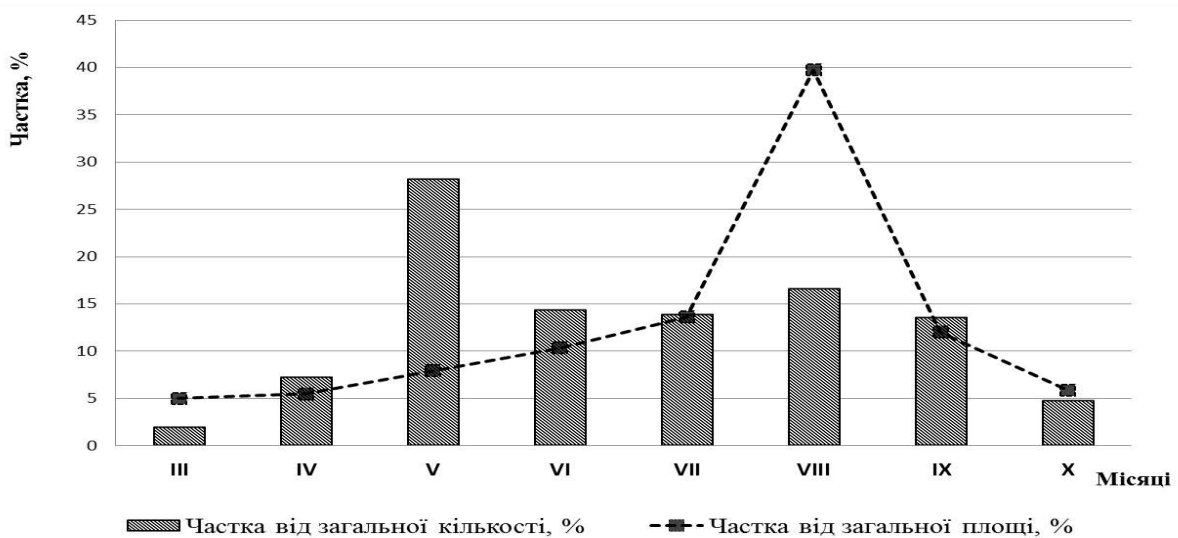


Рис. 5.6 – Розподіл кількості випадків і площі пожеж в Куп'янському л-ві за місяцями

Під час порівняння тенденцій пожеж за днями тижня найвищу кількість пожеж зафіксовано у вихідні та понеділок – 16–17 % як, наприклад, у ДП «Куп'янське ЛГ», де максимальна частка за площею припадає на неділю – 18 %. Досить високою є частка пожеж (понад 16 %), які виникають у понеділок, суботу та четвер (рис. 5.7, 5.8).

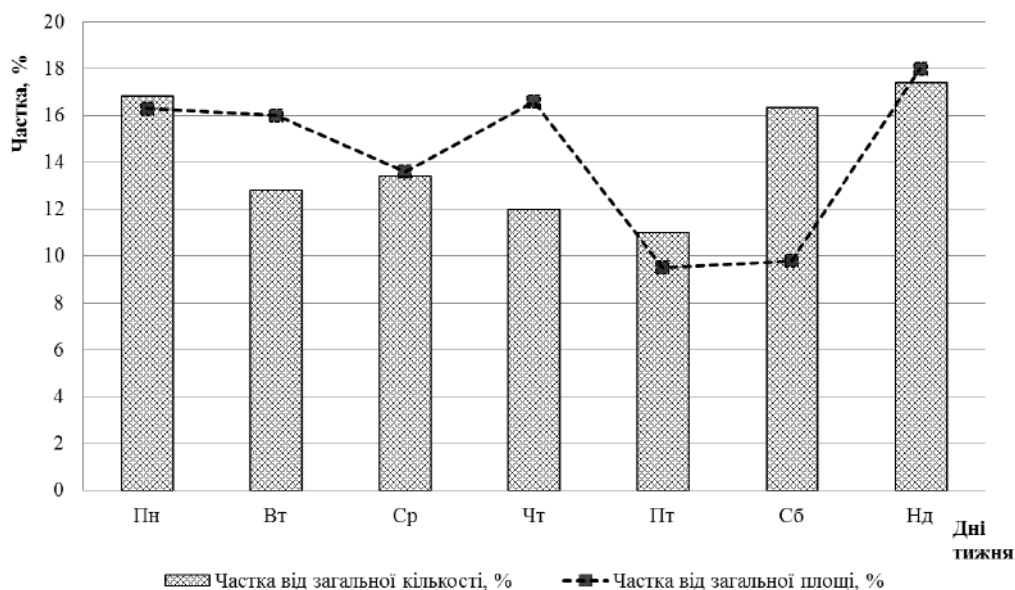


Рис 5.7 – Кількість випадків і площа пожеж у ДП «Куп'янське ЛГ» за днями тижня.

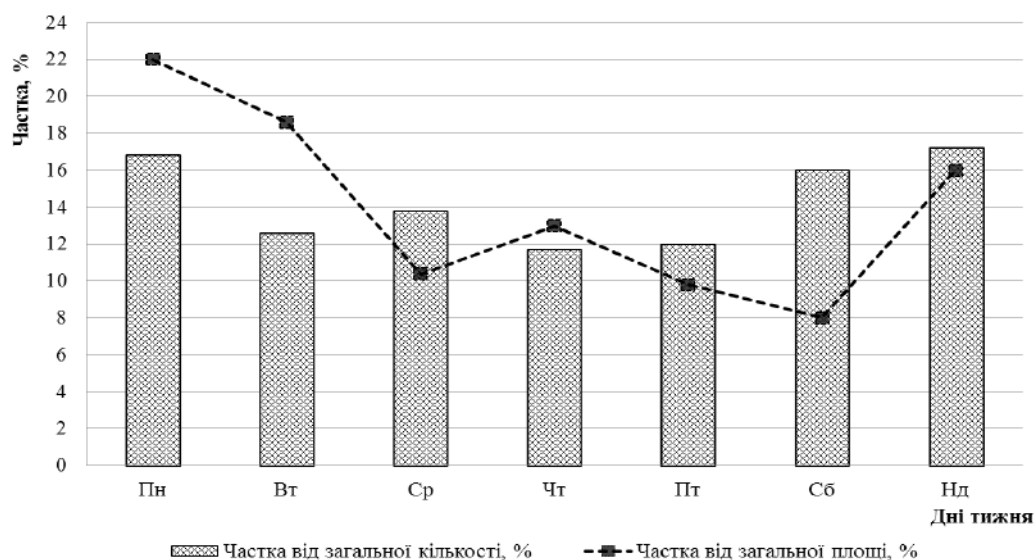


Рис 5.8 – Розподіл кількості випадків і площі пожеж у Куп'янському л-ві за днями тижня.

Під час аналізу пожеж за період 2000–2017 рр. було виявлено, що в ДП «Куп'янське ЛГ» на відрізок часу з 10 до 14 години припадає 45 % випадків пожеж, за площею – до 55 %. Значною була частка пожеж, які сталися з 14 до 18 години (від 20 до 28 % за обома показниками). У вечірні години, після 18.00, кількість пожеж значно зменшується. Таким чином, найбільш пожежонебезпечним періодом є час з 10 до 18 години, коли трапляється понад 70 % пожеж, що пояснюється добовими ритмами температури та відносної вологості повітря, пік якого залежно від сезону припадає на 14–15 години (рис. 5.9, 5.10).

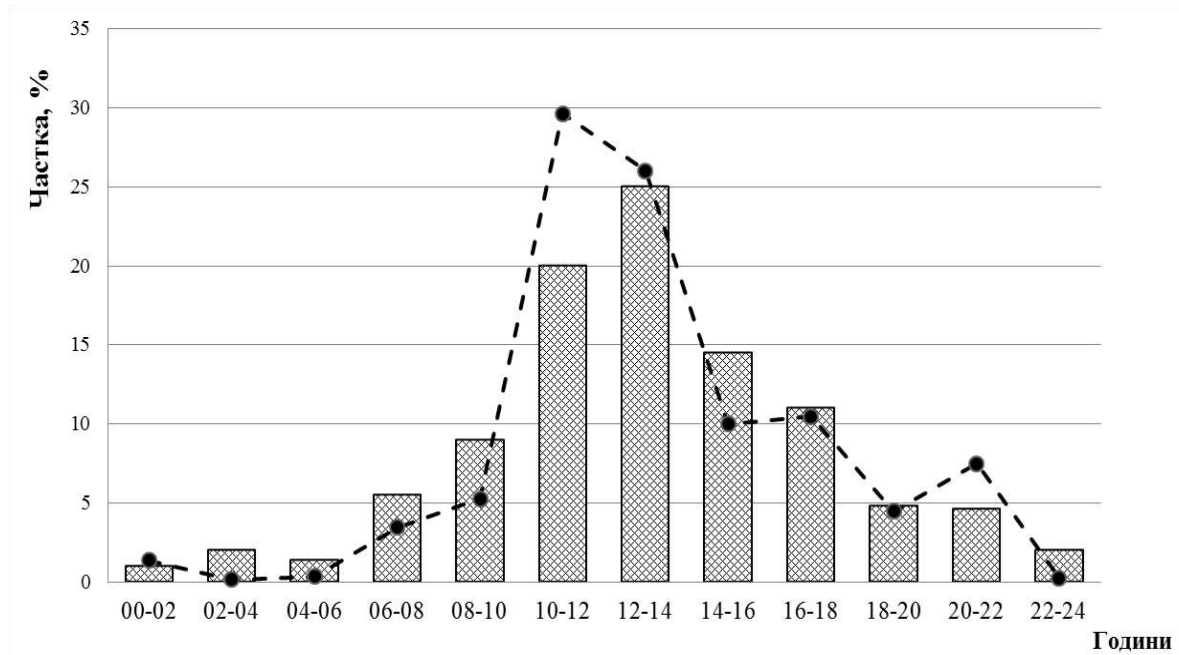


Рис. 5.9 – Розподіл кількості та площі пожеж у ДП «Куп'янське ЛГ» впродовж доби.

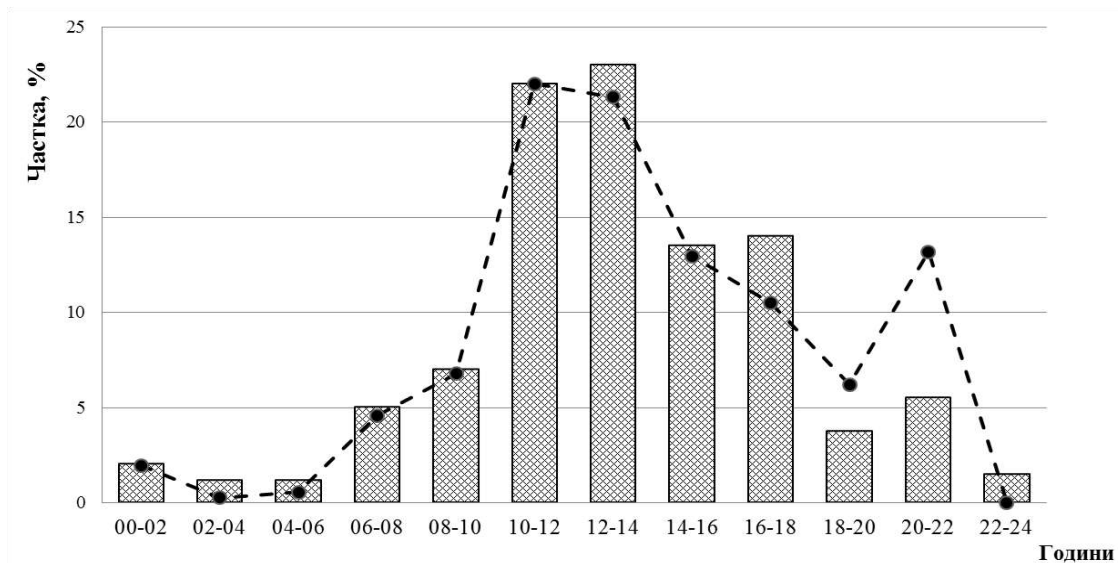
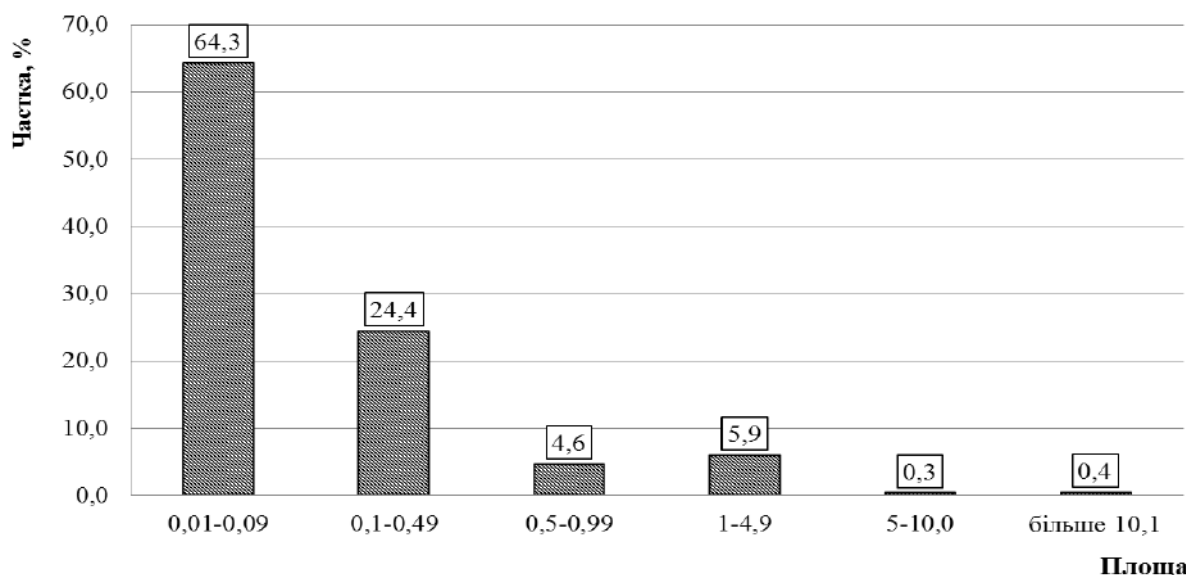


Рис. 5.10 – Розподіл кількості та площі пожеж у Куп'янському л-ві впродовж доби

У ДП «Куп'янське ЛГ» та Куп'янському л-ві найбільшу частку становлять невеликі пожежі з площею пошкодження вогнем 0,01–0,09 га – 64,3 та 69,7 % відповідно. Менший відсоток пожеж площею 0,10–0,49 га в ДП – 24,4 %. Пожежі з площею 0,5 - 1 га та 1 - 4,9 га припадає 5,9 %. (рис. 5.11, 5.12) Великі пожежі (5–10 га та понад 10 га) трапляються рідко – їхня частка становить від 0,3 до 0,4 %.



5.11 – Розподіл кількості випадків пожеж у ДП «Куп'янське ЛГ» за площею

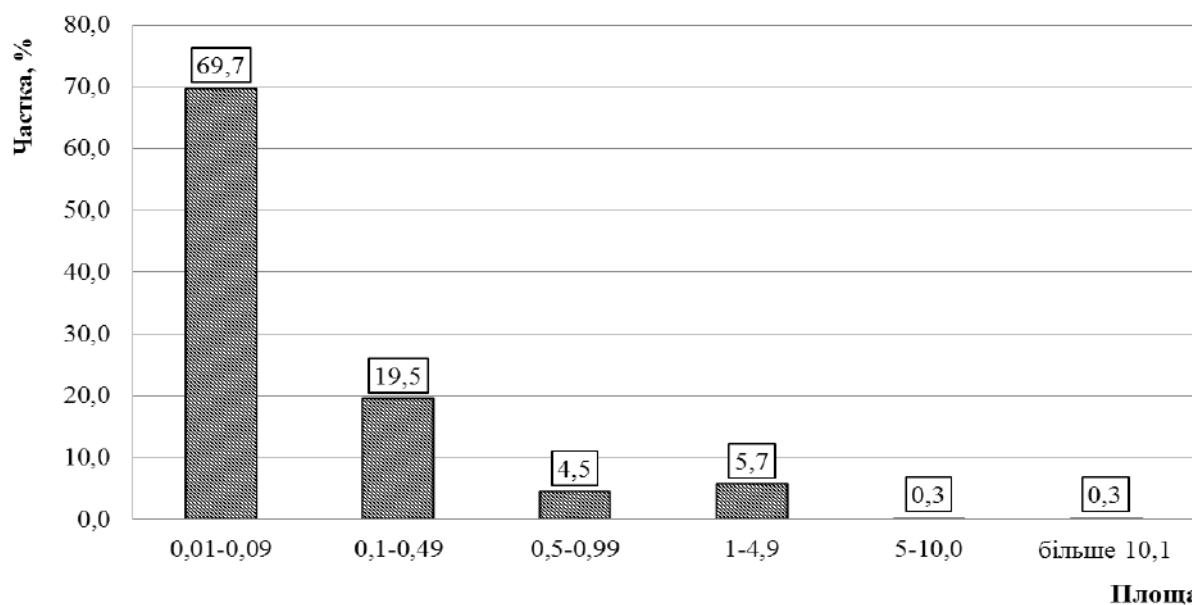


Рис. 5.12 – Розподіл кількості пожеж у Куп'янському л-ві за площею.

Переважає більшість пожеж (80,2 % за кількістю та 62,7 % за площею) припадає на середньовікові насадження. Для інших вікових груп їх кількістю значно менша – 5,9 до 7,5 %. Значна площа пожеж в незімкнутих лісових культурах – 27,1 %. Площі пожеж у пристиглих та стиглих насадженнях сумарно складають 10 % (рис. 5.13).

Під час просторового аналізу виникнення пожеж у різних кварталах Куп'янського л-ва ДП «Куп'янське ЛГ» виявлено, що переважна більшість пожеж як за кількістю випадків (80,2 %), так і за площею (62,7 %) припадає на певну частину кварталів (рис 5.14).

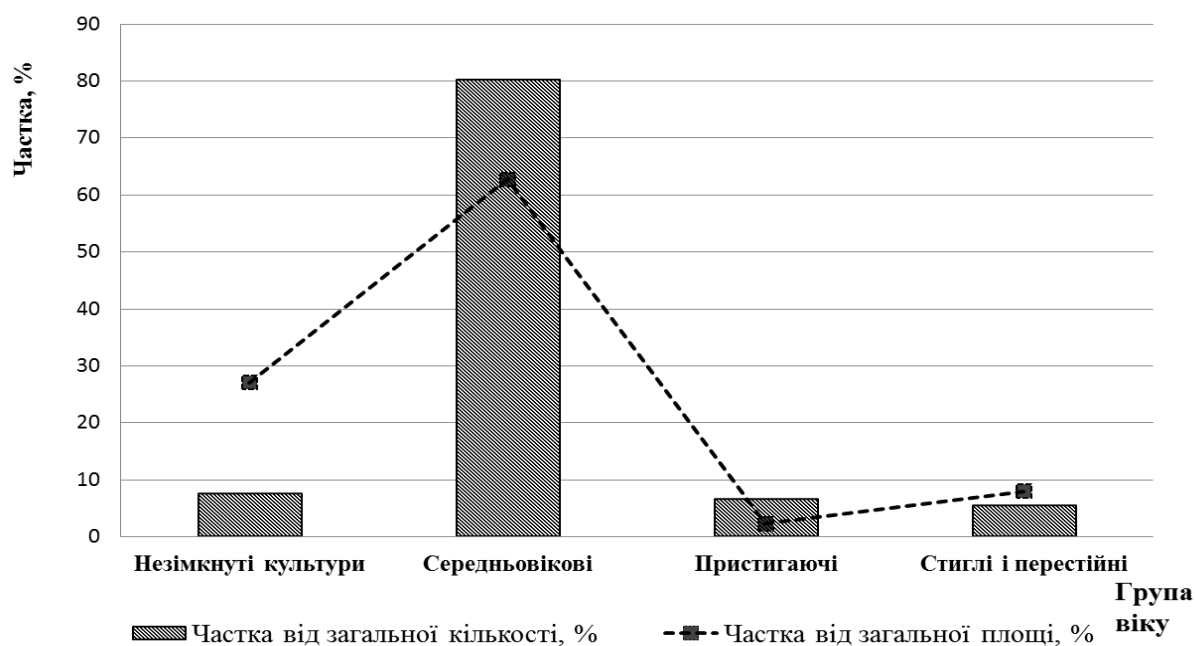


Рис. 5.13 – Розподіл кількості випадків виникнення пожеж в ДП «Куп'янське ЛГ» за групами віку за період 2000–2017 рр.

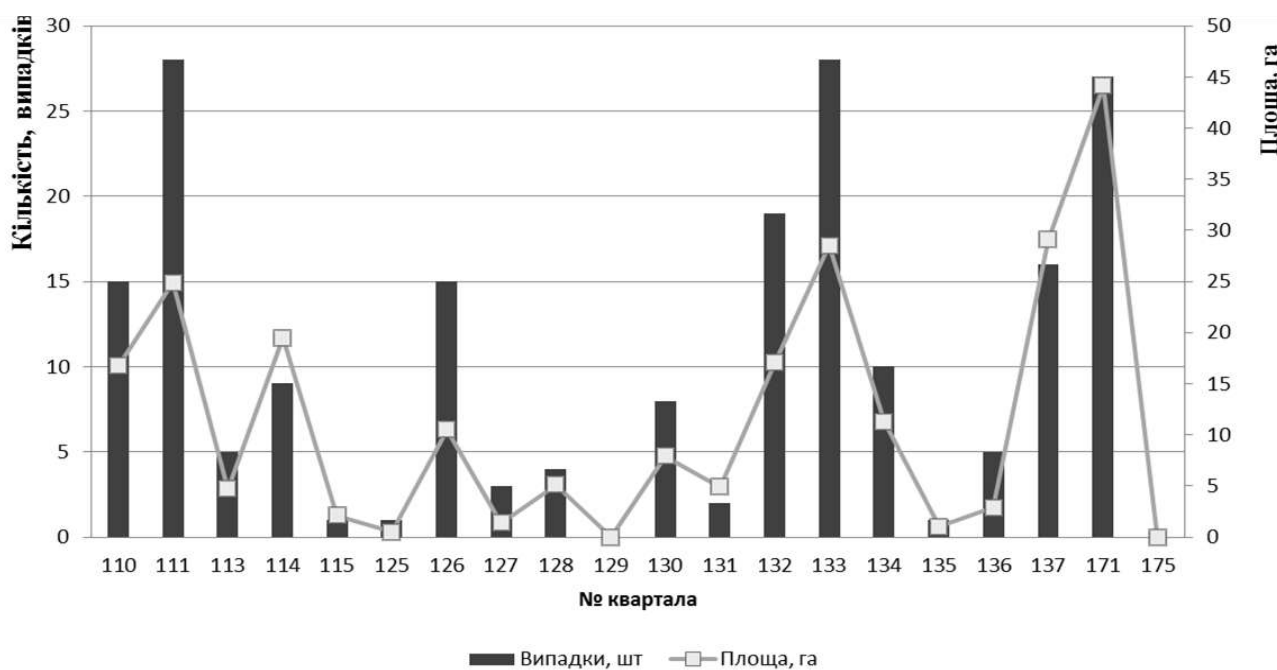


Рис. 5.14 – Розподіл кількості випадків і площі пожеж у найчастіше пошкоджуваних вогнем кварталах Куп'янського л-ва

5.1.2 Наслідки пошкодження сосняків пожежами в Північно-Східному Степу

Дослідження негативного впливу низових пожеж на сосняки у Північно-Східному Степу розпочато в 2016 р., коли погодні умови були посушливими (ГТК 0,6). В літні місяці та у вересні ГТК коливалося від 0,3 до 1,3.

Упродовж літніх місяців 2017 р. випало незначна кількість опадів (118мм). Серпень був надзвичайно пожежонебезпечним, майже всі дні цього місяця мали V клас пожежної небезпеки за умовами погоди (КППН понад 5000). ГТК у серпні становив 0,2, у вересні – 0,7, зафіксовано високі середньомісячні температури впродовж літньо-осіннього періоду (серпень – 23,5°C, вересень – 17,0°C) та незначну кількість опадів (серпень – 14,1 мм, вересень – 36,9 мм). Унаслідок надзвичайно посушливих погодних умов і висихання підстилки під час пожежі особливу небезпеку становив конвективний тип передачі тепла.

У пошкоджених низовими пожежами у 2017 р. сосняках Куп'янського л-ва було закладено п'ять та контрольну ППП (табл. 5.4). Пошкоджені пожежею сосняки росли в умовах В₁ та В₂. Вік досліджуваних насаджень 46–56 років. Середні діаметри варіювали в межах 18,5–23,6 см. Середня висота нагару становила від 0,62 м до 4,72 м.

Таблиця 5.4 – Таксаційні показники чистих сосняків на ППП Куп'янського л-ва

ППП	Кв.	Вид.	Вік	D, см	H, м	Бонітет	Повнота	Тип лісу	M, м ³ га ⁻¹	Частка ділових стовбурів, %
1	132	9	53	23,6	15	III	0,60	В ₁ ДС	148	50
2	171	11	46	18,5	19	I ^a	0,80	В ₂ ДС	299	60
3	171	11	46	20,4	19	I ^a	0,80	В ₂ ДС	299	60
4-К	171	11	46	23,2	19	I ^a	0,80	В ₂ ДС	299	60
5	131	18	56	23,3	22	I ^a	0,70	В ₂ ДС	320	56
6	131	6	56	22,4	22	I	0,75	В ₂ ДС	301	56

У сосняку на ППП 1 низова пожежа середньої інтенсивності виникла у вересні 2017 р. Характерною особливістю насадження є горбистий мікрорельєф (схили до 35 градусів) та низька повнота. Підстилка під деякими деревами вигоріла повністю.

Значної шкоди було завдано соснякам на ППП 2 та ППП 3, пошкоджених пожежею у серпні 2017 р. Деякі дерева біля основи стовбура не мали підстилки, вона згоріла до мінерального шару ґрунту.

Згадані низові пожежі призвели до погіршення санітарного стану насаджень. Так, I_c пірогеннопошкоджених сосняків коливався від 2,84 (у насадженні з незначними пошкодженнями на ППП 2) до 3,85 (у насадженні на ППП 5, пройденому низовою пожежею сильної інтенсивності). Характерним є те, що відпад у рік пожежі відбувся за рахунок переважно дерев IV та V класів Крафта (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Розподіл дерев за категоріями санітарного стану в пошкоджених пожежею сосняках

№ ППП	Дата пожежі	Рік обстежень	H _{наг} , м	I _c	Розподіл дерев за категоріями санітарного стану, %					
					I	II	III	IV	V	VI
1	Вересень 2017	2017	0,62	3,23	0	25,5	46,5	16,3	2,3	9,3
		2018		3,25	0	25,5	46,5	16,3	0	11,6
		2019		3,18	0	30,3	44,1	14	0	11,6
2	Серпень 2017	2017	0,71	2,84	0	20,8	74	5,2	0	0
		2018		2,91	0	18,2	75,3	5,2	0	1,3
		2019		2,86	0	18,2	80,5	0	0	1,3
3	Серпень 2017	2017	4,65	3,01	0	23	56,3	18,4	1,1	1,1
		2018		3,13	1,1	13,8	66,7	11,5	3,4	3,4
		2019		3,07	1,1	13,8	75,2	3,1	0	6,8
4К	Контроль	2017	-	2,29	9,1	55,8	31,2	3,9	0	0
		2018		2,29	9,1	55,8	31,2	3,9	0	0
		2019		2,19	9,1	62,1	28,8	0	0	0
5	Серпень 2017	2017	4,10	3,85	0	1,1	28,7	54,3	16	0
		2018		нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд
		2019		нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд
6	Серпень 2017	2017	4,72	3,66	0	9,6	35,1	36,2	18,1	1,1
		2018		4,93	0	0	3,3	26,7	43,3	26,7
		2019		нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд

Примітка: нд –насадження зрубане санітарною рубкою.

Ще дві пробні площі (ППП 5 і 6) закладено в сосняках, які були пошкоджені низовими пожежами сильної інтенсивності у вересні 2017 р. Середня висота нагару на стовбурі становила 4,10 та 4,72 м. В сосняку на ППП 5 відмічалось пошкодження конвективним тепловим потоком. Висока інтенсивність низової пожежі сприяла одночасному пошкодженню стовбура і крони. Середня висота нагару на стовбурі окремих дерев сягала 10–12 м. Під час дослідження виявлено низькі значення висоти грубої кори (середня висота грубої кори становила 4,9 м). Підстилка вигоріла на 70 %, до ферментативного шару. Підлісок та підріст, сформовані з горобини, ясеня зеленого, а також берези повислої, під час пожежі загинули.

На ППП 6 також відзначено пошкодження конвективним тепловим потоком. Вже через тиждень після пожежі крона найбільш пошкоджених дерев пожовтіла (середній показник дехромації у пошкодженному вогнем насадженні – 35,6 %). За дехромації крони понад 60 % санітарний стан дерев оцінено як «усихаючі» та «свіжий сухостій» (табл. 5.6, рис. 5.15). В окремих дерев висота нагару на стовбурі сягала 10–12 м. Підстилка під деревами згоріла повністю, водночас у міжкроновому просторі – лише до ферментативного шару.



Рис.5.15 – Стан сосняку після пожежі сильної інтенсивності з пошкодженням крони та стовбура

Таблиця 5.6 – Розподіл дерев за категоріями санітарного стану та дехромацією крони в середньовіковому сосняку ППП 6, %

КС	Дехромація, %									
	0–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	91–100
I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
II	17,9	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
III	59,0	42,9	37,5	33,3	33,3	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IV	20,5	42,9	62,5	66,7	66,7	50,0	0,0	100,0	100,0	30,4
V	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	69,6
VI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Тенденції післяпожежного розвитку сосняків Лісостепової зони і Північно-Східного Степу подібні. Так, найвищу ймовірність усихання мали дерева IV–V класів Крафта, стан яких оцінювали в межах IV–VI категоріями стану. Санітарний стан досліджуваних дерев залежав від обсягів пошкодження вогнем стовбура і погіршувався пропорційно до збільшення висоти нагару на стовбурах ($r = 0,97$; $p = 0,05$) (рис. 5.16).

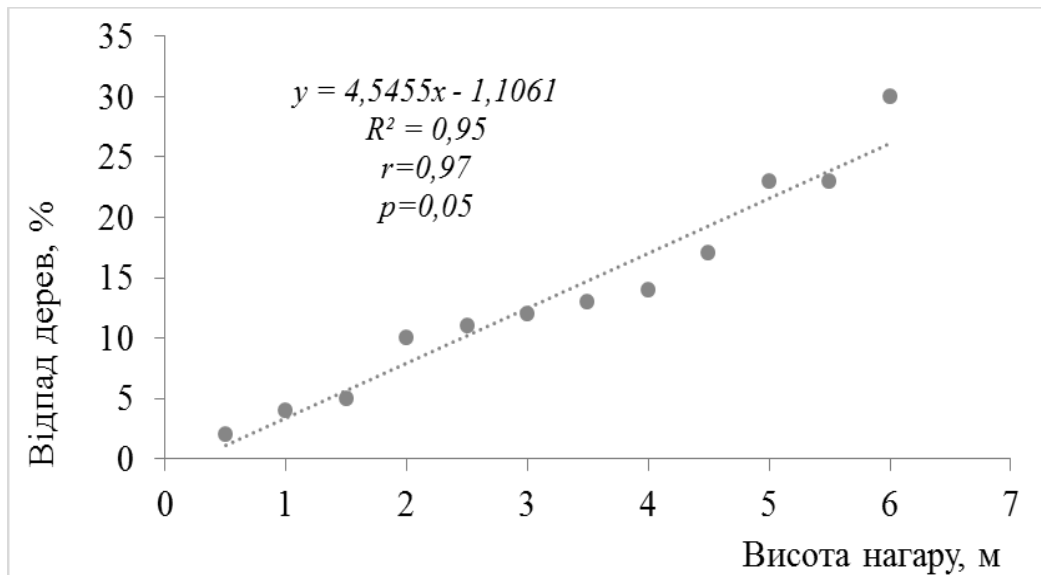


Рис.5.16 – Частка відпаду у сосняках залежно від середньої висоти нагару

За висоти нагару, менше за 0,5 м, характерними були незначна частка сухостою (2 %, за рахунок дерев IV–V класів Крафта) та значна кількість ослаблених та сильноослаблених дерев. Індекс санітарного стану дерев зростав від 3,0 до 4,0. Частка сухостійних дерев у середньовікових насадженнях із висотою нагару понад 3,5 м збільшувалася від 13,7 до 35 % за висоти нагару на стовбурі понад 6,5 м.

5.2 Тенденції та наслідки пожеж у лісах Південного Степу України

5.2.1 Кліматичні умови регіону досліджень, що збільшують пожежний ризик

Аналіз даних метеостанцій півдня України дав змогу виявити тенденцію підвищення загального зволоження й збільшення температур за останні пів сторіччя. Водночас за період із 1930 (до масового залісення) до 1986 рр. (коли було заліснене понад 83 тис. га пісків) річна сума опадів за даними степових метеостанцій м. Миколаїв, Херсон, Асканія-Нова збільшилася на 69,4 мм, як порівняти з приаренними територіями. На територіях, що безпосередньо межують із Нижньодніпровськими пісками (Каховка, Бехтери, Брилівка), збільшення становило 80 мм, а на залісених пісках (Олешки, Великі Копані) – 121,7 мм.

Різниця в опадах залісених піщаних масивів і степу в середньому становить 52,3 мм, що за багаторічної суми опадів до залісення 326 мм становить 16 %. Випаровування вологи з не залісених пісків було на 46 мм вищим, ніж у степу, а коефіцієнт зволоження території пісків становив 0,34, степу – 0,39.

Під впливом лісових насаджень змінюється й температурний режим. Середньорічна температура повітря над залісеними пісками зросла на 0,8°C, на приаренних землях – на 0,3°C, а в степу, навпаки, знизилася на 0,1°C.

Потепління над залісеними аренами відбувається переважно за рахунок підвищення температури в холодний період року – на $1,5^{\circ}\text{C}$ проти $1,0^{\circ}\text{C}$ над безлісним степом. У теплий період року в степу температура знизилася на $0,6^{\circ}\text{C}$. У результаті сума позитивних температур повітря над залісеними пісками збільшилася на 200°C , над безлісими приаренними (але зайнятих садами й виноградниками) ділянками – на 85°C ; у степу вона, навпаки, зменшилася на 28°C .

До залісення пісків кількість суховійних днів становила 16 днів в степу, 17,2 на приаренних землях та 22,4 на піщаних аренах. Після залісення кількість суховійних днів значно зменшилась і становила 6,1–8,8 дня на приаренних землях та 9,4 дня в степу.

Одними із факторів, що лімітують поширення низової пожежі є швидкість і напрям вітру. Відзначено формування посиленних вітрових потоків на початку зими – початку весни. Максимальне значення швидкості вітру 11 м/с . Найбільші середні значення швидкості вітрових потоків зареєстровано протягом січня – квітня – $3,1\text{--}4,4\text{ м/с}$. Найменші середні значення зафіксовано в травні й липні – $2,2$ та $2,4\text{ м/с}$ відповідно. Дані за попередні роки свідчать, що в період виникнення пожеж на території лісового фонду Херсонської області посиленних вітрових та сильних поривів вітру не було.

Аналіз температурних показників з 2015 по 2019 рік показав, що хід температури за місяцями за цей період був подібним та не мав значних відхилень за показниками середньомісячних температур (рис. 5.17).

Порівняння останніх двох 2018 та 2019 років продемонструвало, що сума середніх температур літніх місяців 2018 р. була вищою, ніж 2019 р., на $2,5^{\circ}\text{C}$. Середнє значення температур вересня у 2019 р. було на $4,8^{\circ}\text{C}$ вищим, ніж у 2018 р. Загалом слід відзначити невелику різницю температурного режиму 2018 та 2019 рр. (рис. 5.17).

Аналіз середньомісячної кількості опадів від січня до жовтня в різні роки показав, що посушливим виявився червень 2019 р. із сумою опадів 93 мм . Також незначну кількість опадів на рівні $95,9\text{ мм}$ зафіксовано в серпні 2015 р. Практично повну відсутність опадів зареєстровано у вересні 2017 р. (на рівні $0,7\text{ мм}$), у квітні та серпні 2018 р. (на рівні $1,5$ та 0 мм відповідно) (рис. 5.18).

Загальна сума опадів за роками становила: у 2015 р. – 483 мм , у 2016 – 465 мм , у 2017 – 237 мм , у 2018 – 331 мм та у 2019 – 366 мм за 9 місяців. Найбільш сприятливим роком для підтримання рівня пожежної безпеки був 2015 р., коли у межах земель Херсонського обласного управління лісового і мисливського господарства виникло 123 пожежі. Найменш сприятливим роком виявився 2017 р. – з найменшою кількістю опадів (на рівні 237 мм) та найбільшою кількістю випадків виникнення пожеж (374 випадки) за досліджуваний період (рис. 5.18).

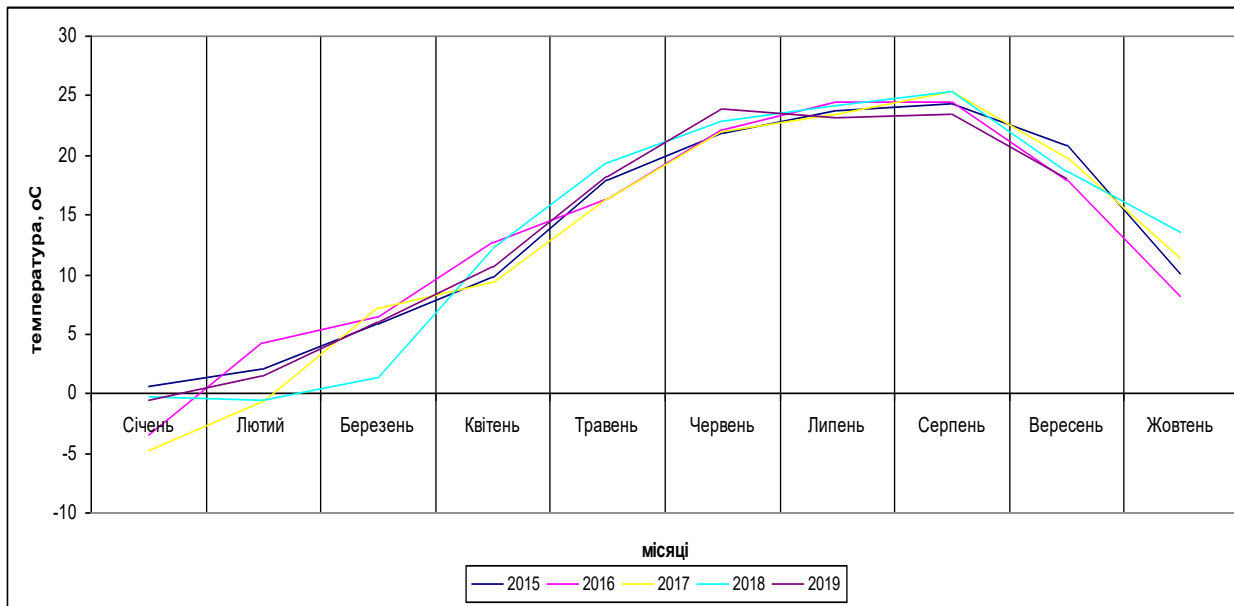


Рис. 5.17 – Середньомісячні температури повітря за період 2015–2019 рр.

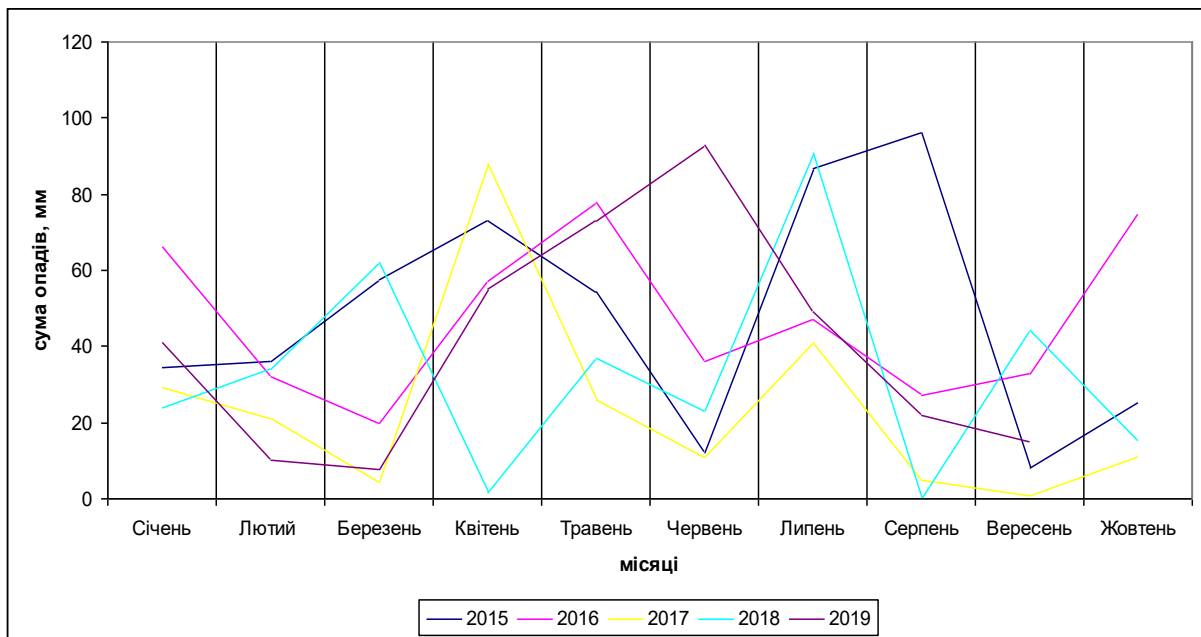


Рис. 5.18 – Середньомісячна кількість опадів від січня до жовтня

5.2.2 Особливості виникнення лісових пожеж і горимість лісів

Упродовж 2019 р. в ситуація щодо виникнення пожеж лісах Херсонської області була складною. В той же час в порівнянні з 2017 та 2018 рр. дещо зменшилася кількість пожеж, що пов'язано з випадінням більшої кількості опадів.

У Херсонському обласному управлінні лісового та мисливського господарства проведено оптимізація лісомисливських господарств. Державні підприємства «Новотроїцьке ЛМГ» та «Присиваське ЛМГ» було об'єднано з ДП «Каховське ЛМГ», а ДП «Херсонське ЛГ» з ДП «Олешківське ЛМГ».

У ДП «Новотроїцьке ЛМГ» та «Присиваське ЛМГ» за період 2005–2019 рр. зафіксовано лише по одній пожежі. У 2017 р. сосняки мали низький рівень горимості, водночас на території ДП «Херсонське ЛГ» протягом зазначеного періоду виникло 165. Зважаючи на це, можна припустити, що в межах ДП «Олешківське ЛМГ» надалі можливе зростання кількості пожеж та підвищення рівня відносної горимості лісового фонду підприємства саме внаслідок приєднання Херсонського ЛГ на фоні загального недофінансування лісової охорони.

За 15-річний період спостережень найбільшу кількість пожеж зафіксовано в ДП «Каховське ЛМГ», ДП «Олешківське (Цюрупинське) ЛМГ» та ДП «Голопристанське ЛМГ» – 942, 784 та 621 випадок відповідно. Найменшу кількість пожеж за 15-річний період виявлено в ДП «Збур'ївське ЛМГ» та ДП «Скадовське ЛГ» – 125 та 154 випадки. УДП «Скадовське ДЛМГ», яке розташоване в південній частині Херсонської області, у 2005, 2010 та 2014 рр. не було зареєстровано жодного випадку виникнення пожежі.

Найбільш пошкодженими верховою пожежею лісовими масивам за 15-річний період спостережень є ліси ДП «Голопристанське ЛМГ», в яких площа, пройдена вогнем, становила 6504,12 га, переважно внаслідок великих пожеж 2007 та 2012 рр. з площами 5 244,6 та 1 018,8 га відповідно. Також у 2007 р. від верхових пожеж дуже постраждали насадження ДП «Олешківське ЛМГ» – площа пожеж становила 1244,12 га. У 2018 р. лісам цього підприємства також нанесено значної шкоди верховими пожежами, площа яких становила 240 га. Верхові пожежі завдали шкоди ДП «Каховське ЛМГ» у 2012 р. на площі 526,38 га. У 2019 р. на території всіх лісомисливських господарств верхових пожеж не було виявлено.

За 15-річний період досліджень на території лісів Херсонського обласного управління лісового та мисливського господарства низовими пожежами пошкоджено 6266 га, верховими – 9286 га. Найбільшу площу пожеж на території Херсонського обласного управління лісового та мисливського господарства, зафіксовано у 2007 та 2012 рр. – 8749,8 та 2603,9 га відповідно, що у відсотковому відношенні до всіх площ, пройдених пожежами за 2005–2019 рр., становить 56,3 та 16,7 %. Зокрема, 6550,8 га у 2007 р. та 1808,9 га у 2012 р. було пройдено верховою пожежею (рис. 5.19).

Діаграма (рис. 5.19) дає змогу оцінити площі деревостанів, пошкоджених низовими та верховими пожежами за 2005–2019 рр.

Загальна кількість пожеж у 2019 р. на території земель Херсонського обласного управління лісового та мисливського господарства становила 158 випадків (249 випадків у 2018 р.), що у відсотковому відношенні за 15-річний період спостережень становило 4,6 % від загальної кількості виниклих пожеж, або 1,1 % всіх пройдених пожежами територій. Середнє значення за зазначений період становило 229 випадків. Якщо порівняти із середньою багаторічною кількістю пожеж, в 2019 році зафіксовано на 71 випадок менше. Відсоткове відношення випадків виникнення пожеж у 2018–2019 рр. до 2013 р. (рік з найменшою кількістю пожеж) становить 219 % (для 2018 р.). За досліджуваний

період найбільш «несприятливими» за кількістю випадків виникнення пожеж були 2006 та 2007 рр., коли зафіксовано 443 та 430 випадків займання лісових масивів відповідно. Також несприятливим виявився 2017 рік, в якому кількість пожеж становила 374 випадки.

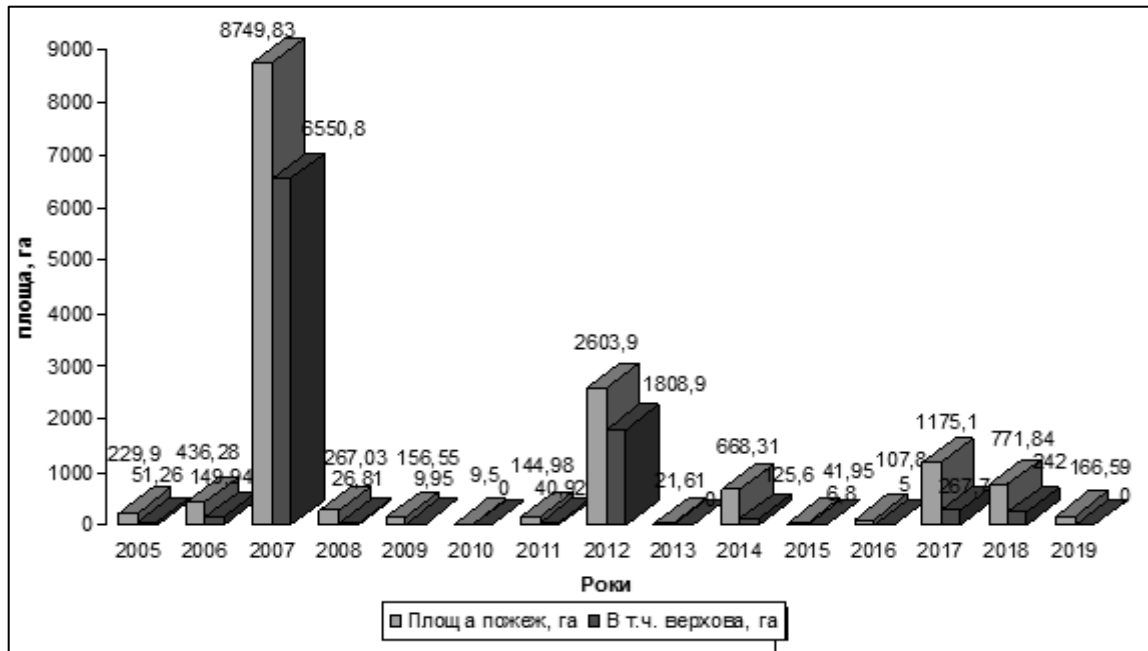


Рис. 5.19 – Загальна площа лісових пожеж за 15-річний період на території державного лісового фонду ХОУЛМГ

Для оцінювання впливу погодних умов на виникнення пожеж у 2019 році на території державного лісового фонду Херсонського ОУЛМГ кількість випадків пожеж за місяцями було порівняно із середньомісячними погодними показниками за кожен місяць пожежонебезпечного періоду (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 – Середньомісячні кліматичні показники та кількість пожеж в 2019 р.

Місяць	Середня швидкість вітру, м/с	Середня температура повітря, °С	Кількість опадів за місяць, мм	Відносна вологість повітря, %	Кількість випадків, шт. 2019 р.
Січень	3,1	-0,5	41	91	0
Лютий	3,4	1,5	10	84	0
Березень	3,4	6,0	7,7	70	27
Квітень	3,1	10,6	55	65	27
Травень	2,2	18,2	73	73	15
Червень	2,6	23,9	93	64	23
Липень	2,4	23,1	49	58	29
Серпень	2,7	23,4	22	58	15
Вересень	2,7	18,1	15	59	22

У березні виникло 27 пожеж, хоча спостерігалася висока відносна вологість повітря (на рівні 70 %); у квітні за відносної вологості повітря на рівні 65 % виникло 267 пожеж; у липні 2019 р. за найнижчої відносної вологості повітря на рівні 58 % (46 % у 2018 р.) зафіксовано найбільшу кількість пожеж – 29. У вересні за відносної вологості повітря 59 % зафіксовано 22 випадки виникнення пожеж.

Сума збитків, завданих пожежами лісовому господарству у 2019 р., дещо менша ніж у попередні роки та становила з урахуванням прямих і побічних збитків 813,7 тис. грн. У попередні роки збитки, завдані пожежами, дорівнювали сумі коштів, які необхідні для охорони лісу від пожеж. Це – 17 млн грн у 2017 р. та 19 млн грн у 2018 р.

На території Херсонщини показав, більшість пожеж в 2019 році, як і в минулі роки, зафіксовано в Каховському, Олешківському та Голопристанському р-нах, де головною породою є сосна звичайна та кримська (*Pinus nigra ssp. Pallasiana*). Найбільшу кількість випадків – 50 (89 у 2018 році) – зареєстровано в ДП «Каховське ЛМГ», де пройдено пожежами 13,9 га. Верхових пожеж не зафіксовано. Загальна сума завданих прямих збитків становила 5,2 тис. грн, побічних – 54 тис. грн. Середня площа кожної пожежі дорівнювала 0,26 га. Найбільшу площу, пройдену пожежею у 2019 р., як і в попередньому, виявлено на території ДП «Олешківське ЛМГ». Вона становила 118,31 га (663,72 га у 2018 р.). Усі пожежі вдалося вчасно локалізувати. У ДП «Голопристанське ЛМГ» у 2019 р. виникло 27 пожеж (60 – у 2018 р., 70 – у 2017 р.) на загальній площі 10,65 га. Середня площа однієї пожежі в господарстві становила 0,39 га. Сума завданих прямих збитків господарству – близько 4,5 тис. грн, побічних – 353,177 тис. грн.

Хоча у 2019 р в ДП «Збур'ївське ЛМГ» зафіксовано найменшу кількість пожеж – 5 випадків, площа лісів пройдено пожежами складала – 11,82 га. У ДП «Великоолександрівське ЛМГ» сталося 16 пожеж на площі 7,42 га. Загалом прямих збитків було нанесено на суму 196 тис. грн, побічних – на суму 618 тис. грн.

В лісах Херсонського обласного управління лісового та мисливського господарства 152 випадки пожеж (96,2 %) сталося з вини населення, з них 17 випадків – підпали, 1 – сільгосппали. Загалом найбільшу кількість випадків виникнення пожеж з вини населення зафіксовано у ДП «Каховське ЛМГ» – 50, ДП «Олешківське ЛМГ» – 33, ДП «Великоолександрівське ЛМГ» – 16 випадків. Найбільшу кількість підпалів (16) зафіксовано у ДП «Голопристанське ЛМГ». Частка пожеж природного походження становила 4,5 % (6 випадків – удар блискавки). У 2017 р. частка пожеж, що виникли з вини людини, становила 95 %, у 2018 р. – 93,6 %, у 2019 р. – 95,5 %.

Порівняння тенденцій пожеж протягом тижня показало, що майже половина пожеж виникло в суботу, 22 % – у неділю, 19 % – у п'ятницю, і лише 10 % – в інші дні. Помічено зростання кількості пожеж у дні державних і релігійних свят. Більшість пожеж виникала в другій половині дня.

У процесі досліджень визначено абсолютну й відносну горимість лісів у підприємствах ХОУЛМГ (табл. 5.8). Збереженню надзвичайної пожежної небезпеки в лісі сприяють високі температури на поверхні ґрунту (лісової підстилки) та постійні вітри. Враховуючи особливості кліматичних умов регіону, класи пожежної небезпеки слід визначати за регіональною шкалою, розробленою науковцями ДП «Степовий філіал УкрНДІЛГА». Ця шкала є частиною «Настанов із ведення господарства в Нижньодніпровських лісах» та «Настанов із ведення господарства в Нижньодніпровських лісах» [63].

За даними наукових звітів шляхом еколого-статистичного аналізу горимості лісів Нижньодніпров'я було визначено, що горимість залежить насамперед від антропогенних факторів – близькості до транспортної мережі й до населеного пункту, відвідуваності населенням лісів. Із цієї причини частіше горять малі та середні за площею виділи й квартали, які найпривабливіші з естетичного погляду. Аналіз лісотаксаційних показників виявив, що частіше горять насадження II, III та рідше I класів бонітету. Ймовірність пожеж – 0,35, 0,34, та 0,20, відповідно.

Таблиця 5.8 – Показники горимості соснових насаджень у підприємствах ХОУЛМГ у 2019 р.

Державне лісгосподарське підприємство	Частка хвойних, %		Загалом лісових пожеж		Горимість за кількістю			Горимість за площею		
	Сз	Скр	кількість, шт	площа, га	загальна, шт	Сз	Скр	загальна, га	Сз	Скр
Велико-копанівське	33	44	23	35	2	5	4	3	8	6
Велико-олександрівське	3	16	20	23	3	82	17	3	93	19
Голопристанське	51	37	41	509	3	6	8	35	69	94
Збур'ївське	48	46	8	18	1	3	3	3	6	6
Каховське	10	27	63	128	6	55	21	12	112	42
Скадовське	0	2	10	8	6		326	5		263
Херсонське	0	2	11	11	2	948	119	2	942	118
Олешківське	38	41	52	297	3	8	8	18	48	45
Новотроїцьке	0	11	0	6	0		2	19		166
Присиваське	0	8	0	2	1		14	34		426

Існує суттєва різниця між фактичною горимістю й протипожежними заходами у лісах Херсонського ОУЛМГ та розподілом пожеж за класичною шкалою, запропонованою професором В. Г. Нестеровим.

За місцевою шкалою надзвичайна пожежна небезпека (V клас) настає, якщо комплексний показник перевищує 2101, а за шкалою Нестерова це відповідає III класу, або середній пожежній небезпеці. Відповідно й

регламентація роботи лісопожежних служб значно різниться. Наприклад, у випадку III класу пожежної небезпеки передбачено:

- крім наземного патрулювання, здійснення авіапатрулювання 1–2 рази на день;
- чергування на спостережних вежах і пунктах триває з 10 до 17 години;
- пожежні команди в повному складі перебувають у місцях чергування;
- за допомогою засобів масової інформації сповіщають населення про обмеження відвідування лісових масивів.

У разі V класу пожежної небезпеки передбачено:

- мобілізацію всієї державної лісової охорони на охорону лісів від пожеж;
- наземне патрулювання триває впродовж світлового дня;
- залучають громадський актив, поліцію.
- авіапатрулювання здійснюють не менше двох разів на день;
- пожежні команди перебувають у повній готовності;
- заборонено відвідування лісів населенням;
- активно ведуть протипожежну пропаганду, зокрема на вокзалах, автостанціях, пристанях, у річкових портах тощо;
- організовують цілодобове чергування в управліннях, лісгосподарських підприємствах і лісництвах.

У 2019 році, відповідно до комплексного показника пожежної небезпеки, визначено 12 % днів загального пожежонебезпечного періоду з V класом пожежної небезпеки та 22 % днів, що мали IV клас пожежної небезпеки за регіональною шкалою, розробленою в ДП «Степовий філіал УкрНДІЛГА» (див табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Порівняльна характеристика шкали пожежної небезпеки В. Г. Нестерова та регіональної шкали, розробленої в ДП «Степовий філіал УкрНДІЛГА»

Клас пожежної небезпеки	Комплексний показник		Пожежна небезпека
	за регіональною шкалою ДП «Степовий філіал УкрНДІЛГА»	за шкалою професора В.Г. Нестерова	
I	до 200	до 300	відсутня
II	201–500	301–1000	мала
III	501–1200	1001–4000	середня
IV	1201–2100	4001–10000	висока
V	понад 2100	понад 10000	надзвичайна

Відповідно до шкали оцінювання середньої фактичної горимості та загальної площі лісового фонду, підпорядкованого Херсонському ОУЛМГ (176 тис. га, або 66,4 % площі вкритих лісовою рослинністю земель), у 2019 р. відносна горимість була на рівні середньої – 0,94 на 1000 га лісового фонду, водночас за площею вона є низькою.

5.2.3 Дослідження лісових горючих матеріалів

Дослідження закономірностей накопичення лісової підстилки проводили в 35–50-річних насадженнях сосни звичайної в дослідному лісництві ДП «Степовий філіал УкрНДІЛГА» на пробних площах, які формують екологічний ряд. Як показали дослідження, у лісовій підстилці пробних ділянок найбільшу питому вагу мав гомогенний розкладений шар, що перебував у середньому на IV стадії дигресії, маса якого коливалася від 425 г на контролі (I стадія дигресії до 153 г (дослід)). Мінералізація підстилки проходила особливо інтенсивно на контрольній ППП, де фракція, що розклалася, становила 72 %. Це можна пояснити сприятливими динамічними умовами вологості, температури й іншим показниками, властивими масивним насадженням із високою повнотою. Повільніше процес мінералізації підстилки протікав, починаючи з II стадії дигресії. На III та IV стадіях дигресії частка гомогенної фракції коливалася в середньому від 58,7 до 55,3 %. Різниця маси свіжого опаду та напіврозкладеного шару на різних стадіях була несуттєвою. Статистичний аналіз кореляційної залежності маси кожного шару підстилки від стадій дигресії показав для свіжого опаду $r = 0,072$. Вага напіврозкладеного шару достовірно корелювала зі стадіями дигресії (коефіцієнт кореляції зі стадією рекреаційної дигресії r дорівнював 0,765, ступінь свободи $k = 10$, значення фактичного критерію Стюдента $t_{\phi} = 3,70$ за стандартного значення критерію Стюдента на рівні значущості 0,05 $t_{st,0,05} = 2,230$). Аналіз середньої ваги розкладеного шару підстилки на кожній стадії дигресії довів достовірне її зменшення (коефіцієнт кореляції зі стадією рекреаційної дигресії r дорівнює -0,845, -ступінь свободи $k = 10$, значення фактичного критерію Стюдента $t_{\phi} = -6,19$ за стандартного значення критерію Стюдента на рівні значущості 0,05 $t_{st,0,05} = 2,230$).

Товщину підстилки досліджували з урахуванням специфіки штучних насаджень на різній відстані від дерева у межах пробної площі, а саме безпосередньо поруч із деревом, між деревами у ряду та між рядами дерев. Виявлено достовірну залежність товщини підстилки за стадіями рекреаційної дигресії у мікронах у насадженні (біля дерева, між рядами дерев та середня для пробної площі). Товщина підстилки поруч із деревами зменшується проти контролю майже у два рази на IV стадії дигресії та достовірно корелює зі стадіями дигресії ($r = -0,656$; $t_{\phi} = -2,61$; $t_{st,0,05} = -2,230$). Товщина підстилки між рядами дерев на IV стадії дигресії в середньому зменшується у три рази, а також із високою достовірністю корелює зі стадіями рекреаційної дигресії ($r = -0,917$, $t_{\phi} = -6,90$, $t_{st,0,05} = -2,230$).

Рекреаційне навантаження на лісові екосистеми спричинює суттєві зміни запасів лісової підстилки. На II та III стадіях дигресії втрати запасів підстилки відбувалися поступово. Якщо на контрольній пробній площі запас становив 33,5 т/га, то на II стадії – в середньому на 11,04 % менше, на III – на 22,99 % менше. На IV стадії рекреаційної дигресії втрати лісової підстилки становили 29,05 % від значення контролю, що в абсолютних величинах відповідає втратам

майже 10 т/га (рис. 5.20). Статистичної залежності між запасами та товщиною підстилки в умовах рекреаційного пресу не було знайдено.

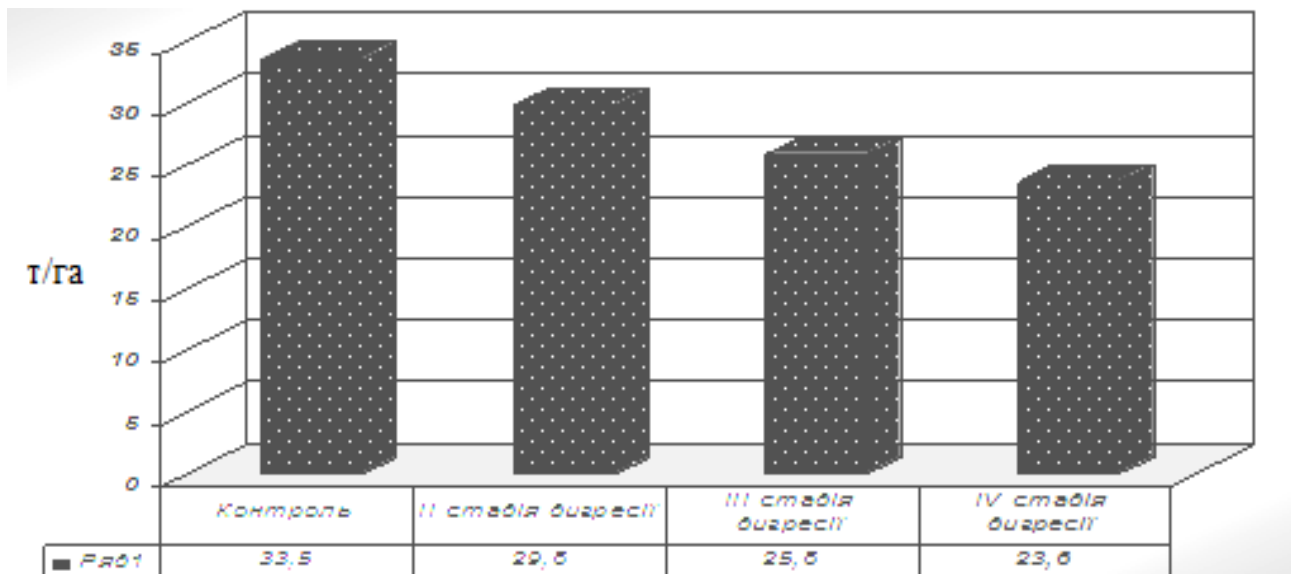


Рис. 5.20 – Запас підстилки за стадіями рекреаційної дигресії в 50-річних сосняках

Товщина, вологість і запаси лісової підстилки збільшуються у міру віддалення від автотраси на 18,0–25,9, 17,5–23,8 та 49,6–65,0 % відповідно. Щільність зменшується всього на 1,8–2,6 %.

5.2.4 Постпірогенний розвиток сосняків у Південному Степу

Крім ступеню пошкодження на інтенсивність та тривалість усихання сосняків у Південному Степу значний вплив мають жорсткі кліматичні умови. Так, пошкоджені насадження крім ослаблення внаслідок лісових пожеж втрачають стійкість внаслідок дії тривалих посух. Зважаючи на це, наслідки пожеж для сосняків у цьому регіоні часто бувають катастрофічними (рис. 5.21)

У насадженнях сосни кримської (*Pinus nigra* ssp. *Pallasiana*) з різним рівнем пошкодження пожежами проведено дослідження постпірогенного розвитку (рис. 5.22). Вік пошкоджених насаджень – 43 та 45 років. Тип лісорослинних умов – А₂. Повнота насаджень – 0,80 та 0,75 відповідно. Середній запас деревини – 220 та 240 м³/га, середня висота нагару – 3,9 м. Після пожеж переважали пошкодження стовбура. Кореляційний аналіз відношення середньої висоти нагару до індексу санітарного стану у пошкоджених пожежею насадженнях сосни кримської виявив помірний зв'язок на рівні $r = 0,54$ ($p = 0,05$). Тісніші зв'язки ($r = -0,68$) знайдено між індексом стану та ступенем опіку тонкої кори. Водночас від'ємні значення цього показника свідчать, що висота нагару не перевищувала висоти грубої кори і зона тонкої кори не була пошкоджена. Середня висота переходу товстої кори в тонку на стовбурах становила 3,84 м.



Рис. 5.22 – Стан крон пошкоджених сосняків 2 місяці після пожежі (ліворуч) та на наступний рік (праворуч)

Коефіцієнт кореляції у відношенні «діаметр дерева – індекс стану» складав $r = -0,5$. Оскільки t_{ϕ} знаходиться на рівні $-2,23$ та не перевищує рівень значущості для цього ступеня свободи (2,58) при $t_{st_{0,01}}$, зв'язок не є достовірним.

Найбільш інтенсивний відпад відбувається протягом 2–3 місяців після пожежі та сповільнюється через рік після пошкодження (рис. 5.24). В низовинах унаслідок дії вітрових потоків міг накопичитися більший запас лісової підстилки, що могло спричинити локальне збільшення інтенсивності пожежі. На таких ділянках у результаті конвективних потоків постраждала більша частина крони та молоді скелетні гілки. Глибина прогорання кори на стовбурі у приземній частині була максимальною, тобто поверхнева частина товстої кори майже повністю згоріла, незважаючи на незначну висоту нагару на рівні 0,00–0,50 м.

Таким чином, можна відзначити вплив мезорельєфу на швидкість та стійкість низової пожежі. Як наслідок, це мало вплив на обсяги пошкодження деревостану та можливість відновлення. Визначаючи дерева, пошкоджені низовою пожежею, для відведення в рубку, необхідно звернути увагу саме на глибину прогорання кори на рівні поверхні ґрунту як на критерій для визначення здатності дерев до відновлення.

У 2019 р. пошкоджені низовими пожежами насадження мали задовільний стан (здорові та ослаблені за індексом санітарного стану), хоча деструктивні процеси в насадженнях, спричинені пошкодженнями під час низових пожеж середньої інтенсивності, тривали. Частка дерев V категорії санітарного стану коливалася в межах 1,2–4,2 %. Частка старого сухостою була значною – до 11,7 % (табл.5.10).

Таблиця 5.10 – Післяпожежний розвиток пошкоджених пожежами сосняків

ППП	Склад	Вік, років	H наг., м	Розподіл дерев за категоріями санітарного стану, %						I _c 2019
				I	II	III	IV	V	VI	
1	8Сзв2Скр	51	1,6	36,8	38,2	15,3	3,9	2,7	3,1	2,00
1/1	8Сзв	51	1,7	47,1	25,5	8,4	3,1	4,2	11,7	2,23
1/2	2Скр	51	0,7	66,5	22	6,5	2,5	1,2	1,3	1,09
2/1	7Сзв	51	0,6	65,2	25,7	4,9	2,4	1,8	–	1,12
2/2	3Скр	51	0,6	68,1	13,5	11,2	5,2	2	–	1,16
3/1	7Сзв	51	0,6	71	14	7	4	4	–	1,07
3/2	3Скр	51	1,6	74	22	3	–	–	1	1,03
4	10Сзв	58	2,1	72	23,5	3,3	1,2	–	–	1,05
5	10Скр	51	0,9	79	17,5	3,5	–	–	–	1,03
Скр (К)	10Сзв	58	–	71	21	8	–	–	–	1,14
Сзв (К)	10Сзв	66	–	39,1	42,6	5,3	4,3	8,7	–	2,00
7 Кост	10Сзв	66	–	90	10	–	–	–	–	1,10
К 8 Н	9Сзв	53	–	41	31,2	16,7	6,3	4,8	–	2,50
	1Скр		–							

Результати досліджень, проведених у 2016 р., засвідчили заселення ентомошкідниками пошкоджених вогнем сильно ослаблених і усихаючих дерев, зафіксовано в більшості випадків (близько 90 %). Заселення фіксували переважно в дерев, коли нагару перевершувала висоту переходу товстої кори в тонку. Через рік (у 2017 р.), виявили нові дерева, заселені короїдами (заселено 21 дерево, що становило 29,6 % вибірки). Ходи виявлено між лусочками кори на ранніх стадіях заселення шкідниками чи відставання кори на пізніших етапах. Переважна більшість дерев, заселених стовбуровими шкідниками, має пластівчасту форму кори.

Для прогнозування постпірогенного розвитку сосняків було проаналізовано залежність між висотою нагару та категоріями о стану дерев (табл. 5.11).

Визначено, що критичним рівнем пошкодження дерев є висота нагару на стовбурі понад 3 м; частка відпаду за такого пошкодження коливається у межах 73,3–86,4 %. Кількість дерев, всохлих внаслідок пошкодження вогнем до 1,5 м, була меншою: за низових пожеж слабкої та середньої інтенсивності усихають 0–10,9 % дерев.

Таблиця 5.11 – Розподіл дерев за категоріями санітарного стану та висотою нагару для визначення відпаду дерев

H наг., м	Розподіл за категоріями стану, %						Відпад, %	I_c
	I	II	III	IV	V	VI		
<0,5	19,6	56,5	13,0	0,0	10,9	0,0	10,9	1,8
0,5–1,0	34,4	43,8	9,4	12,5	0,0	0,0	0,0	1,6
1,0–1,5	22,7	40,0	8,0	16,0	13,3	0,0	13,3	1,9
1,5–2,0	7,6	30,3	13,6	18,2	30,3	0,0	30,3	2,6
2,0–2,5	2,0	28,0	42,0	8,0	20,0	0,0	20,0	2,8
2,5–3,0	2,6	20,5	23,1	10,3	12,8	30,8	43,6	3,3
3,0–3,5	0,0	6,7	20,0	0,0	33,3	40,0	73,3	4,3
3,5–4,0	0,0	0,0	0,0	21,1	0,0	78,9	78,9	5,4
4,0–4,5	4,0	8,0	0,0	16,0	0,0	72,0	72,0	4,2
4,5–5,0	0,0	3,6	2,7	7,3	4,5	81,8	86,4	5,2

Для точного прогнозування подальшого стану лісових масивів, пошкоджених низовою пожежею, крім основних таксаційних показників необхідно визначити найбільш уражену частину дерев під час стійких чи рухливих низових пожеж, врахувати інформацію про запас лісової підстилки та мати перелік чітких критеріїв визначення ступеня пошкодження. До таких критеріїв мають належати висота переходу товстої кори в тонку, товщина кори, відношення відносної висоти нагару до висоти дерева, ступінь прогорання кори в окоренковій частині дерева, індекс санітарного стану насаджень до пожежі.

Висновки до розділу

1. У Північно-Східному Степу соснові насадження найчастіше ростуть у ТЛУ В₁ та В₂. Насадження з повнотою 0,7–0,8 становлять 71,8 %, середня повнота сосняків – 0,76. Площа соснових лісів, які ростуть в особливо пожежонебезпечних умовах А₀ та А₁, є помітно меншою і становить 6 та 379 га відповідно. Виявлено, що найбільшою загроза виникнення пожеж у хвойних насадженнях цього регіону дослідження є поблизу населених пунктів, уздовж залізниць, а також по берегах водоймищ (у місцях відпочинку населення).

2. У роки з найсухішими погодними умовами за середньорічним гідротермічним коефіцієнтом (ГТК від 0,6 до 1,0) у лісах ДП «Куп'янське ЛГ» відзначено не тільки велику кількість пожеж, але й найбільшу їхню площу.

3. Відносну горимість за кількістю випадків пожеж в усіх лісництвах, за винятком Великобурлуцького, класифіковано як «надзвичайну». Найбільшу горимість за площею відзначено в Куп'янському лісництві, а у всіх інших і загалом в державному підприємстві горимість була «середня» та «нижча за середню». Середня площа однієї пожежі коливалася від 0,22 до 0,76 га.

4. В умовах Степу середня температура повітря впродовж пожежонебезпечного періоду (2015–2019 рр.) достовірно не різнилася за

роками, проте кількість та розподіл опадів мали суттєві відмінності, що вплинуло на часовий розподіл пожеж, які виникали у періоди посух. Місяцями з найнижчою середньомісячною відносною вологістю повітря (58 %) стали липень та серпень –.

5. За п'ятнадцятирічний період спостережень визначено, що в умовах Південного Степу найбільшу горимість як за кількістю, так і за площею мають Каховське, Олешківське (Цюрупинське) та Голопристанське лісомисливські господарства з кількістю випадків 942, 784 та 621 відповідно.

6. Насамперед горять соснові насадження II, III та рідше I класів бонітету. Ймовірність пожеж становить 0,35, 0,34, та 0,20 відповідно.

7. Через 10 років після пожежі стан пошкоджених насаджень стабілізувався. Зафіксовано зниження частки дехромації крони у 2019 р., як порівняти з 2018 р. Розподіл за категоріями санітарного стану у 2019 р. проти 2018 р. не змінився.

8. Деревя III класу Крафта, які є найбільш поширеними в середньовікових соснових насадженнях, усихають за висоти нагару 4 м. Відпад дерев цієї групи становив 98,7 %.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз тенденцій виникнення лісових пожеж в різних лісогосподарських областях України свідчить, що найбільше пошкоджуються сосняки у Північностеповій, Південностеповій та Лісовій лісогосподарських областях. Тут відмічалися максимальні значення горимості.
2. Метеорологічні умови впливають на особливості режимів пожеж як на рівні – лісогосподарських областях, так і у лісах окремих підприємств.
3. У лісостеповій частині Харківщини за однакового значення КППН за умовами погоди найбільші загроза виникнення та пожежна небезпека існують навесні, менша – влітку, найменша – восени.
4. В Степу, Лісостепу та Поліссі переважна більшість пожеж виникає в найбільш пожежонебезпечних сосняках. Найбільша частка пожеж припадає на вихідний день - неділю та післявихідний день – понеділок. Інтенсивне відвідування лісів населенням, збільшує ризики виникнення лісових пожеж.
5. Доцільним є розробка та використання регіональних шкал пожежної небезпеки за умовами погоди, для різних природних зон. Такі шкали враховують відмінності у режимах пожеж, які виникають під через різницю у кліматичних умовах .
6. Однією із основних складових запасів ЛГМ є підстилка, яка відіграє ключову роль у виникненні та розвитку пожеж. Запас підстилки зменшується у міру збільшення відстані від стовбура. Зі збільшенням віку сосняків частка опадового шару підстилки зменшується, а гуміфікованого – зростає.
7. Найбільші запаси лісової підстилки акумулюються у сосняках Полісся (від 117 до 862 ц/га). Тому у сухі та аномально сухі роки навіть у вологих і мокрих гігротопах створюється надзвичайно висока пожежна небезпека.
8. Для соснових лісів Полісся є такі особливості формування підстилки:
 - зі зростанням віку насаджень збільшуються запас і щільність підстилки;
 - найбільші запаси підстилки визначено у вологих суборах;
 - найменш мортмаса у верхньому шарі підстилки, найбільша – у нижньому.
9. В умовах Полісся тривалість і температура горіння збільшуються зі зростанням запасів лісової підстилки. Углиб профілю швидкість і температура горіння лісової підстилки зменшуються внаслідок збільшення безструктурної мортмаси. У міру висихання підстилки швидкість і температура її горіння зростають. Збільшенню температури й швидкості горіння підстилки також сприяє посилення швидкості потоків повітря.
10. Визначено особливості розповсюдження тепла під час пожеж у ґрунтах. Нагрівання ґрунтів під час пожеж має поверхневий характер. Піщані ґрунти прогріваються сильніше й глибше, ніж суглинисті, а сухі – сильніше, ніж вологі.
11. Постпірогенний розвиток сосняків в умовах Полісся, визначався переважно інтенсивністю пошкодження, таксаційними показниками пройдених пожежею насаджень та типом лісорослинних умов. Так, інтенсивність і

тривалість післяпожежного відпаду у сосняках, що ростуть у різних гігROTOпах мали суттєві значні відмінності. Пірогенні наслідки для насаджень, що ростуть у вологих та сирих гігROTOпах були катастрофічними, навідміну від сосняків, що ростуть у сухих та свіжих умовах

12. В умовах Полісся у «нормальні» за кількістю опадів, під час низових пожеж домінує пошкодження стовбура. Катастрофічними є наслідки пожеж в аномально сухі роки, коли відбувається пошкодження крони конвективними потоками гарячого повітря. У вологих і сирих гігROTOпах до загибелі сосняків призводить пошкодження коренових систем. Летальним для розвитку сосняків є пошкодження:

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

13. В умовах Лісостепу наслідки пошкодження середньовікових деревостанів вогнем залежать від висоти нагару, висоти розміщення грубої кори.. Найбільш уразливими до дії вогню є дерева IV та V класів Крафта. Частка сухостою серед таких дерев збільшується від 20 % (із середньою висотою нагару на стовбурі 0,5 м) до 66–100 % (із висотою нагару понад 2 м). Літні та весняні низові пожежі слабкої та середньої інтенсивності спричиняють погіршення стану дерев. Після сильних низових пожеж із висотою нагару понад 1,5 м зростає інтенсивність всихання дерев: у випадку пошкодження лише грубої кори частка сухостою за кількістю дерев становить до 15 %, а при пошкодженнях тонкої кори > 75 %.

14. Повторні пожежі, навіть незначної інтенсивності, що відбуваються з циклічністю у 1-3 роки, призводять до ослаблення та загибелі насадження.

15. Тенденції післяпожежного розвитку сосняків Північно-Східного Степу та Лісостепу подібні. Санітарний стан дерев погіршувався від 3,0 (за висоти нагару менше 0,5 м) до 3,7–4,0 – за висоти нагару понад 3,5 м. Частка сухостійних дерев у сосняках з висотою нагару понад 3,5 м збільшується від 13,7 % до 35% (за висоти нагару на стовбурі понад 6,5 м). Найвища ймовірність усихання у дерев 4–5 класів Крафта.

16. Втрати депонованого вуглецю внаслідок пожеж при порівнянні з контролем склали на ППП з висотою нагару на стовбурах 1,21 м 30%, а на ППП з висотою нагару на стовбурах 0,94 м – 22% (за нормативами П. І. Лакиди).

17. Вміст акумульованого вуглецю у стовбурах дерев коливається впродовж онтогенезу дерев, з чіткою тенденцією до збільшення з віком.

18. Накопичення вуглецю в стовбуровій деревині суттєво не відрізняється впродовж допожежного періоду (2006–2010 рр.) між контролем та пошкодженою ППП, але впродовж післяпожежного періоду (2011–2017 рр.) виявлено збільшення продукування вуглецю в стовбуровій деревині сосни пошкодженого насадження внаслідок інтенсивного відпаду дерев, за рахунок яких покращилися умови освітлення та живлення для дерев, які залишилися живими. За післяпожежний період (2011–2017 рр.) різниця між масою вуглецю в стовбуровій деревині на контролі та кількістю вуглецю в стовбурі на пошкодженому насадженні складає 20%.

ДОДАТКИ

Додаток А

Погодні умови у розрізі природних зон України

Таблиця А.1

Оцінка аномальності погодних умов Полісся

Роки	Температура, °С		Х-ка температурного режиму		Опади, мм		Х-ка режиму зволоження	
	Річна	В період	Річного	В. період	Річні	В. період	Річна	В період
1945	6,5	12,7	Н	Х	462	381	Н	Н
1946	7,3	14,5	Н	Н	399	291	С	С
1947	6,7	13,9	Н	Н	486	321	Н	Н
1948	7,4	14	Н	Н	503	369	Н	Н
1949	7,7	13,3	Н	Н	578	450	Н	Н
1950	7,4	14	Н	Н	545	388	Н	Н
1951	7,9	13,8	Н	Н	448	323	С	С
1952	6,7	13,4	Н	Н	552	402	Н	Н
1953	7,1	14	Н	Н	394	282	С	С
1954	6,2	13,7	Х	Н	688	577	М	М
1955	6,9	13,1	Н	Н	697	518	М	М
1956	5,3	12,9	АТ	Н	561	435	Н	Н
1957	7,7	13,6	Н	Н	451	335	С	С
1958	7,3	13,1	Н	Н	706	507	М	Н
1959	7,3	13,2	Н	Н	487	267	Н	С
1960	7,4	13,2	Н	Н	656	407	Н	Н
1961	7,7	13,9	Н	Н	322	205	АС	А С
1962	6,7	12,9	Н	Н	710	484	М	Н
1963	6,2	14,5	Х	Н	538	386	Н	Н
1964	6,4	13,6	Н	Н	523	333	Н	Н
1965	5,6	12,1	Х	Х	548	373	Н	Н
1966	7,9	14,3	Н	Н	545	288	Н	С
1967	8	14,9	Н	Т	598	407	Н	Н
1968	7,1	13,7	Н	Н	632	485	Н	Н
1969	5,7	13	Х	Н	640	519	Н	М
1970	6,8	13,1	Н	Н	752	509	М	Н
1971	6,9	13,3	Н	Н	568	434	Н	Н
1972	7,8	16,2	Н	АТ	485	407	Н	Н
1973	6,4	13	Н	Н	572	407	Н	Н
1974	5,5	12,7	Х	Х	790	641	М	АМ
1975	7	14,4	Н	Н	500	427	Н	Н
1976	6	12,4	Х	Х	564	376	Н	Н
1977	7,4	12,7	Н	Х	563	386	Н	Н
1978	7,4	12,4	Н	Х	802	664	АМ	АМ
1979	6,8	13,4	Н	Н	444	240	С	С

Продовження табл. А.1

Роки	Температура, °С		Х-ка температурного режиму		Опади, мм		Х-ка режиму зволоження	
	Річна	В період	Річного	В. період	Річні	В. період	Річна	В період
1980	5,6	12,2	Х	Х	644	502	Н	Н
1981	7,2	13,5	Н	Н	617	411	Н	Н
1982	7,7	13,5	Н	Н	430	332	С	С
1983	8,3	14,5	Н	Н	458	303	С	С
1984	7	13,3	Н	Н	473	365	Н	Н
1985	5,7	13,4	Х	Н	557	389	Н	Н
1986	7,1	13,9	Н	Н	487	394	Н	Н
1987	6,6	12,6	Н	Х	445	317	С	С
1988	7	13,5	Н	Н	611	467	Н	Н
1989	8,8	14,1	Т	Н	640	516	Н	Н
1990	8,6	13,1	Т	Н	469	354	Н	Н
1991	7,4	13,4	Н	Н	540	450	Н	Н
1992	7,9	13,7	Н	Н	567	430	Н	Н
1993	6,9	13	Н	Н	590	465	Н	Н
1994	8	13,6	Н	Н	523	343	Н	Н
1995	7,9	14,2	Н	Н	506	349	Н	Н
1996	6,4	13,9	Н	Н	524	366	Н	Н
1997	7,2	12,9	Н	Н	664	486	Н	Н
1998	7,8	14	Н	Н	767	611	М	АМ
1999	8,7	14,8	Т	Т	721	495	М	Н
2000	9	14,4	Т	Н	627	422	Н	Н
2001	8,1	14,7	Н	Н	714	507	М	Н
2002	8,7	14,8	Т	Т	503	371	Н	Н
2003	7,7	14	Н	Н	592	470	Н	Н
2004	7,7	13,3	Н	Н	570	390	Н	Н
2008	9,4	15,1	АТ	Т	761	609	М	АМ
2009	8,7	15,2	Т	Т	519	316	Н	Н
2010	8,1	15,3	Н	Т	812	593	АМ	М
2011	8,6	15,4	Т	Т	402	265	С	С
2012	8,2	16,1	Н	АТ	703	510	М	Н
2013	8,7	15,4	Т	Т	599	389	Н	Н
2014	9,2	15,4	Т	Т	640	470	Н	Н
2015	9,8	15,1	АТ	Т	683	395	Н	Н
2016	9,2	15,4	Т	Т	748	417	М	Н
2017	9,0	14,8	Т	Н	930	562	АМ	М

Таблиця А.2

Оцінка аномальності погодних умов Лівобережного Лісостепу

Роки	Температура, °С		Х-ка температурного режиму		Опади, мм		Х-ка режиму зволоження	
	Річна	В період	Річного	В. період	Річні	В. період	Річна	В період
1967	7,8	16,3	Н	Т	535	313	Н	Н
1968	7,7	15,4	Н	Н	525	281	Н	Н
1969	7,6	15	Н	Н	451	255	Н	С
1970	7,9	15,3	Н	Н	607	337	Н	Н
1971	8,1	15	Н	Н	421	269	Н	Н
1972	8	16,9	Н	АТ	499	386	Н	Н
1973	7,5	14,3	Н	Н	593	403	Н	Н
1974	8,1	14,6	Н	Н	419	323	Н	Н
1975	9,3	17,1	АТ	АТ	388	231	С	С
1976	5,8	13	Х	Х	638	407	М	Н
1977	7	13,9	Н	Н	640	447	М	М
1978	6,3	13,2	Н	Х	644	423	М	Н
1979	8	15,2	Н	Н	615	403	Н	Н
1980	6,5	13,8	Н	Н	607	320	Н	Н
1981	9	15,7	Т	Н	688	339	М	Н
1982	7,6	14,2	Н	Н	469	346	Н	Н
1983	8,8	15,7	Т	Н	381	217	С	С
1984	7,6	15,5	Н	Н	453	246	Н	С
1985	6,5	15,3	Н	Н	528	308	Н	Н
1986	7,9	15,8	Н	Н	526	345	Н	Н
1987	5,7	13,5	Х	Х	539	312	Н	Н
1988	7,4	15,1	Н	Н	693	483	М	М
1989	9,4	15,4	АТ	Н	687	510	М	АМ
1990	9,2	14,5	Т	Н	494	300	Н	Н
1991	8,2	15,8	Н	Н	647	536	М	АМ
1992	8	14,4	Н	Н	520	356	Н	Н
1993	6,8	13,9	Н	Н	498	316	Н	Н
1994	7,9	15,7	Н	Н	428	268	Н	Н
1995	8,8	15,8	Т	Н	721	357	М	Н
1996	7,3	15,5	Н	Н	520	373	Н	Н
1997	7,3	14,3	Н	Н	691	450	М	М
1998	8,4	16,3	Т	Т	514	299	Н	Н
1999	9,6	16,6	АТ	Т	533	286	Н	Н
2000	8,7	15,5	Т	Н	557	337	Н	Н
2001	8,7	15,9	Т	Т	660	373	М	Н
2002	9,2	16,1	Т	Т	503	382	Н	Н

Продовження табл. А.2

Роки	Температура, °C		Х-ка температурного режиму		Опади, мм		Х-ка режиму зволоження	
	Річна	В період	Річного	В. період	Річні	В. період	Річна	В період
2003	7,5	14,9	Н	Н	705	490	М	М
2004	8,7	14,8	Т	Н	725	479	АМ	М
2005	8,8	16	Т	Т	685	398	М	Н
2006	8,1	16,1	Н	Т	553	340	Н	Н
2007	9,8	16,8	АТ	Т	583	404	Н	Н
2008	9,4	16,1	АТ	Т	389	272	С	Н
2009	9,2	16,3	Т	Т	566	245	Н	С
2010	9,9	17,9	АТ	АТ	664	413	М	Н
2011	8,6	16,6	-	-	489	380	Н	Н
2012	9,4	18,5	-	-	498	327	Н	Н
2013	9,6	16,7	-	-	509	394	Н	Н
2014	9,0	16,1	-	-	495	371	Н	Н
2015	9,8	16,3	АТ	Т	519,1	281,4	С	С
2016	9,4	16,2	АТ	Т	736,7	458,0	АМ	М
2017	9,5	16,1	АТ	Т	419,6	210,1	С	С
2018	9,3	17,8	АТ	АТ	456,5	190,5	С	С
2019	10,2	17,1	АТ	АТ	422,9	296,4	С	С
2020	10,4	17,0	АТ	АТ	530,3	359,4	С	С

Оцінка аномальності погодних умов Степу

Роки	Температура, °С		Х-ка температурного режиму		Опади, мм		Х-ка режиму зволоження	
	Річна	В. період	Річного	В. період	Річні	В.період	Річна	В період
1951	8,1	16,1	Н	Н	306	216	С	Н
1952	8,5	15,9	Н	Н	418	264	Н	Н
1953	7,5	16,2	Н	Н	281	173	С	С
1954	7,8	17,4	Н	Т	361	282	Н	Н
1955	8,8	16,0	Н	Н	440	272	Н	Н
1956	6,0	14,9	АХ	Н	380	224	Н	Н
1957	9,1	16,9	Н	Т	281	164	С	С
1958	8,0	14,6	Н	Х	517	390	Н	Н
1959	7,6	15,5	Н	Н	388	226	Н	Н
1960	9,1	16,0	Н	Н	476	327	Н	Н
1961	8,7	15,6	Н	Н	493	304	Н	Н
1962	9,2	16,5	Т	Н	354	188	Н	С
1963	7,6	16,6	Н	Н	461	278	Н	Н
1964	7,3	15,3	Н	Н	421	320	Н	Н
1965	7,6	14,5	Н	Х	319	130	С	С
1966	10,0	16,8	Т	Н	710,1	291	М	Н
1967	8,2	16,6	Н	Н	521,8	252,6	Н	Н
1968	8,4	16,2	Н	Н	554	334,8	Н	Н
1969	6,8	14,9	Х	Н	496,7	328,6	Н	Н
1970	8,9	16,3	Н	Н	461,8	267,4	Н	Н
1971	9,0	16,0	Н	Н	449	302,4	Н	Н
1972	8,8	18,0	Н	АТ	452,1	335,2	Н	Н
1973	7,5	15,1	Н	Н	634,1	468	М	М
1974	8,5	15,7	Н	Н	548,9	379,6	Н	Н
1975	9,8	17,9	Т	АТ	332,7	193	С	С
1976	6,5	14,2	Х	Х	498,4	325,9	Н	Н
1977	7,2	13,8	Н	АХ	674,6	469	М	М
1978	8,0	14,7	Н	Х	399,7	249,4	Н	Н
1979	9,2	16,6	Т	Н	329,6	149,6	С	С
1980	7,9	15,5	Н	Н	623,3	434,4	М	М
1981	9,5	16,6	Т	Н	483,5	211,2	Н	Н
1982	7,9	15,0	Н	Н	494,2	341,6	Н	Н
1983	9,4	16,4	Т	Н	429	297,7	Н	Н
1984	8,6	16,4	Н	Н	369,1	258,1	Н	Н
1985	7,4	16,0	Н	Н	472,5	272,2	Н	Н
1986	8,6	16,8	Н	Н	375,7	188,4	Н	С
1987	6,0	14,1	АХ	Х	505,9	318,4	Н	Н
1988	8,0	15,9	Н	Н	530,5	342,1	Н	Н
1989	9,9	16,1	Т	Н	547,6	411,3	Н	Н

Продовження табл. А.3

Роки	Температура, °С		Х-ка температурного режиму		Опади, мм		Х-ка режиму зволоження	
	Річна	В. період	Річного	В. період	Річні	В.період	Річна	В період
1990	9,7	15,4	Т	Н	327,7	172,6	С	С
1991	9,0	17,0	Н	Т	436,9	292,9	Н	Н
1992	8,3	14,8	Н	Х	798,5	624,6	АМ	АМ
1993	7,3	14,4	Н	Х	542,7	389,1	Н	Н
1994	7,9	15,7	Н	Н	306,7	156,2	С	С
1995	9,9	16,7	Т	Н	611,4	386,3	М	Н
1996	8,3	16,4	Н	Н	599	463,8	Н	М
1997	8,2	15,9	Н	Н	789	614,5	АМ	АМ
1998	9,6	17,9	Т	АТ	410,5	221,3	Н	Н
1999	9,9	17,1	Т	Т	466,3	250,8	Н	Н
2000	-	-	-	-	432	291	Н	Н
2001	-	-	-	-	678	490	М	М
2002	-	-	-	-	564	380	Н	Н
2003	-	-	-	-	459	288	Н	Н
2004	-	-	-	-	698	417	М	Н

ДОДАТОК Б

Державне агентство лісових ресурсів України
Національна академія наук України

УКРАЇНСЬКИЙ ОРДЕНА «ЗНАК ПОШАНИ» НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ
ІНСТИТУТ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА ТА АГРОЛІСОМЕЛІОРАЦІЇ
ім. Г. М. ВИСОЦЬКОГО (УкрНДІЛГА)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор УкрНДІЛГА
чл.-кор. НААН, д.с.-г.н., проф.

_____ Ткач В. П.
«_____» _____ 2020 р.

**РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ
ПОЖЕЖОСТІЙКОСТІ ЛІСІВ ТА МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ
ЇХНЬОГО
ПІСЛЯПОЖЕЖНОГО РОЗВИТКУ**

УкрНДІЛГА

Схвалено Вченою радою

Протокол № 4 від «28» січня 2020 р.

Затверджено Науково-технічною
радою Держлісагентства
Протокол № 12 від «17» червня 2020 р

Керівник розробки

канд.с.-г. наук, с. н. с.

В. П. Ворон

Харків – 2019

УДК: 630.43:630.561.24

Рекомендації щодо заходів з підвищення пожежостійкості лісів та методика прогнозування їхнього післяпожежного розвитку / Ворон В. П., Коваль І. М., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Бологов О. Ю., Ткач О. М., Тимошук І. В. – Харків: УкрНДІЛГА, 2019. – 26 с.

У рекомендаціях наведено основні методичні положення стосовно підвищення пожежної стійкості лісів. Розроблено методику прогнозування постпірогенного розвитку сосняків на рівні насадження та окремих дерев. Шляхи підвищення пожежостійкості лісів полягають у забезпеченні вчасного проведення комплексу лісівничих та протипожежних профілактичних заходів, з урахуванням часових та просторових тенденцій виникнення та поширення пожеж. Розроблені шкали постпірогенного відпаду насаджень та ймовірності всихання окремих дерев базуються на застосуванні основних індикаторів пошкодження дерев під час пожежі (сезон пожежі, тип та величина пошкодження) та виявлених показників вогнестійкості дерев (висота грубої кори, товщина кори, висота, діаметр та вік дерева, наявність кореневих лап). Запропоновано заходи, які спрямовані на зниження негативних наслідків для насаджень пошкоджених, низовими пожежами.

Рекомендації розроблено відповідно до Тематичного плану науково-дослідних робіт Держлісагентства на 2015–2019 рр. з метою збереження найбільш уразливих до пожеж соснових лісів та забезпечення ефективного управління й мінімізації збитків, заподіяних пожежами, за рахунок вчасної діагностики та проведення лісогосподарських заходів.

Рекомендації розраховані на спеціалістів лісового господарства, співробітників наукових і проектних організацій, екологів, студентів, аспірантів відповідних фахових напрямків підготовки.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	5
1 ЛІСОВІ ПОЖЕЖІ ТА ЇХНІ НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ	6
2 ЗАХОДИ ЩОДО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИНИКНЕННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ	8
2.1 Проведення протипожежних профілактичних заходів	8
2.2 Протипожежне упорядкування території відповідно до часових та просторових тенденцій виникнення пожеж	9
3 ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ПОЖЕЖОСТІЙКИХ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ	11
4 КРИТЕРІЇ ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ СОСНЯКІВ, ПОШКОДЖЕНИХ НИЗОВИМИ ПОЖЕЖАМИ	12
4.1 Пошкодження дерев унаслідок конвективного теплообміну	13
4.2 Опік стовбура, спричинений тепловипромінюванням	14
4.3 Пошкодження корневих систем унаслідок теплопровідності ґрунту	17
ЗАКОНОДАВЧІ ДОКУМЕНТИ, НА ЯКИХ БАЗУЮТЬСЯ РЕКОМЕНДАЦІЇ	19
ВІДОМЧІ ДОКУМЕНТИ	21
ЛІТЕРАТУРА	22
ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	25

ВСТУП

У зв'язку з глобальним потеплінням та збільшенням посушливості клімату ризик зростання частоти й масштабів лісових пожеж залишається високим. Пожежі є одним із найбільш небезпечних для лісів екологічних факторів, що завдають катастрофічних економічних, екологічних та соціальних збитків. За період з 1992 по 2017 рр. у лісах України сталося 86 958 пожеж, а площа пірогенно пошкоджених лісів становила 115 457 га.

Погодні умови – основний чинник, який визначає пожежну небезпеку й регламент роботи протипожежних служб лісових господарств. Проте вони залежно від наявності додаткових факторів можуть по-різному впливати на виникнення, швидкість та особливості розвитку пожежі, а значить, і на стратегію й тактику її гасіння. При цьому слід враховувати регіональні особливості виникнення й розвитку пожеж, а також звертати увагу на особливості лісових ділянок і вплив антропогенних чинників (близькість населених пунктів, автошляхів, залізниць тощо).

Насадження сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) становлять третину насаджень лісового фонду України. Більше ніж 90 % від загальної кількості пожеж зазвичай припадає на соснові ліси, тому проблема зменшення економічних втрат, а також пом'якшення екологічних та соціальних збитків від лісових пожеж є актуальною.

Для зменшення негативних наслідків, спричинених лісовими пожежами, важливою є своєчасна діагностика та точне прогнозування розвитку, пошкоджених вогнем деревостанів. Після пожежі можливе стрімке погіршення санітарного стану пошкоджених сосняків, яке призводить до значних економічних збитків, пов'язаних із погіршенням технічних якостей деревини (появою сухості, синяви, заселенням стовбурів ентомошкідниками) та зниженням виходу ділової деревини. Отже, особливо важливим є вчасне проведення рубок, яке має базуватися на прогнозованій ймовірності та величині усихання пошкоджених пожежами сосняків. Інтенсивність, тривалість і величина післяпожежного відпаду визначаються певними регіональними особливостями.

Використання запропонованих рекомендацій дозволить оцінювати післяпожежний відпад в сосняках та сприятиме своєчасному прийняттю управлінських рішень щодо збереження деревостанів та зменшення збитків, спричинених лісовими пожежами.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ЛГМ	Лісові горючі матеріали
КЛПБ	Комплексні лісові протипожежні бар'єри
ДП	Державне підприємство
I _c	Індекс санітарного стану

1 ЛІСОВІ ПОЖЕЖІ ТА ЇХНІ НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ

В останні десятиріччя в Україні внаслідок недостатньої кількості засобів протипожежної охорони лісів і зменшення обсягів протипожежної профілактичної роботи, підвищення інтенсивності відвідування лісу населенням, збільшення запасів лісових горючих матеріалів (ЛГМ) у насадженнях, погіршення загального протипожежного стану лісів неможливо повною мірою забезпечити зниження кількості лісових пожеж і мінімізацію збитків від них [1].

Незважаючи на послідовну профілактичну роботу, спрямовану на захист лісів, щороку внаслідок пожеж пошкоджуються тисячі гектарів лісових угідь.

Пожежна безпека в лісі повинна гарантуватися шляхом проведення планових профілактичних заходів, оперативного виявлення й ліквідації лісових пожеж на території лісового фонду лісгосподарських підприємств, організацій.

Лісова пожежа – це явище некерованого багатостадійного горіння у лісовій екосистемі, що супроводжується процесами конвекційного та радіаційного перенесення енергії, нагрівання, висушування та піролізу ЛГМ.

Пожежна ситуація в лісах формується під впливом антропогенних чинників і погодних умов. Необережне поводження з вогнем під час відвідування лісів є причиною 92–99 % випадків пожеж [3]. Внаслідок неконтрольованого випалювання сухої трави на сінокосах, пасовищах, стерні на полях виникає до 4 % випадків лісових пожеж, коли пожежа з сільськогосподарських земель поширюється у ліси. Причиною пожежі можуть бути залізничний та автомобільний транспорт, обриви ліній електропередач та підпали.

Виникненню пожеж сприяють тривала спека, відсутність опадів, сильний поривчастий вітер та літні грози із блискавками. Особливо небезпечною є посуха, коли опади за період понад 20 днів становлять менше ніж 30 % від середньомісячної норми, а також так звані розряди атмосферної електрики – «сухі грози» між хмарами та землею без випадання дощу.

У лісах України реєструють три види пожеж: низові, верхові, підземні (торф'яні). Верхові та низові пожежі поділяються на рухливі та стійкі різної інтенсивності. За швидкістю руху фронтального краю виділяють: слабкі, середньої сили, сильні пожежі. Низові пожежі вважаються слабкими, якщо мають висоту полум'я до 0,5 м, середніми – 0,5–1,5 м і сильними – понад 1,5 м [2].

Відповідно до «Класифікаційних ознак надзвичайних ситуацій» (наказ МНС України від № 658 від 06.08.2018 за N 969/32421), як надзвичайна ситуація ідентифікується верхова лісова пожежа з площею понад 25 га, низова – понад 50 га, для об'єктів природних заповідних територій – відповідно 5 та 10 га.

Для прогнозування виникнення та поширення лісових пожеж початковими вхідними даними є:

- клас природної пожежної небезпеки ділянок лісового фонду;
- клас пожежної небезпеки в лісі за умовами погоди;
- розташування та площа ділянок лісового фонду, на яких ЛГМ можуть горіти у разі появи джерела вогню;
- дані щодо рельєфу місцевості;
- наявність потенційних джерел вогню на ділянках лісового фонду, зокрема грозової уразливості;
- лісівничі характеристики насаджень: тип лісорослинних умов, повнота і густота та склад насаджень, санітарний стан лісів та інші;
- соціально-економічні показники (густина населення, щільність мережі доріг та залізничних шляхів тощо).

Швидкість поширення вогню залежить від вологості горючого матеріалу, рельєфу місцевості, швидкості та напрямку вітру. Вона посилюється зі збільшенням швидкості вітру, частки сухої органічної речовини в лісі та крутизни схилів на місцевості [8–12].

Наслідки лісових пожеж залежать від виду й форми пожежі, стану ЛГМ, величини теплового потоку, швидкості та напрямку вітру [5]. Лісові пожежі можуть поширюватися за рахунок теплового випромінювання полум'я, поширення фронту горіння та перекидання розжареного вугілля та іскор.

Важливими аспектами розвитку пожежі є:

- момент переходу низової пожежі у верхову;
- активність руху пожежі в кроні;
- відрив від головного фронту пожежі розжареного вугілля та іскор.

Перехід низової пожежі у верхову залежить від вологості листя, сили низової пожежі, висоти прикріплення гілок та щільності крони.

У разі низової пожежі на конвективний потік припадає 80–82 % тепла, на теплове випромінювання – 14–17 %, теплопровідність – 3–4 % [29, 30]. Під час верхових пожеж теплове випромінювання сягає 90 % від сумарного теплового потоку пожежі [7, 25].

Вітер і конвекційні потоки переносять розжарене вугілля та іскри на значні віддалі і, запалюючи ЛГМ, утворюють пожежні плями, які потім зливаються з головним фронтом пожежі, створюючи екстремальні умови пожежі [5]. Конвекційні колонки безвихрових потоків заввишки 300–400 м виникають навіть у разі слабкого вітру, а плями загорянь утворюються на віддалі до 300 м. У разі посух, сильних вітрів та великих запасів горючих матеріалів швидкість конвекційних потоків може сягати 35 м/с. Якщо конвекційна колонка нахилена вітром у бік просування вогню, палаючі частинки можуть переноситися на відстань до 1,2 км, а пожежа може перекидатися навіть через великі водні перешкоди. Дальність розльоту частинок залежно від швидкості вітру, виду, інтенсивності пожежі наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Дальність перенесення розжареного вугілля та іскор під час пожеж [8]

Швидкість вітру, м/с	Низова сильна, верхова слабка пожежа, м	Верхова середня пожежа, м	Верхова сильна пожежа, м
3–5	25–35	50–60	80–90
8–10	50–70	100–110	170–180
15–20	100–130	200–210	330–350

2 ЗАХОДИ ЩОДО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИНИКНЕННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

2.1 Проведення протипожежних профілактичних заходів

За часом та оперативністю проведення профілактичні заходи поділяють на:

- планові, які виконують згідно з розробленим проектом незалежно від рівня поточної пожежної небезпеки в лісі (протипожежна пропаганда, благоустрій території, влаштування смуг, протипожежних доріг і водойм тощо);
- регламентовані поточним класом пожежної небезпеки в лісі (чергування пожежних команд, регулювання відвідуваності лісів населенням тощо).

2.1.1. Планові заходи з протипожежного влаштування лісів проводять на основі планів лісовпорядкування або спеціальних планів протипожежного влаштування лісової території. Види протипожежних заходів та обсяги виконуваних робіт у кожному ДП повинні ґрунтуватися на даних щодо рівня горимості лісів, причин виникнення лісових пожеж, соціально-демографічного складу винуватців їхнього виникнення, а також динаміки погодних умов.

Заходи з протипожежної профілактики у лісах поділяються на групи:

- запобігання виникненню лісових пожеж;
- обмеження поширення лісових пожеж;
- організаційно-технічні та інші заходи, що забезпечують пожежну стійкість лісового фонду.

2.1.2. Попередження виникнення лісових пожеж здійснюють за допомогою лісової пропаганди та агітації, регулювання відвідуваності лісів населенням, контролю за дотриманням правил пожежної безпеки, організаційно-технічних та лісівничих заходів, що знижують ймовірність виникнення пожеж. Особлива увага повинна бути приділена роз'ясненню правил, постанов, що стосуються пожежної безпеки в лісах. При цьому необхідно не тільки знайомити населення зі змістом зазначених документів, але й роз'яснювати, яким чином їх слід виконувати.

2.1.2.1. Лісопожежна поінформованість повинна бути:

- цілеспрямованою;

- оперативною;
- базуватися на конкретних фактах;
- проводитися безперервно впродовж року;
- посилюватися синхронно з підвищенням пожежної небезпеки за умовами погоди.

2.1.2.2. Застосовувати наступні тактики лісопожежної пропаганди:

- націлювання – засоби впливу на конкретні соціальні групи;
- нарощування поінформованості щодо пожежної небезпеки не лише лісів, але й найбільш горимих типів ландшафтів у регіональному контексті;
- посилення інформаційного впливу, який має регулюватися часовими рамками і базуватися на даних щодо пожежних режимів, фенології рослинності та історії пожеж для кожного конкретного регіону (на мікро рівні – найбільш горимого типу ландшафту);
- врахування особливостей проходження фенологічних фаз рослинністю найбільш горимих типів ландшафтів;
- проведення бесід із людьми, які працюють і відпочивають у лісі;
- створення та показ кіно- та відеофільмів, плакатів та інфографіки про шкоду, яку завдають лісові пожежі, про причини виникнення та заходи боротьби з вогнем;
- публікації у періодичній пресі виступів, бесід, статей науковців та фахівців лісового господарства на протипожежну тематику;
- залучення до інформаційної протипожежної кампанії громадських організацій та волонтерів;
- поширення інформації через соціальні мережі, блоги, відеоблоги, відеохостинги;
- розміщення в лісі біля доріг, на ділянках, де ведуться роботи, у місцях відпочинку плакатів і оголошень про пожежну небезпеку, про необхідність дбайливого ставлення до лісу, обережного поводження з вогнем у лісах;
- виготовлення, розміщення біля доріг і поширення в населених пунктах лісопожежних емблем, які концентрують увагу на попередженні лісових пожеж;
- систематична передача по місцевих теле- та радіотелемережах, у транспорті інформації про небезпеку пожеж у лісах;
- організація виставок і влаштування стендів про значення лісів, шкоду, якої завдають пожежі лісам, про способи й засоби попередження лісових пожеж.

2.2 Протипожежне упорядкування території відповідно до часових та просторових тенденцій виникнення пожеж

У типових проектах протипожежного впорядкування слід урахувати такі положення:

2.2.1. Основною умовою прийняття своєчасних рішень щодо контролю пожежної ситуації в лісах є наявність повної інформації щодо пожежної небезпеки ділянок лісового фонду, пожежної небезпеки за умовами погоди та історичних даних щодо випадків пожеж.

2.2.2. Під час проектування протипожежних бар'єрів, слід додатково враховувати геопросторове розміщення та щільність випадків пожеж (центрів горимості) як лісових пожеж, так і ландшафтних пожеж, які здатні поширюватися на землі лісового фонду.

2.2.3. Згідно з Наказом Державного агентства лісових ресурсів України від 07.06.2019 № 356 «Про удосконалення обліку пожеж, осередків шкідників і хвороб лісу та механізму формування звітності» підтримувати загальну безперервну базу даних лісових пожеж на базі геопорталу «Ліси України». Кожен запис у базі про випадок пожежі має включати повну інформацію щодо часу та дати виявлення й ліквідації пожежі (державне підприємство, лісництво, квартал, виділ), географічні координати центроїда пошкодженого виділу/виділів, масштаби нанесених збитків, причини пожежі, вид пожежі, інтенсивність пожежі, повну таксаційну характеристику пошкодженого насадження чи насаджень, джерела інформації щодо пожежі та засобу її виявлення; термін з моменту виявлення до прийняття заходів та гасіння пожежі; час, витрачений на остаточне гасіння пожежі.

2.2.4. Для визначення горимості лісів необхідно використовувати модифіковану шкалу Союздіпролісгоспу [2]. Відповідно до неї розраховують середню фактичну горимість за кількістю випадків пожеж та площею пошкоджених ними ділянок лісу (табл. 2).

Таблиця 2 – Середня фактична горимість за кількістю випадків та площею пожеж [2]

Середня абсолютна горимість		Відносна горимість
за числом випадків загорання на 1 млн га за рік	за пройденою вогнем площею в га на 1 тис.	
менше ніж 5 випадків	менше ніж 0,1	низька
від 5 до 20 випадків	0,10–0,50	нижче за середню
від 21 до 50 випадків	0,51–1,00	середня
від 51 до 100 випадків	1,01–1,50	вище за середню
від 101 до 200 випадків	1,51–3,00	висока
понад 200 випадків	понад 3,00	надзвичайна

2.2.4.1. Під час визначення фактичної та відносної горимості лісів лісогосподарських підприємств необхідно проводити розрахунок горимості як для загальної площі лісів, так і окремо для хвойних насаджень.

2.2.5. Під час планування протипожежних профілактичних заходів опиратися на дані щодо часових тенденцій виникнення пожеж, їхнього розподілу за окремими місяцями, днями тижня, годинами доби, а також визначення:

- пожежонебезпечного періоду – тривалості періоду, у межах якого виникають лісові пожежі (з моменту сходження снігового покриву до настання стійкої вологої осінньої погоди або утворення снігового покриву);
- пожежного максимуму – місяців, впродовж яких число пожеж перевищує їхню середньомісячну кількість;
- пожежного піку – відрізка часу, на який припадає найбільша кількість пожеж.

2.2.6. Під час протипожежного впорядкування враховувати, що додатковими чинниками, що підвищують пожежну небезпеку ділянок лісового фонду є:

- мезорельєф (на рівнині, пагорбі);
- експозиція та крутизна схилу;
- близькість до населених пунктів, рекреаційних об'єктів, автодоріг та залізниць;
- безпосереднє примикання до пожежонебезпечних ділянок (сільськогосподарських угідь, зрубів, пасовищ, згарищ, осередків усихання, рекреаційних пунктів тощо);
- формування осередків усихання лісу (погіршення санітарного стану насаджень призводить до різкого збільшення об'єму наземних горючих матеріалів).

2.2.7. Передбачити додаткові заходи протипожежної профілактики у лісах зелених зон великих міст та оперативне створення протипожежних бар'єрів для обмеження площ осередків усихання лісу, створення додаткових протипожежних узлісь та ліквідації захаращеності.

У результаті такого аналізу визначають конкретні ділянки, в яких найчастіше виникають займання, а також періоди пожежних максимумів, середню та максимальну кількість пожеж в окремих лісових господарствах в певні роки, місяці, дні тижня та години впродовж доби, їхній характер та швидкість поширення. Все це дає можливість спроектувати оптимальне розміщення пожежних наглядових пунктів, маршрути наземного та авіаційного патрулювання, заходи із запобігання пожежам і обмеження їхнього розповсюдження, а також визначити потрібну кількість засобів пожежогасіння.

3 ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ПОЖЕЖОСТІЙКИХ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ

Формування стійких до вогню лісів є важливою проблемою, вирішення якої надасть можливість зберегти їх від повної загибелі під час пожеж. При цьому під терміном «пожежна стійкість» розуміють ступінь пошкоджуваності вогнем різних компонентів насаджень [26]. Основним показником

пожежостійкості насаджень є санітарний стан деревостанів і насамперед величина постпірогенного відпаду дерев. Оскільки практично неможливо регулювати швидкість і силу вітру, рельєф чи кількість кисню, одним із шляхів зниження ймовірності виникнення лісових пожеж, послаблення їхньої інтенсивності та гальмування швидкості поширення, а також підвищення ефективності гасіння та пом'якшення їх наслідків є зниження кількості і зміна розташування горючих матеріалів, а точніше, порушення вертикальної й горизонтальної безперервності ЛГМ. Регулювання ЛГМ не може повністю зняти загрозу виникнення лісових пожеж. Однак в лісах, в яких заздалегідь було зменшено обсяги горючих матеріалів, інтенсивність пожежі та її наслідки були значно меншими. В першу чергу запропоновані нижче заходи мають виконуватися на ділянках де пожежі виникають постійно у центрах горимості.

3.1. Порушення безперервності ЛГМ має бути досягнуте завдяки:

- вчасному проведенню рубок догляду, оскільки необхідно забезпечити збільшення відстані між кронами дерев, що зменшує можливість поширення вогню від однієї крони до іншої навіть за сильного вітру. Такий захід зменшує щільність надземних горючих матеріалів крони дерев;
- зменшенню кількості підросту, сформованого з хвойних порід, щоб зменшити можливість переходу низової пожежі у верхову.

3.2. Підвищення пожежостійкості лісів забезпечується регулюванням складу деревостанів. Наявність у складі сосняків одиниці листяних порід знижує ризик виникнення пожежі на 10–15 %, а 2–3 одиниць – на 30–50 %. Як засіб стримування поширення вогню з суміжних ділянок (центрів горимості ландшафтних пожеж) варто забезпечити створення узлісся з листяних порід дерев та чагарників.

3.3. У лісорослинних умовах, які є несприятливими для росту листяних порід, під час проведення рубок формування та оздоровлення необхідно лишати в чистих сосняках вогнестійкі дерева сосни. Основними критеріями вогнестійкості є: висота межі грубої кори, розміри дерева (діаметр), висота розташування крони, відсутність кореневих лап.

3.3.1. Формування деревостанів із вогнестійких дерев у чистих сосняках слід забезпечувати за рахунок вилучення найменш вогнестійких дерев під час проведення рубок догляду та збереження великих дерев (І–ІІ класи Крафта).

3.3.2. У соснових молодняках, що ростуть уздовж автодоріг та залізниць, проводити обрізування гілок дерев до висоти 2 м. Обрізування може бути поєднане з проріджуванням або застосовуватися як окремий захід. Обрізування включає видалення нижніх гілок дерева, із обов'язковим збереженням не менше ніж 50 % живої крони (відношення довжини крони до загальної висоти дерева).

4 КРИТЕРІЇ ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ СОСНЯКІВ, ПОШКОДЖЕНИХ НИЗОВИМИ ПОЖЕЖАМИ

До пірогенних змін в насадженні призводить спільна дія зазначених нижче чинників, які виникають під час пожежі [7, 27, 28]:

- пошкодження бруньок та опіки хвої (крони) під впливом конвективного теплового потоку;
- опік стовбура тепловим випромінюванням унаслідок дії критичної температури на камбій;
- пошкодження коріння дерев, як безпосередньо від вогню, так і внаслідок теплопровідності ґрунту.

З тепла, яке виділяється під час пожежі, на конвективний тепловий потік припадає 80–82 %, на теплове випромінювання – 14–17 %, на теплопровідність ґрунту – 3–4 % [29, 30]. Під час пожежі можливий також кондуктивний теплообмін в результаті безпосереднього контакту полум'я, розжарених вуглинок чи іскор з горючим матеріалом.

Запаси підстилки та її щільність збільшуються відповідно до збільшення віку сосняків, діапазон мінливості значень об'ємної маси є доволі широким (30,6–97,3 г/дм³). Водночас у разі збільшення запасів подовжується час горіння й підвищується температура, а за збільшення щільності підстилки горіння уповільнюється. У міру висихання підстилки швидкість і температура її горіння зростають. Температура горіння підстилки в повітряно-сухому стані коливається в межах від 333 до 655°C. Найнижчу температуру горіння зафіксовано в гуміфікованому шарі лісової підстилки (333–347°C), а найвищу – у ферментативному (525–655°C). Посилення повітряних потоків спричиняє зростання температури горіння підстилки до 703°C.

Вплив низових пожеж на різні за таксаційною характеристикою соснові насадження в різних гігروتобах сильно різняться, тобто вплив типу пошкодження, характеристики самих дерев, місцезростання, запасів та стану ЛГМ на стан дерев після низової пожежі є нерівнозначним. Ще більші відміни в стані дерев спостерігаються в наступні роки, коли до основного впливу пожежі додається ціла низка додаткових факторів.

Пошкодження пожежею відбувається під час прямої дії вогню на деревостан. Частково ступінь впливу можна оцінити відразу після пожежі. Основою для цього є такі ознаки, як висота нагару на стовбурі, пошкодження крони (дефоліація та дехромація) та кореневої системи дерева. Але ці ознаки не дають повної картини негативного впливу на насадження для подальшого прогнозу змін. Для цього обов'язково треба враховувати біологічні особливості дерев, від яких залежить їхня чутливість до дії вогню.

Навіть у разі пошкодження однією і тією ж пожежею соснового насадження одного віку такі особливості дерев, як пригніченість у наметі, висота грубої кори та її товщина, низьке підняття крони, поверхнева коренева система та наявність корневих лап, мають вирішальне значення для оцінювання ступеня пошкодження та прогнозу подальших змін. Слід також

враховувати вік дерева у зв'язку з тим, що у молодших дерев можливості до регенерації є значно більшими, ніж у старих.

Процеси всихання сосняків після пожежі можуть посилюватися під впливом вторинних чинників. Факторами, що активізують всихання в насадженнях, пошкоджених пожежами, є ентомошкідники та фітозахворювання. Мінімізації ризиків формування осередків стовбурових шкідників та фітозахворювань у пошкоджених пожежами лісах досягають за рахунок точної діагностики пошкоджень та вчасного проведення заходів.

Пірогенне ослаблення сосняків різниться в різних гігртопах:

- у гігртопах «1–2» переважає пошкодження стовбура внаслідок тепловипромінювання;
- у гігртопах «3–4» переважають пошкодження корневих систем.

Для свіжих гігртопів найбільш значущими факторами є тривалість післяпожежного періоду, величина опіку тонкої кори та клас Крафта.

Зміни деревостану після пожеж знаходяться у прямій залежності від тривалості післяпожежного періоду: чим він триваліший, тим катастрофічніші наслідки (всихання спостерігається впродовж 3 років після пошкодження).

Для сосняків, пошкоджених низовою пожежею, всихання дерев відзначали вже в рік пожежі, але під дією додаткових чинників цей процес може не тільки тривати, але й посилюватися. Це може призвести практично до повного всихання насадження, для якого суцільні санітарні рубки, проведені відповідно до «Санітарних правил в лісах України», будуть найбільш доцільними [32].

4.1 Пошкодження дерев унаслідок конвективного теплообміну

Для пошкодження бруньок і хвої достатньо дії конвективного потоку з температурою 120°C впродовж декількох десятків секунд (близько хвилини). Пошкодження цього типу домінують у молодняках, тобто в деревостанах з низько опущеною кроною та невеликою висотою дерев. Критична ситуація для сосняків старших вікових груп (стиглі, перестійні) може виникнути під час стійких низових пожеж упродовж посушливих періодів і періодів із високою температурою повітря [10, 17].

4.1.1. Основною метою лісівничих заходів у пошкоджених молодняках є попередження розвитку осередків стовбурових шкідників та забезпечення оптимальної площі живлення дерев. Такі цілі можна досягти за рахуноквилучення дерев із летальним рівнем пошкодження, що збільшує площу живлення й підвищує шанси на виживання залишених дерев.

4.1.2. У сосняках, пошкоджених конвективним теплоперенесенням (табл. 3), критеріями відбору дерев у рубку є дехромація крони та Клас Крафта.

За пошкодження крони, підлягають відбору в рубку дерева:

- I–II класів Крафта за дехромації крони понад 80 %;
- III класу Крафта за дехромації крони понад 70 %;
- IV–V класів Крафта за дехромації крони понад 50 %. Такі дерева вартовилучати з насадження незалежно від пошкодження.

Таблиця 3 – Відпад дерев у соснових молодняках за різного рівня «дехромації» крони після 3-річного післяпожежного періоду

Дехромація, %	Клас Крафта					
	I–II		III		IV	
	Індекс стану	% сухостою	Індекс стану	% сухостою	Індекс стану	% сухостою
0–10	2,0	0	1,5	0	2,3	0
11–20	1,3	0	1,8	0	2,8	0
21–30	1,9	0	2,1	0	2,2	10
31–40	2,0	0	2,0	0	2,2	14
41–50	2,5	0	2,5	7	2,3	16
51–60	2,5	0	2,4	7	2,4	20
61–70	2,2	0	2,8	8	3,0	37
71–80	3,1	10	3,1	11	3,7	33
81–90	3,4	10	3,7	27	4,1	53
91–100	5,0	100	4,9	90	4,9	93

4.1.3. У разі подібних рівнів пошкодження слід залишати дерева з вищим класом Крафта (панівні, препанівні) як вогнестійкіші.

4.2. Опік стовбура, спричинений тепловипромінюванням

Небезпека опіку стовбура внаслідок тепловипромінювання полягає в пошкодженні вогнем камбію, що викликає порушення руху поживних речовин по стовбуру. За різних умов горіння крайка пожежі проходить за 2–3 хвилини, що для дорослих дерев не являє небезпеки, оскільки дерева біля основи стовбура мають доволі товсту кору [20]. Локальні опіки можливі лише в тріщинах кори. Стійке інтенсивне горіння понад три хвилини можливе у разі скупчення горючих матеріалів [30]. Під час пожежі на зворотній до напрямку вітру стороні стовбура, внаслідок турбулентних завихрень повітряного потоку, вертикальне полум'я піднімається по стовбуру, що викликає локальне пошкодження. Пошкодження вогнем камбію відбувається, коли товщина кори не є достатньою [31]. Ймовірність загибелі збільшується в дерев із меншим діаметром стовбура, що мають нижчу межу товстої кори, ніж дерева з більшим діаметром.

4.2.1. Опік стовбура, спричинений тепловипромінюванням, візуально визначають за середнім значенням висоти нагару на стовбурі, відносним нагаром (відношенням максимального нагару до висоти дерева, %) та опіком тонкої кори (перевищення нагаром зони перехідної кори).

4.2.2. Для соснових молодняків II класу (21–40 років) пошкодження стовбура діагностують за допомогою «відносного нагару»:

- найбільш розвинені дерева (препанівні та панівні – I–II класів Крафта) є стійкішими, тому в санітарну рубку їх відводять лише за величини відносного нагару понад 61 %;

- для дерев III класу Крафта критичним є рівень відносного нагару понад 51 % (табл. 4). Відсталі у розвитку дерева IV–V класів Крафта варто видаляти з насаджень незалежно від пошкоджень.

Таблиця 4 – Відпад у соснових молодняках залежно від величини відносного нагару

Відносний нагар, %	Клас Крафта					
	I–II		III		IV	
	Індекс стану	% сухостою	Індекс стану	% сухостою	Індекс стану	% сухостою
0–10	2,1	0	2,2	0	2,9	25
11–20	2,5	0	2,6	11	3,5	50
21–30	2,5	0	2,9	17	3,8	52
31–40	3,2	8	3,4	19	4,0	65
41–50	3,5	25	3,6	37	4,0	69
51–60	3,5	40	4,4	71	4,3	70
61–70	3,9	50	5,0	100	4,8	75
71–80	–	–	5,0	100	5,0	100
81–90	–	–	5,0	100	5,0	100
91–100	–	–	5,0	100	5,0	100

4.2.3. За подібних рівнів пошкодження необхідно залишати дерева з вищим класом Крафта (панівні, препанівні), після чого залежно від обсягу призначають суцільну або вибірккову санітарну рубку згідно із «Санітарними правилами в лісах України».

4.2.4. Після весняних рухливих низових пожеж (кінець березня – перша декада травня) у середньовікових сосняках всихають лише відсталі в рості дерева IV–V класів Крафта. Такі дерева підлягають відбору до вибіркової санітарної рубки за середнього нагару на стовбурах понад 1,0 метр. Всихання дерев I–III класів Крафта відбувається після пошкодження стовбура вогнем вище зони грубої кори (з опіком тонкої кори).

4.2.5. Після літніх стійких низових пожеж у середньовікових сосняках критичними рівнями пошкодження є (табл. 5):

- для дерев I та II класів Крафта – висота нагару на стовбурі понад 4 м;
- для дерев III класу Крафта – висота нагару на стовбурі понад 3 м;
- для дерев IV класу Крафта – висота нагару на стовбурі понад 0,5 м.

• 4.2.6. Для оцінювання ризику всихання окремих дерев, пошкоджених низовими пожежами, та прийняття рішення щодо відведення їх у санітарну рубку розроблено нормативну таблицю визначення ймовірності відпаду середньовікових дерев залежно від природного ступеню товщини (табл. 6).

Таблиця 5 – Частка всихаючих та сухостійних дерев у середньовікових сосняках залежно від середньої висоти нагару на стовбурі та класу Крафта, %

Висота нагару, м	Клас Крафта		
	I–II	III	IV
До 0,5	0	0	65
0,6–1,0	0	0	100
1,1–1,5	0	0	100
1,6–2,0	0	18	100
2,1–2,5	10	25	100
2,6–3,0	15	35	100
3,1–3,5	20	40	100
3,6–4,0	35	100	100
4,1–4,5	60	100	100
4,6–5,0	75	100	100
5,1–5,5	100	100	100

Таблиця 6 – Імовірність усихання окремих дерев у соснових середньовікових деревостанах, пошкоджених низовими пожежами, %

Висота нагару, м	Природний ступінь товщини										
	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
До 0,5	100	83	57	38	24	15	9	5	3	2	1
0,6–1,0	100	100	72	48	31	20	12	7	4	3	2
1,1–1,5	100	100	88	61	40	26	16	10	6	4	2
1,6–2,0	100	100	100	76	52	34	21	13	8	5	3
2,1–2,5	100	100	100	93	65	44	28	17	11	6	4
2,6–3,0	100	100	100	100	81	56	36	23	14	9	5
3,1–3,5	100	100	100	100	100	70	47	30	19	12	7
3,6–4,0	100	100	100	100	100	86	60	39	25	16	9
4,1–4,5	100	100	100	100	100	100	74	50	33	21	13
4,6–5,0	100	100	100	100	100	100	91	64	42	27	17
5,1–5,5	100	100	100	100	100	100	100	79	54	35	22
5,6–6,0	100	100	100	100	100	100	100	100	68	46	29
6,1–6,5	100	100	100	100	100	100	100	100	84	58	38
6,6–7,0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	73	49
7,1–7,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	62
7,6–8,0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	77

4.2.7. За подібних рівнів пошкодження необхідно залишати дерева з вищим класом Крафта (панівні, препанівні), після чого, залежно від обсягу дерев, що прогнозовано усохнуть призначають суцільну або вибіркову санітарну рубку згідно із «Санітарними правилами в лісах України». Додатковим критерієм відбору пошкоджених пожежею дерев у рубку є критерій «опік тонкої кори», тобто перехід нагару за зону грубої кори. При пошкодженнях стовбуру вогнем за один метр до переходу грубої кори в тонку такі дерева відбираються в рубку незалежно від висоти нагару на стовбурі

4.3 Пошкодження корневих систем унаслідок теплопровідності ґрунту

Під час горіння надґрунтового покриву з відмерлої рослинності й мохів температура на поверхні ґрунту перевищує 200°C і може досягати 900°C [33]. Проникнення тепла в шар ґрунту внаслідок теплопровідності залежить від виду та інтенсивності пожежі, виду ґрунту, початкової температури, вмісту вологи, об'ємної щільності, питомої теплоємності й теплопровідності. Пошкодження кореневої системи залежить від її розташування. У ґрунтах різних типів коренева система розвивається по-різному. Так, наприклад, на болотистих, щербенистих ґрунтах, а також за високого рівня ґрунтових вод у сосни формується поверхнева коренева система, при цьому ймовірність пошкодження корневих систем може суттєво зростати.

Під час прогнозування наслідків низових пожеж (стійких пожеж середньої та сильної інтенсивності) на Поліссі, слід враховувати значні запаси підстилки, товщина якої може перевищувати 15 см. У більшості випадків згорає верхній опадовий шар і частково середній. Середній та нижній лише частково підсихають і, довго тліючи, створюють умови для теплопередачі, що призводить до пошкодження корневих систем.

Кореневі системи можуть пошкоджуватися під час підстилково-гумусових пожеж. За такої пожежі горіння протікає як із полум'ям, так і без нього. Час полум'яного горіння становить 2–5 %, безполум'яного горіння нижньої частини моху й підстилки – 95–98 % від загального часу горіння [34]. Горіння без полум'я може тривати від декількох десятків хвилин до декількох годин. За цей час у камбіальній зоні температура досягає летального значення, і тонке коріння обгорає. Горіння може відбуватися нерівномірно, у разі граничної вологості для горіння вогонь розповсюджується в тих місцях, де матеріал є сухішим, і вогонь проходить смугами. Під кроною дерев, де скупчується опад із хвої, лусочок кори, дрібні гілки, створюється сприятливе середовище для горіння. Унаслідок слабких підстилково-гумусових пожеж деревостан гине через пошкодження коріння. Для вологих гігروتопів основна питома вага пошкоджень припадає на пошкодження корневих систем унаслідок теплопровідності ґрунту та вигорання верхнього його шару. У вологих умовах у сосни після 20–30 років кореневі системи можуть утворювати кореневі лапи, пошкодження яких вогнем є особливо небезпечним [7].

4.3.1. Під час відбору дерев у рубку у вологих гігروتобах особливу увагу звертають на ступінь вигорання підстилки та оголення корневих лап. Тому після літніх стійких низових пожеж середньої та сильної інтенсивності (за Правилами пожежної безпеки в лісах України) необхідно якнайшвидше провести обстеження насадження. Слід звернути увагу на вигорання підстилки і часткове або повне пошкодження корневих лап:

- за умови повного згорання всієї товщі підстилки насадження гине (відпад – понад 75 %), тому слід призначати суцільну санітарну рубку.
- за умови часткового вигорання підстилки в пошкоджену насадженні проводять подеревний перелік дерев.

- за наявності оголених кореневих лап (корені першого порядку пошкоджуються під час вигорання підстилки) такі дерева відводять у рубку, адже ризик їхнього усихання в подальші роки є надзвичайно високим. Видаленню підлягають також дерева, під якими (за проекцією крони) зафіксовано повне вигорання лісової підстилки до мінерального шару ґрунту.
- залежно від обсягу відібраних дерев, які підлягають рубці, призначають суцільну чи вибіркову санітарну рубку.

Законодавчі документи, на яких базуються Рекомендації

Кодекси:

1. Лісовий Кодекс України. Закон України № 3404-IV, постанова ВР від 8 лютого 2006 року.
2. Земельний кодекс України, Закон від 25 жовтня 2001 року № 2768-III.
3. Водний кодекс України, Постанова від 6 червня 1995 року № 213/95-ВР.

Закони України:

4. «Про внесення змін до Лісового кодексу України». Постанова Верховної Ради України від 08 лютого 2006 року № 3404-IV.
5. «Про охорону навколишнього природного середовища», від 26 червня 1991 року, № 1268-XII.
6. «Про природно-заповідний фонд», від 16 червня 1992 року № 2456-XII.
7. «Про місцеве самоврядування в Україні» від 21 травня 1997 року № 280/97-ВР.
8. «Про місцеві державні адміністрації» від 9 квітня 1999 року № 586-XIV.
9. «Про основи містобудування» від 16 листопада 1992 року № 2780-XII.
10. «Про планування і забудову територій» від 20 квітня 2000 року № 1699-III.
11. «Про Генеральну схему планування території України» від 07 лютого 2002 року № 3059-III.
12. «Про рослинний світ» від 9 квітня 1999 року, № 591-XIV.
14. «Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 роки» від 21 вересня 2000 року № 1989-III.
15. «Про тваринний світ» від 13 грудня 2001 № 2894-III.
16. «Про Червону книгу України» від 7 лютого 2002 року № 3055-III.
17. «Про екологічну мережу України» від 24 червня 2004 року № 1864-IV.

Закони України про ратифікацію Україною таких конвенцій та угод:

18. Конвенція про охорону біологічного різноманіття від 1992 року (Ріо-де-Жанейро, 1992 рік), Закон України «Про ратифікацію Конвенції про охорону біологічного різноманіття» від 29 листопада 1994 року № 257/94-ВР.
19. Рамкова конвенція ООН про зміну клімату (Ріо-де-Жанейро, 1992 рік), Закон України «Про ратифікацію Рамкової конвенції ООН про зміну клімату» від 29 жовтня 1996 року № 435/96-ВР.
20. Конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі (Берн, 1979 рік), Закон України «Про приєднання України до Конвенції 1979 року про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі» від 29 жовтня 1996 року № 436/96-ВР.

21. Конвенція про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, головним чином як середовища існування водоплавних птахів (Рамсар, 1971 рік), Закон України «Про участь України в Конвенції про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, головним чином як середовище існування водоплавних птахів» від 29 жовтня 1996 року № 437/96-ВР.

22. Конвенція про збереження мігруючих видів диких тварин (Бонн, 1979 рік), Закон України «Про приєднання України до Конвенції про збереження мігруючих видів диких тварин» від 19 березня 1999 року № 535-XIV.

24. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, Закон України «Про ратифікацію кіотського протоколу до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату» від 4 лютого 2004 року № 1430-IV.

25. Картахенський протокол про біобезпеку до Конвенції про біологічне різноманіття (Монреаль, 2000), Закон України «Про приєднання України до Картахенського протоколу про біобезпеку до Конвенції про біологічне різноманіття» від 12 вересня 2002 року № 152-IV.

Укази Президента України:

26. Указ Президента України від 05.01.2004 «Про заходи щодо посилення державного контролю у сфері охорони, захисту, використання та відтворення лісів».

27. Указ Президента України від 07.02.2004 «Про додаткові заходи щодо розвитку лісового господарства».

Постанови Кабінету міністрів України:

28. Постанова Кабінету міністрів України від 29.08.2002 № 1286 «Про затвердження Положення про Зелену книгу України».

29. Правила відтворення лісів : Постанова Кабінету Міністрів України від 1 березня 2007 р. № 303.

30. Правила поліпшення якісного складу лісів : Постанова Кабінету Міністрів України від 12 травня 2007 р. № 724. – Офіційний вісник України. – 2007. – № 37. – Ст. 1478.

31. Порядок поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок : Постанова Кабінету Міністрів України від 16 травня 2007 р. № 733.

32. Порядок спеціального використання лісових ресурсів. Постанова Кабінету Міністрів України від 23.05.2007 № 761.

33. Державна програма «Ліси України», затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 29.04.2002 № 581, реєстраційний номер програми № 207.

34. Концепція реформування та розвитку лісового господарства : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.04.2006 № 208-р.

35. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 р. № 675-р «Про схвалення Концепції Загальнодержавної програми збереження біорізноманіття на 2005–2025 роки».

36. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2007 р. № 880-р «Про схвалення Концепції національної екологічної політики України на період до 2020 року».

37. Санітарні правила в лісах України : в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2016 р. № 756 [Електронний ресурс]. – К., 2012. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п> (дата звернення 05.11.2019 р.)

Відомчі документи:

Правила пожежної безпеки в лісах України : Наказ Держкомлісгоспу України від 27 грудня 2004 року № 278. – Офіційний вісник України. – 2005. – № 13. – Ст. 680 – 321 с.

Інструкція з впорядкування лісового фонду України. Частина 1 «Польові роботи», частина 2 «Камеральні роботи». Затверджена науково-технічною радою Державного комітету лісового господарства України, 2006 р. – Ірпінь, 2006.

Методичні рекомендації щодо режиму збереження лісових екосистем на територіях природно-заповідного фонду України різних категорій. Затверджено спільним наказом Міністерства екології та природних ресурсів України та Державного комітету лісового господарства України від 24 грудня 2003 р. № 185/210-А.

Основні положення щодо організації та ведення лісового господарства в лісах зелених зон міст і населених пунктів України. Затверджено Науково-технічною радою Держкомлісгоспу України. Протокол № 4 від 26 грудня 2008 р. – Х. : УкрНДІЛГА, 2008. – 27 с.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методичні рекомендації щодо зниження небезпеки впливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах. [О. М. Гайкова, Н. І. Михайлова; УкрНДІПБ МНС України]. – К., 2011. – 63 с.
2. Правила пожежної безпеки в лісах України. Наказ Держкомлісгоспу України від 27 грудня 2004 р., № 278. – Офіційний вісник України. – К., 2005. – № 13. – 321 с.
3. Про використання земель оборони : Закон України № 1345-IV від 27 листопада 2003 року (зі змінами, внесеними згідно із Законами України № 800-VI від 25.12.2008, № 2674-VI від 04.11.2010). [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1345-15> (Дата звернення: 10.11.2019)
4. Гришин А. М. Математическая теория верховых пожаров / А. М. Гришин, А. Д. Грузин, В. Г. Зверев // Теплофизика лесных пожаров : Сб. науч. трудов Сиб. отд. АН СССР / под ред. В. Е. Накорякова. – Новосибирск, 1984. – 278 с.
5. Доррер Г. А. Модель распространения фронта лесного пожара / Г. А. Доррер // Теплофизика лесных пожаров : Сб. науч. трудов Сиб. отд. АН СССР / под ред. В. Е. Накорякова. – Новосибирск, 1984. – С. 86-98.
6. Конев Э. В. Анализ процесса распространения лесных пожаров и палов / Э. В. Конев // Теплофизика лесных пожаров : Сб. науч. трудов Сиб. отд. АН СССР / под ред. В. Е. Накорякова. – Новосибирск, 1984. – С.99-125
7. Anderson H. E. Tenth symposium (international) on combustion / H. E. Anderson, R. S. Rothmal; The Combustion Institute, Pittsburgh. – Pittsburgh, 1965 – P. 1009–1019.
8. Абрамов Ю. А. Влияние пространственных флуктуаций пирологических параметров среды на интегральные характеристики низового лесного пожара и условия его тушения / Ю. А. Абрамов, В. Е. Росоха, А. А. Тарасенко. – Х. : АГЗ Украины, 2004. – 142 с.
9. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Поражающие факторы. Номенклатура параметров поражающих воздействий : ГОСТ Р 22.0.06-95. [Електронний ресурс] Режим доступу : https://znaytovar.ru/gost/2/GOST_R_2200896_Bezopasnost_v_c.html
10. Валендик Е. Н. Крупные лесные пожары / Е. Н. Валендик, И. М. Матвеев, М. А. Софронов. – М. : Наука, 1979. – 197 с.
11. Экспериментальное исследование механизма распространения верховых лесных пожаров и тепло- и массообмен фронта пожара с окружающей средой /

А. М. Гришин, В. Е. Абалтусов, А. Д. Грузин и др. // ВИНТИ, рег. N4873-82 от 16.11.1982 г. Библиографический указатель «Депонированные рукописи», № 2, 1983, б/о 499. Деп. ВИНТИ, № 4873-82.

12. Конев Е. В. Физические основы горения растительных материалов / Е. В. Конев. – Новосибирск : Наука, 1977. – 239 с.

13. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Поражающие факторы. Номенклатура параметров поражающих воздействий : ГОСТ Р 22.0.06-95

14. Stoll A. M. Relationship between pain and tissue damage due to thermal radiation / A. M. Stoll, L. . Greene // Journal of Applied Physiology. – 1959. – Vol. 14. – P. 373–382.

15. King A. R. The efficiency of rural firefighters, Melbourne / A. R. King // Commonwealth Scientific And Industrial Research Organization, Chemical Research Laboratories, Technical Paper No.4. – 1966. – Vol. 12. – P. 145–152.

16. Экспериментальное исследование тепло- и массообмена в приземном слое атмосферы при лесовых пожарах / А. М. Гришин, В. Е. Абалтусов, Н. В. Копылов и др. – Деп. ВИНТИ, № 4224-81.

17. Валендик Э. Н. Ветер и лесной пожар / Э. Н. Валендик. – М. Наука, 1968. – 116 с.

18. Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров / А. М. Гришин. – Томск : Изд-во ТГУ, 1981. – 277 с.

19. McCarter R. J. Pyrodynamics / R. J. McCarter, A. Broido // Pyrodynamics. – 1965. – V. 1. – P. 65–85.

20. Валендик Э. Н. Влияние пожаров на устойчивость хвойных пород / Э. Н. Валендик, А. И. Сухинин, И. В. Косов. – Красноярск, 2006. – 96 с.

21. Гришин М. А. Теплофизика лесных пожаров / М. А. Гришин, А. Д. Грузин, В. Г. Зверев. – Новосибирск : ИТФ СО АН СССР, 1984. – 275 с.

22. Зигель Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Д. Хауэлл. – М. : Мир, 1975. – 936 с.

23. Исаков Р. В. Прогнозирование лесных пожаров / Р. В. Исаков. – Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1977. – С. 100–107

24. Сухинин А. И. Вопросы лесной пирологии / А. И. Сухинин, Э. В. Конев. – Красноярск, 1972. – С. 151.

25. НАПБ 02.007-2006 Положення про пожежну безпеку в Збройних Силах України, затверджено наказом Міністра оборони України від 10.04.2006 № 185 та зареєстровано в Міністерстві юстиції України 6 травня 2006 року за 2 № 529/12403 (із змінами, внесеними згідно з наказом Міністерства оборони України від 21.08.2007 № 476). [Електронний ресурс] Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0529-06>

26. Фуряев В. В. Технология повышения пожароустойчивости лесов / В. В. Фуряев, Г. Д. Главацкий, А. И. Забелин и др. – Красноярск : Институт леса СО РАН, 2000. – 60 с.

27. Волокитина А. В. Разработка российской системы прогноза поведения природных пожаров и их последствий / А. В. Волокитина, М. А. Софронов // Пожары в лесных экосистемах Сибири : Материалы Всерос. конф., Красноярск, 17–19 сентября 2008 г. – Красноярск, 2008. – С. 42–44.

28. Войнов Г. С. Прогнозирование отпада в древостоях после низовых пожаров / Г. С. Войнов, М. А. Софронов // Современные исследования типологии и пирологии леса. – Архангельск : АИЛиЛх, 1976. – С. 115–121.

29. Конев Э. В. Математическая модель горения лишайникового напочвенного покрова / Э. В. Конев // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск, 1972. – С. 52–76.

30. Исаев А. С. Лиственничные горельники в Амурской области как очаги массового размножения стволовых вредителей / А. С. Исаев // Материалы планово-метод. совещания по защите растений зоны Сибири и Урала. – Новосибирск, 1961. – С. 207–221.

31. Косов И.В. Механизм повреждения древостоя при подстилочно-гумусовых пожарах/И.В. Косов, Е.К. Кисильхов, В.Ю. Рыбников // Ботанические исследования в Сибири. – Красноярск, 2005. Вып. 13. – С. 97-101
32. Санітарні правила в лісах України : в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2016 р. № 756 [Електронний ресурс]. – К., 2012. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п> (дата звернення 05.12.2016 р.)
33. Davis K. P. Forest fire: control and use / K. P. Davis, G. M. Byram, W. R. Krumm. – New York – Toronto – London : McGraw-Hill Book Co. Inc., 1959. – 584 p.
34. Усеня В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними / В. В. Усеня. – Гомель, 2002. – 205 с.
35. Горшенин Н. М. Лесная пирология / Н. М. Горшенин, Н. А. Диченков, А. И. Швиденко. – Львов : Вища школа, 1981. – 77 с.
36. Reducing Fire Risk on Your Forest Property [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/19402/pnw618abintrouction.pdf?sequence=33>
37. Стандарти для створення нових протипожежних коридорів [Електронний ресурс] Режим доступу : https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:OXqE73rFoMgJ:www.fs.fed.us/rm/pubs/rmr_s_p041/rmr_s_p041_029_046.pdf+&hl=ru&gl=ru&pid=bl&srcid=ADGEESjn6_MwuBcWR3HOvq969HMzu6Loquw1olo2Bba4CZcPHNi_jsgy7KZbzqHXkat5wlyknKUox2I-RQXaTWs2G4mYGtbKOEme6tF5DpLCJtvI4QOBLao0l7gn3-1hmw8rOjMimP3P&sig=AHIEtbRLm9vRqk5hrIXSh9qCpoT_UUxBkg
38. Husari S. Fire and Fuel Management [Електронний ресурс] / S. Husari, H. Thomas Nichols, N. G. Sugihara, S. L. Stephens. – Режим доступу : <http://nature.berkeley.edu/stephens-lab/Publications/Husari%20et%20al%20Stephens%20Fuel%20Man%20AFE%209-06.pdf>
39. Xanthopoulos G. Forest Fuels Management in Europe [Електронний ресурс] / G. Xanthopoulos, D. Caballero, M. Galante, D. Alexandrian, E. Rigolot, R. Marzano et al. – Режим доступу : <http://www.treeseearch.fs.fed.us/pubs/25935>
40. Практические рекомендации по диагностике послепожарного состояния насаждений основных лесобразующих пород и ведению в них хозяйства / – Минск, 2005. – 46 с.

ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Антропогенне навантаження – ступінь прямого чи опосередкованого впливу діяльності людей на природу чи на окремі її компоненти.

Верхові лісові пожежі – пожежі, під час яких вогонь поширюється кронами лісових насаджень. При цьому низовий вогонь розглядають як складову частину верхової пожежі.

Відпад – відмерлі дерева в насадженні внаслідок природного зрідження деревостану з віком або захворювання.

Горільник – ділянка, де лісові насадження частково загинули в результаті пожежі.

Деградація довкілля – поступове погіршення якості природного середовища, зокрема середовища життєдіяльності людини.

Дегресія – погіршення стану біотичних спільнот унаслідок дії зовнішніх чи внутрішніх обставин.

Діагностика стану насаджень – визначення стану насаджень за встановленими

діагностичними ознаками.

Екосистема – угруповання живих істот і їхнього середовища існування, об'єднаних в єдине функціональне ціле, що виникло на основі взаємозалежності й причинно-наслідкових зв'язків, наявних між окремими екологічними компонентами.

Згарище – ділянка, на якій лісове насадження повністю загинуло внаслідок пожежі.

Індикатор – явище, речовина, організм, наявність, кількість чи зміна складу яких вказують на характер змін довкілля, ґрунтів чи інші умови середовища.

Крайка лісової пожежі – межа між пройденою або охопленою вогнем і не пройденою вогнем територією.

Ліси зелених зон міст і населених пунктів – ліси, розташовані за міською межею навколо населених пунктів і промислових підприємств або поблизу них, що за екологічним і соціально-економічним значенням та залежно від основних виконуваних ними функцій належать до категорії рекреаційно-оздоровчих та є місцем відпочинку населення.

Лісова пожежа – стихійне розповсюдження вогню територією лісового фонду.

Низові лісові пожежі – пожежі, які розповсюджуються надґрунтовим покривом і нижнім пологом.

Оцінювання впливу на навколишнє середовище – виявлення, аналіз та інтерпретація фактичного й можливого впливу господарської діяльності на природне середовище та його наслідків для природи й суспільства.

Площа лісової пожежі – територія, обмежена крайкою пожежі.

Пожежонебезпечний період – частина року від сходження снігового покриву до його утворення, коли виникають лісові пожежі.

Природне поновлення – природне утворення нового покоління лісу.

Рекогносцирування – попереднє обстеження місцевості для будь-яких подальших робіт, наприклад, для розміщення місць спостереження/моніторингу.

Стабільність екологічна – здатність екосистеми протистояти негативним чинникам середовища, включаючи антропогенні впливи.

Стан лісу – це якісна характеристика за комплексом показників, що відбиває відповідність насадження певній нормі, конкретним обставинам місця й часу, видовому складу й віку, а також цільовому призначенню лісів.

Стійкість лісів – здатність лісів зберігати свої властивості й функції, довговічність і тривалість росту за певного типового для цього регіону рівня мінливості чинників середовища.

Торф'яна лісова пожежа – лісова пожежа, під час якої горить торф'яний шар заболочених і болотяних ґрунтів.

Фронт лісової пожежі – найбільш рухома частина крайки пожежі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Суховольский В. Г., Овчинникова Т. М. Оценка и прогноз послепожарного состояния лиственницы Гмелина на мерзлотных почвах Средней Сибири. Лесоведение. 2004. № 2. С. 3–11.
2. Абрамов Ю. А., Росоха В. Е., Тарасенко А. А. Влияние пространственных флуктуаций пирологических параметров среды на интегральные характеристики низового лесного пожара и условия его тушения. Харьков : АГЗ Украины, 2004. С. 142 .
3. Александрова Л. Н. Органическое вещество и процессы его трансформации. Л. : Наука, 1980. 287 с.
4. Альошкіна У. М., Жовтенко А. А., Вишенська І. Г., Расевич В. В., Гаврилов С. О., Ткачова А. О. Акумуляція вуглецю лісовими екосистемами (на прикладі модельних ділянок у заказнику «Лісники», м. Київ). Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. - 2011. - Т. 119. - С. 52-55. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NaUKMA_2011_119_12.
5. Амелъчугов С. П., Андреев Ю. А., Груманс В. М., Осавелюк П. А. Метод экспертно-статистической оценки лесопожарных рисков. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 201–204.
6. Амосов Г. А. Некоторые закономерности развития лесных низовых пожаров. Возникновение лесных пожаров. М. : Наука, 1964. С.152–183.
7. Амосов Г. А. Некоторые особенности горения при лесных пожарах. Л. : ЛенНИИЛХ, 1958. 29 с.
8. Андреев Ю. А., Амелъчугов С. П., Комаров С. Ю. Возникновение и предупреждение пожаров на объектах Сибири и Дальнего Востока. Сибирский вестник пожарной безопасности. 1999. № 1. С. 22–46.
9. Андреев Ю. А., Амелъчугова С. В. Общие закономерности возникновения пожаров в лесу и населенных пунктах. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 35–37.
10. Арефьева З. Н., Колесников Б. П. Динамика аммиачного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах. Почвоведение. 1963. № 3. С. 30–45.
11. Арцыбашев Е. С. О влиянии пожаров на лесные экосистемы. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 89–91.
12. Арцыбашев Е. С. Охрана лесов от пожаров в США. Обзорн. информ. М. : ЦБНТИ лесхоз, 1979. 28 с.
13. Арцыбашев Е. С. Планирование, организация и техника борьбы с лесными пожарами. Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2014. № 3. С. 56–62.
14. Астанин Л. П., Благодосклон К. Н. Охрана природы. – М.: Колос, 1978. – С. 22-24.
15. Атраментова Л. О., Утєвська О. М. Біометрія. Ч. II. Порівняння груп і аналіз зв'язку : підручник. Харків : Ранок, 2007. 176 с.
16. Бабиченко В. Н., Рудышина С. Ф., Бондаренко З. С., Гущина М. Л. Температура воздуха на Украине. Л. : Гидрометеоздат, 1987. 400 с.

17. Барретт К. Неудача послепожарного восстановления в лесах Южной Сибири. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 29–31.
18. Барталев С. А., Егоров В. А., Крылов А. М., Стыценко Ф. В., Ховратович Т. С. Исследование возможностей оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 215–225.
19. Барталев С. А., Стыценко Ф. В., Егоров В. А., Лупян Е. А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров. Лесоведение. 2015. № 2. С. 83–94.
20. Безкоровайная И. Н., Иванова Г. А., Тарасов П. А., Богородская А. В. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края. Сибирский экологический журнал. 2005. № 1. С. 143–152.
21. Безкоровайная И. Н., Тарасов П. А., Краснощекова Е. Н. Экологическое состояние почв после пожаров в сосняках средней тайги Красноярского края. Вестник КрасГАУ. 2006. № 13. С. 178–183.
22. Беляев А. Б., Горбунова Ю. С., Девятова Т. А. Влияние пирогенного фактора на свойства почв Усманского бора. Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования : сб. ст. 6-го съезда общества почвоведов : Всерос. конф. с междунар. участием: школа-семинар для молодых ученых «Знания о почве – развитию страны». Петрозаводск, 2012. Кн. 1. С. 400–401.
23. Битвинскас Т. Т. Дендроклиматические исследования. Л. : Гидрометеиздат, 1974. 170 с.
24. Боднар, О.І., Байрак, О.М., Барановська, В.Є., Третяк, А.М., Ващенко, В.М. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. Міністерство екології та природних ресурсів України, 2017 (in Ukrainian).
25. Борисенко О. І. Прогнозування поширення пожеж та осередків шкідливих комах у соснових лісах засобами ГІС : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.03.03 «Лісознавство і лісівництво». Харків, 2018. 23 с.
26. Борсук О. А. Комплексна оцінка пожежної небезпеки лісів зони відчуження Чорнобильської АЕС. Науковий вісник НУБіП України. Сер.: Лісівництво та декоративне садівництво. 2013. Вип. 187(3). С. 167–176.
27. Брюханов А. В., Панов А. В., Сиденко Н. В. Влияние индивидуальных особенностей деревьев на их устойчивость к низовым пожарам в условиях Центральной Сибири. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 38–39.
28. Букша І.Ф. Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві : Монографія. / І.Ф. Букша, В.П. Пастернак. – Х. : ХНАУ, 2005. – 125 с.
29. Букша І.Ф. Сучасні аспекти співпраці у загальноєвропейському просторі. Лісовий і мисливський журнал. - 2004. - №2. – с. 8-9. З.
30. Букша І.Ф., Пастернак В., Корнієнко В. Роль лісового господарства у зменшенні ризику глобальних змін клімату // Лісовий і мисливський журнал. - 2002. - №1. – с. 28-29.
31. Бунь Р. А., Галюк О. П. Моделювання та просторовий аналіз емісії парникових газів в результаті лісових пожеж в Україні. Пожежна безпека. 2009. № 14. С. 12–19.

32. Бунь Р.А., Густі М.І., Дачук В.С. та ін. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України /.; За ред. Р.А. Буня. – Львів: УАД, 2004. –376 с.
33. Бунь Р. А. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України. Львів : УАД, 2004. С. 376 .
34. Буряк Л. В., Иванов В. А., Кукавская Е. А. Оценка природной пожарной опасности и ее динамики. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 40–41
35. Валендик Э. Н. Ветер и лесной пожар. М. : Наука, 1968. 119 с.
36. Валендик Э. Н. Дистанционные методы в решении проблемы лесных пожаров. Исследование таежных ландшафтов. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 168–182.
37. Валендик Э. Н. Пожары как постоянно действующий природный фактор в бореальных лесах Евразии. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 15–18.
38. Валендик Э. Н., Векшин В. Н., Верховец С. В. Забелин А. И., Иванова Г. А., Кисляхов Е. К. Управляемый огонь на вырубках в темнохвойных лесах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 209 с.
39. Валендик Э. Н., Иванова Г. А. Пожарные режимы в лесах Сибири и Дальнего Востока. Лесоведение. 2001. № 4. С. 69–73.
40. Валендик Э. Н., Кисляхов Е. К., Пономарев Е. И., Косов И. В., Лобанов А. И. Степные пожары: проблемы и инновационные пути их решения. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 42–43.
41. Валендик Э. Н., Матвеев П. М., Софронов М. А. Крупные лесные пожары. М. : Наука, 1979. 198 с.
42. Валендик Э. Н., Сухинин А. И., Кисляхов Е. К., Хребтов Б. А. Мониторинг лесных пожаров. Исследование лесов аэрокосмическими методами. М. : Наука, 1987. С. 118–135.
43. Валендик Э. Н., Сухинин А. И., Косов И. В. Влияние низовых пожаров на устойчивость хвойных пород. Красноярск, 2006. 98 с.
44. Вараксин Г. С., Цветков П. А. Технология выращивания пожароустойчивых хвойных культур. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 208–210.
45. Василюшин Р.Д., Домашовець Г.С. Фітомаса та депонований вуглець лісів Лівівської області в контексті лісорослинного районування. Національний аграрний університет, м. Київ Науковий вісник НЛТУ України. – 2008, вип. 18.3.
46. Вишенська І. Г. Роль компонентів лісових екосистем в акумуляції вуглецю як фактора підтримки їх стабільності до зовнішніх чинників / І. Г. Вишенська // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. - 2014. - Т. 158. - С. 61-65. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NaUKMA_2014_158_10.
47. Воинов Г. С., Софронов М. А. Прогнозирование отпада в древостоях после низовых пожаров. Современные исследования типологии и пирологии леса. Архангельск : АИЛиЛх, 1976. С. 115–121.

48. Волокитина А. В., Корец М. А., Софронова Т. М. Управление действующими лесными пожарами : методические рекомендации. Красноярск, 2012. 78 с
49. Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация растительных горючих материалов. Лесоведение. 1996. № 3. С. 38–44.
50. Волокитина А. В., Софронова Т. М. Защита населенных пунктов от лесных пожаров : практические рекомендации. Красноярск, 2011. 71 с.
51. Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: усовершенствованная методика составления. Сибирский лесной журнал. 2017. № 2. С. 52–61.
52. Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Совершенствование оценки пожарной опасности в лесу. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 44–45.
53. Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург : Наука, 1994. 280 с.
54. Воробьев Д. В. Методика лесотипологических исследований. К. : Урожай, 1967. 386 с.
55. Ворон В. П. Динаміка забруднення сірих ґрунтів в зоні седиментації викидів пилу ПАТ «Миколаївцемент». Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2014. № 12. С. 176–180.
56. Ворон В. П. Наукові основи діагностики антропогенного пошкодження лісових екосистем. Лісовий журнал. 2011. № 1. С. 24–28.
57. Ворон В. П., Сидоренко С. Г., Ткач О. М. Структура підстилки як показник потенційного пожежного ризику в соснових лісах Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. 2018. Вип. 132. С. 115–123.
58. Ворон В. П., Борисенко В. Г., Барабаш І. О., Мунтян В. К., Ткач О. М., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є. Вплив теплового випромінювання на лісові ґрунти. Лісівництво і агролісомеліорація. 2018. Вип. 132. С. 105–114.
59. Ворон В. П., Борисенко В. Г., Ткач О. М., Мунтян В. К., Барабаш І. О. Параметри горіння підстилки соснових лісів Українського Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. 2016. Вип. 129. С. 130–138.
60. Ворон В. П., Коваль І. М., Леман А. В. Методичні підходи до вивчення впливу негативних факторів на радіальний приріст сосняків в Поліссі. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2011. № 9. С. 156–161.
61. Ворон В. П., Коваль І. М., Ткач О. М., Сидоренко С. Г. Зміни радіального приросту в пошкоджені пожежею сосновому деревостані в Західному Поліссі. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Т. 27. № 9. С. 56–59.
62. Ворон В. П., Леман А. В., Стельмахова Т. Ф., Плугатар Ю. В. Пожежі як чинник дестабілізації стану лісів зелених зон міст України. Науковий вісник УкрДЛТУ. 2005. Вип. 15.7. С. 14–25.
63. Ворон В. П., Лещенко В. О., Мельник Є. Є. Залежність виникнення пожеж від типів лісу і деревостанів та їх розвиток після пожеж. Науковий вісник НЛТУ України. 2010. Вип. 20.8. С. 64–71.

64. Ворон В. П., Лещенко В. О., Мельник Є. Є. Порівняльна характеристика тенденцій виникнення пожеж у лісах двох державних підприємств зеленої зони Харкова. Науковий вісник НЛТУ України. 2009. Вип. 19.3. С. 22–28.
65. Ворон В. П., Мельник Є. Є. Тенденції виникнення пожеж у лісах зеленої зони міста Харків. Лісівництво і агролісомеліорація. 2009. Вип. 115. С. 207–214.
66. Ворон В. П., Мельник Є. Є., Сидоренко С. Г. Діагностика пошкодження стовбурів сосни при низових пожежах. Науковий вісник НЛТУ України. 2012. Вип. 22.10. С. 64–68.
67. Ворон В. П., Мельник Є. Є., Сидоренко С. Г. Особливості розвитку сосняків після низових пожеж за різних типів пошкодження дерев. Науковий вісник НЛТУ України. 2011. Вип. 21.13. С. 28–35.
68. Ворон В. П., Мельник Є. Є. Пірогенні зміни продуктивності сосняків зеленої зони м. Харків. Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. Вип. 130. С. 169–178.
69. Ворон В. П., Романенко О. І., Лещенко В. О. Опад і підстилка сосняків середньої течії Сіверського Донця як показник антропогенних змін біокругообігу. Лісівництво і агролісомеліорація. 2009. Вип. 116. С. 231–237.
70. Ворон В. П., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Ткач О. М. Вивчення тенденцій виникнення та пошкодження лісів пожежами в різних природних зонах України. Лісівнича наука в контексті сталого розвитку : матеріали наук. Конф., присвяченої 150-річчю від дня народження академіка Г. М. Висоцького, 90-річчю від дня народження професора П. С. Пастернака та 85-річчю від дня заснування УкрНДІЛГА (Харків, 29–30 вересня 2015 р.). Харків: УкрНДІЛГА, 2015. С. 95–97.
71. Ворон В. П., Сидоренко С. Г. Особенности послепожарного развития сосновых молодняков. Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. трудов ИЛ НАН Беларуси. 2014. Вып. 74. С. 513–523.
72. Ворон В. П., Сидоренко С. Г., Мельник Е. Е., Ткач О. Н. Прогнозирование развития сосняков Украины, поврежденных низовыми пожарами. Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития : материалы междунар. научно-практ. конф. (Гомель, 9–11 октября 2013 г.). Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 2013. С. 9–12.
73. Ворон В. П., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Івашинюта С. В. Особливості розвитку дерев при різних типах пошкодження сосняків після низових пожеж. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2012. № 10. С. 148–154.
74. Ворон В. П., Ткач О. М., Мельник Є. Є. Лісівничо-екологічні особливості виникнення пожеж у лісах Рівненщини. Лісівництво і агролісомеліорація. 2013. Вип. 124. С. 146–153.
75. Ворон В. П., Ткач О. М., Сидоренко С. Г. Особливості пошкодження сосняків пожежами в Поліссі. Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.10. С. 45–50.
76. Ворон В. П., Ткач О. М., Сидоренко С. Г. Тенденції у післяпожежному розвитку сосняків Рівненщини. Лісівництво і агролісомеліорація. 2014. Вип. 125. С. 181–187.
77. Ворон В. П., Ткач О. М., Сидоренко С. Г. Особенности пирогенного повреждения сосняков Полесья в засушливые годы. Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. трудов ИЛ НАН Беларуси. 2017. Вып. 77. С. 413–424.
78. Ворон В. П., Ткач О. М., Сидоренко С. Г. Особливості пошкодження пожежами лісів у Поліссі. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2016. № 14. С. 38–44.

79. Воронин В. И., Шубкин Р. Г., Рыморев М. В. Интенсивные лесные пожары в Байкальском регионе. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 48–49.
80. Воронин В. И., Шубкин Р. Г. Верификация многовековой хронологии лесных пожаров в Байкальском регионе. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 44–46.
81. Гайкова О. М., Михайлова Н. І. Методичні рекомендації щодо зниження небезпеки впливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах / УкрНДІПБ МНС України. К., 2011. 63 с.
82. Гаташ В.Р. На порозі кліматичної катастрофи? // Дзеркало тижня. – 2005. - № 6.
83. Гирс Г. И. Физиология ослабленного дерева. Новосибирск : Наука, 1982. 256 с.
84. Гиряев Д. М. Как уберечь лес от огня. М. : Агропромиздат, 1989. 286 с.
85. Глаголев В. А., Коган Р. М. Модификация региональной шкалы классов пожарной опасности для территории среднего Приамурья (на примере Еврейской автономной области). Региональные проблемы. 2011. Том 14. № 1. С. 48–53.
86. Голубець М. А. Екологічний потенціал наземних екосистем. Львів: Поллі. 2003. – 180 с.
87. Горбатенко В.М., Протопопов В.В. О точности учета фитомассы крон и хвои сосновых древостоев. Лесное хозяйство. – 1971, № 4. – С. 39-41.
88. Горшенин Н. М. Диченков Н. А., Швиденко А. И. Лесная пирология. Львов : Вища школа, 1981. 160 с.
89. Гришин А. М., Зима В. П. Об экспериментальном исследовании низовых лесных пожаров в лабораторных условиях. Сопряженные задачи физической механики и экология : тезисы междунар. совещания-семинара. – Томск, 1994. 207 с.
90. Гришин А. М. Теплофизика лесных пожаров. Томск : Изд-во ТГУ, 1994. 207 с.
91. Гришин А. М., Фильков А. И. Прогноз возникновения и распространения лесных пожаров. Кемерово : Практика, 2005. 201 с.
92. Гром М. М. Лісова таксація. Львів :РВВ НЛТУ, 2010. 416 с.
93. Гуменюк В. В., Голяка Д. М., Зібцев С. В. Вплив низової пожежі на соснові деревостани у зоні Центрального Полісся України. Науковий вісник НЛТУ України. 2015. Вип. 25.9. С. 40–46.
94. Гуменюк В. В. Постпірогенне відновлення соснових лісів Поліського природного заповідника : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.03.03 «Лісознавство і лісівництво». Київ, 2016. 26 с.
95. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж. Вісник ЛДУ БЖД. 2017. № 15. С. 33–38.
96. Доброчаева Д. Н., Котов М. И., Прокудин Ю. Н. и др. Определитель высших растений Украины. К. :Наук. думка, 1987. С. 545 .
97. Доррер Г. А. Модель распространения фронта лесного пожара. Теплофизика лесных пожаров : сб. науч. трудов СО АН СССР / под ред. В. Е. Накорякова. Новосибирск, 1984. С. 86–98.
98. Доррер Г. А., Шаталов П. С., Буслов И. А., Яровой С. В. Создание компьютерных моделей лесных пожаров с использованием алгоритмов LARGE

EDDY SIMULATOR. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 72–73.

99. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Изд. 5-е [перераб. и доп.]. К. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

100. Дюканов В., Дунаев В. Супербізнес ХХІ століття: торгівля повітря. Зміна клімату та міжнародний процес. Дзеркало тижня. – 2007. - № 36.

101. Евдокименко М. Д. Реакция сосны на огневые воздействия в условиях Забайкалья. Лесоведение. 1986. № 6. С. 46–53.

102. Ершов Д. В., Коровин Г.Н., Подольская А.С. Оценка риска возникновения пожаров от молний по данным грозопеленгации. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 52–53.

103. Жила С. В. Оценка и мониторинг послепожарного изменения фитомассы в светлехвойных насаждениях Нижнего Приангарья. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 84–85.

104. Замолотчиков Д. Г., Уткин А. И., Коровин Г. Н. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам. Лесоведение. — 1998. — № 3; 3

105. Зібцев С. В. Стан охорони лісів від пожеж в Україні та головні напрямки його покращення. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2000. Вип. 25. С. 319–328.

106. Зібцев С. В., Савушик М. П. Аналіз сучасної лісопожежної обстановки і стану протипожежної охорони радіаційно-забруднених лісів в зонах безумовного та гарантованого відселення. Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України : Наукові праці Поліської АЛНДС. Житомир : Волинь, 1998. Вип. 5. С. 138–146.

107. Зібцев С. В., Борсук О. А. Охорона лісів від пожеж у світі та в Україні – виклики ХХІ сторіччя та перспективи розвитку. Лісове і садово-паркове господарство. 2012. № 1. С. 49–63.

108. Иванов В. А. Грозаактивность и лесные пожары. Лесные пожары и борьба с ними : сб. научн. трудов. М., 1987. С. 208–217.

109. Иванов В. А. Методологические основы классификации лесов Средней Сибири по степени пожарной опасности от гроз : автореф. дисс. на соискание учен. степени д-ра с.-х. наук : спец. 06.03.03 «Лесоведение и лесоводство; лесные пожары и борьба с ними». Красноярск, 2006. 42 с.

110. Иванова Г. А., Иванов В. А., Фридрих И. Е. Оценка и мониторинг последствий воздействия пожаров на компоненты экосистемы сосняков Средней Сибири. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 95–96.

111. Исаев А. С. Задачи изучения лесов с использованием аэрокосмических средств. Исследование таежных ландшафтов дистанционными методами. Новосибирск : Наука, 1979. С. 3–10.

112. Исаев А. С., Коровин Г. Н. Крупномасштабные изменения в бореальных лесах Евразии и методы их оценки с использованием космической информации. Лесоведение. 2003. № 2. С. 3–9.
113. Исаев А. С. Лиственничные горельники в Амурской области как очаги массового размножения стволовых вредителей. Материалы планово-метод. совещания по защите растений зоны Сибири и Урала. Новосибирск, 1961. С. 207–221.
114. Калинин М. И. Моделирование лесных насаждений (биометрия и стереометрия). Львов : Вища школа, 1978. 207 с.
115. Калинин М. И. Формирование корневой системы деревьев. М. : Лесн. пром-сть, 1983. 152 с.
116. Качинський А. Б., Лавриненко С. І. Порівняльний аналіз стану навколишнього середовища України та окремих держав світу. Стратегічна панорама. 1999. №4. С. 140–149.
117. Кобечинская В. Г., Отурина И. П. Экологические последствия воздействия пожаров на растительный покров горного Крыма. Вопросы биоиндикации и экологии / [ред. колл. В. П. Бессонова и др.]. Запорожье : ЗГУ, 1997. Вып. 2. С. 28–31.
118. Козлов В. Н., Коршун Н. А. Водный аэрозоль для искусственного вызывания осадков на лесных территориях. Лесные экосистемы в условиях меняющегося климата: проблемы и перспективы : материалы Междунар. научно-техн. юбилейной конф., посвященной 100-летию кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства (Воронеж, 21–22 мая 2015 г.). Воронеж, 2015. С. 51–54.
119. Козлов В. Н., Коршун Н. А. Физические и экономические оценки искусственного вызывания осадков для защиты лесов от пожаров. Лесные экосистемы в условиях меняющегося климата: проблемы и перспективы : материалы Междунар. научно-техн. юбилейной конф., посвященной 100-летию кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства (Воронеж, 21–22 мая 2015 г.). Воронеж, 2015. С. 59–62.
120. Конев Э. В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск : Наука, 1977. 239 с.
121. Конев Э. В. Математическая модель горения лишайникового напочвенного покрова. Вопросы лесной пирологии. Отв. ред. Курватский Н. П., Конев Э. В. Красноярск, 1972. С. 52–76.
122. Коровин Г. Н. Самусенко И. Ф., Поломина З. С., Гришман З. М., Вонский С. М., Жданко В. Л. Оценка пожарной опасности в лесу и расчет параметров лесных пожаров на ЭВМ: методические указания. Л. : ЛенНИИЛХ, 1977. 64 с.
123. Коровин Г. Н., Андреев Н. А. Авиационная охрана лесов. М. : Агропромиздат, 1988. 223 с.
124. Косов И. В., Киселяхов Е. К., Рыбников В. Ю. Механизм повреждения древостоя при подстильно-гумусовых пожарах. Ботанические исследования в Сибири. Красноярск : Красноярское отд-ние Рос. бот. о-ва РАН, 2005. Вып. 13. С. 97–101.
125. Косов И. В. Устойчивость хвойных пород к воздействию лесных пожаров : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. с-г. наук : спец. 06.03.03 «Лесоведение и лесоводство; лесные пожары и борьба с ними». Красноярск, 2006. 22 с.
126. Крамер П., Козловський Т. Физиология древесных растений. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 626 с.

127. Краснощеков Ю. Н. Влияние пирогенного фактора на серогумусовые почвы сосновых лесов в центральной экологической зоне Байкальской природной территории. Сибирский лесной журнал. 2014. № 2. С. 43–52.
128. Краснощеков Ю. Н. Влияние пожаров на свойства горных дерново-таежных почв лиственничников Монголии. Почвоведение. 1994. № 9. С. 102–109.
129. Кузик А. Д. Залежність пожежної небезпеки лісових насаджень від локальних лісівничих показників. Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.6. С. 58–63.
130. Кузик А. Д. Значення узлісся у пожежній безпеці лісів. Науковий вісник НЛТУ України. 2011. Вип. 21.07. С. 67–74.
131. Кузик А. Д. Лісотипологічні засади пожежної безпеки лісів. Науковий вісник НЛТУ України. 2009. Вип. 19.14. С. 210–214.
132. Кузик А. Д. Математичне моделювання пожежної небезпеки лісів. Науковий вісник НЛТУ України. 2011. Вип. 21.16. С. 104–112.
133. Кузик А. Д. Оцінювання пожежної небезпеки лісів за умовами погоди. Науковий вісник НЛТУ України. 2011. Вип. 21.01. С. 74–81.
134. Кузик А. Д. Пожежонебезпечні властивості лісових горючих матеріалів. Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.4. С. 214–219.
135. Кузик А. Д., Кучерявий В. П. Вплив метеорологічних чинників на ксерофілізацію лісового середовища та виникнення пожеж. Лісівництво і агролісомеліорація. 2009. Вип. 116. С. 238–244.
136. Кузик А. Д., Попович В. В. Ефективність використання лісових пожежних автомобілів. Пожежна безпека. 2010. № 16. С. 18–25.
137. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Математичне моделювання процесів кондуктивного і радіаційного теплообміну під час пожежі в соснових лісах. Пожежна безпека. 2017. № 30. С. 105–113.
138. Кукавская Е. А., Буряк Л. В., Каленская О. П., Зарубин Д. С. Трансформация напочвенного покрова при низовых пожарах и оценка пирогенной эмиссии углерода в темнохвойных лесах Средней Сибири. Сибирский экологический журнал. 2017. № 1. С. 72–82.
139. Купалова Г. І. Теорія економічного аналізу : навчальний посібник. К. : Знання, 2008. 639 с.
140. Курбатский Н. П. Виды отжига и их применение для локализации лесных пожаров. Вопросы лесной пирологии. : сб. ст. / ред. Н. П. Курбатский, Э. В. Конев. Красноярск, 1972. С. 153–163.
141. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов. Вопросы лесной пирологии. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
142. Курбатский Н. П. Пожарная опасность в лесу и ее измерение по местным шкалам. Лесные пожары и борьба с ними. М. : Изд-во АН СССР, 1963. С. 5–30.
143. Курбатский Н. П. Проблема лесных пожаров. Возникновение лесных пожаров. М. : Наука, 1964. С. 5–60.
144. Куулар Х. Б., Пономарев Е. И., Кызыл-оол В. С. Лесные пожары в горах Тувы и их мониторинг. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 64–66.
145. Лакида П. И. Динамика запасов углерода в лесах Украины: Сб. науч. тр. Проблемы лесоведения и лесоводства. – Гомель, 2001. – Вип. 56. – С. 86–90.

146. Лакида П.І. Фітомаса лісів України: Монографія. – Тернопіль: Збруч, 2002. – 256 с.
147. Лакида П.І. Біопродуктивність лісів Львівщини та її динаміка : моногр. / П.І. Лакида, Г.С. До-машовець. – Корсунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І.С., 2009. – 235 с.
148. Лакида П.І. Методичні аспекти оцінки річного стоку вуглецю в лісових насадженнях / П.І. Лакида // Науковий вісник НАУ. – К.: НАУ, 1998. – № 8. С.221-227
149. Лакида П.І., Швиденко А.З., Щкпаченко Д.Г., Васишин Р.Д., Білоус А.М., Матушевич Л.М. Біотична продуктивність лісів України в європейському екоресурсному вимірі. Біоресурси і природокористування. 2013. 5 (5–6). Р. 99–106.
150. Левченко В. В., Борсук О. А., Борсук А. А. Лісові горючі матеріали : навчальний посібник. К. : НУБіП України, 2015. 237 с.
151. Лещенко В. О. Прямі втрати лісового господарства від пожеж у сосняках державного підприємства «Зміївське лісове господарство». Науковий вісник НЛТУ України. 2009. Вип. 19.8. С. 14–25.
152. Ливайн Д. С., Кейхун Д. Р., Кофер У. Р., Уинстэд Э. Л., Стокс Б. Дж. Пожары в бореальных лесах и выброс парниковых и химически активных газов. Устойчивое развитие бореальных лесов : тр. VII ежегодн. конф. МАИБЛ (19–23.08.1996). СПб : СПБНИИЛХ, 1997. С. 19–25.
153. Лиєпа И.Я. Динамика древесных запасов. Прогнозирование и экология. – Рига: Знатье, 1980. – 180 с.
154. Максимова Е. Ю., Цибарт А. С., Абакумов Е. В. Свойства почв Тольяттинского соснового бора после катастрофических пожаров 2010 г. Почвоведение. 2014. № 9. С. 1131–1144.
155. Маслов А. Д., Матусевич Л. С., Русов Ю. Н., Демаков Ю. П. Развитие очагов стволовых вредителей на гарях 1972 года. Защита леса от вредителей и болезней. М. : ВНИИЛМ, 1980. С. 123–147.
156. Мелехов И. С. Влияние пожаров на лес. М.; Л. Гослестехиздат, 1948. 126 с.
157. Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск, 1947. 60 с.
158. Мельник Є. Є. Прогнозування пожежної небезпеки за умовами погоди в лісах зеленої зони міста Харків. Лісівництво і агролісомеліорація. 2018. Вип. 132. С. 131–140.
159. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды [Электронный ресурс]. Хабаровск, 1998. Режим доступа: <http://method.meteorf.ru/danger/fire/fire.html>.
160. Мешалкин Е. А., Фирсов А. Г., Порошин А. А. Геофизические факторы и обстановка с пожарами в регионах России. Обеспечение организационно-управленческой деятельности государственной противопожарной службы : сб. науч. тр. М. : ВНИИПО, 2000. С. 22–33.
161. Михель В. А. Влияние ведущих факторов на отпад деревьев при низовых пожарах. Труды ДальНИИЛХ. 1984. № 26. – С. 124–129.
162. Молчанов А. А. Влияние лесных пожаров на древостой. Труды Института леса АН СССР / Акад. наук СССР, Ин-т леса. М. :Изд-во АН СССР, 1954. Т. XVI. С. 314–335.
163. Молчанов А. А. Лес и окружающая среда. М. : Наука, 1968. 247 с.
164. М'якушко В.К. Первинна біологічна продуктивність соснових лісів Українського Полісся// Укр. бот. журнал. – 1972, т.29, № 3. – С. 328-339

165. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. М.; Л. : Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
166. Нестеров В. Г. Пожарная охрана леса. М. : Гослестехиздат, 1945. 176 с.
167. Пастернак В.П., Букша І.Ф., Букша М.І., Петраш. Р., Мецко. Ю., Фенич. В.С. 2011. Моделювання продуктивності деревостанів Словацьких та Українських Карпат. Лісовий журнал. №2. К. : "ЕКО-інформ". 58-62
168. Поздняков Л. К. Влияние беглых низовых пожаров на режим влажности и температуру почвы. Лесное хозяйство. 1953. № 4. С. 62–63.
169. Половников Л.І. Вікова динаміка складників біологічної продуктивності фітомаси ялинових ценозів Чорногорки// Укр. бот. журнал. – 1970, т. 27, № 5. – С. 619-624.
170. Пономарев Е. И., Иванов В. А., Коршунов Н. А. Прогнозирование грозовой пожарной опасности на основе данных со спутников NOAA/TOVS. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 233–234.
171. Пономарев Е. И., Сухинин А. И. Комплексная оценка пожарной опасности и прогнозирование энергетических параметров лесных пожаров с использованием геоинформационных баз данных. Вычислительные технологии. 2000. Т. 5. С. 58–68.
172. Пономарев Е. И., Швецов Е. Г., Усатая Ю. О. Методы дистанционной регистрации экстремальных и верховых пожаров Сибири. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 155–156
173. Попова Э. П. Влияние низовых пожаров на свойства лесных почв Приангарья. Охрана лесных ресурсов Сибири. Красноярск : Изд- во ИЛиД СО АН СССР, 1975. С. 166–178.
174. Попова Э. П. Пирогенная трансформация свойств лесных почв Среднего Приангарья. Сибирский экологический журнал. 1997. № 4. С. 413–418.
175. Попова Э. П. Экологическая роль пожаров в почвообразовании. Почвенно-экологические исследования в лесных биогеоценозах / В. Н. Горбачев [и др.]. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1982. С. 119–174.
176. Попович В. В. Ієрархічний метод класифікації пожежної та аварійно-рятувальної техніки для гасіння лісових пожеж в Україні. Пожежна безпека. 2012. № 20. С. 32–37.
177. Правила пожежної безпеки в лісах України [Електронний ресурс] : наказ Держкомлісгоспу України від 27.12.2004 № 278. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05>.
178. Прокопук Ю.С. Біотична продуктивність лісів України в європейському екоресурсному вимірі. Біоресурси і природокористування. 2017 5. (5–6): Р. 99–106.
179. Распопина С. П. Зміни лісорослинних властивостей ґрунтів на згарищах в умовах північного степу. Лісівництво і агролісомеліорація. 2011. Вип. 118. С. 164–169.
180. Родин Е.Л., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. – Л.: Наука, Ленинград. отд., 1968. С. 45.
181. Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.; Л. : Наука, 1965. 254 с.

182. Савченко А. Г. Повреждаемость стволов, скорость и время зарастания огневых травм у деревьев сосны крымской после сильных низовых пожаров. Лесной журнал. 1978. № 3. С. 19–23.
183. Савченко, А. Г. Изучение огнестойкости сосны крымской с целью создания и формирования пожароустойчивых насаждений в Крыму : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. с.- х. наук : спец. 06.03.03. М., 1982. 23 с.
184. Санников С. Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье. Горение и пожары в лесу : материалы совещания. Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1973. С. 236–277.
185. Санников С. Н., Санникова Н. С., Петрова И.В. Естественное лесовозобновление в Западной Сибири (эколого-географический очерк). Екатеринбург : УрО РАН, 2004. 199 с.
186. Санников С. Н., Терехов Г. Г., Санникова Н. С. Противопожарные лесные полосы с барьером из лиственных пород для защиты от верховых пожаров. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 164–166.
187. Сапожников А. П. Классификация пирогенных трансформаций в лесных экосистемах. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 180–181.
188. Сапожников А. П. О некоторых аспектах геохимии пирогенных геосистем. Типологические аспекты изучения поведения веществ в геосистемах. Иркутск, 1973. С. 208–209.
189. Сапожников А. П. О роли пирогенных процессов в формировании лесных биогеоценозов. Итоги научных исследований по лесоведению и лесной биогеоценологии. М., 1973. С. 32–34.
190. Сапожников А. П. Роль огня в формировании лесных почв. Экология. 1976. № 1. С. 43–46.
191. Сверлова Л. И. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учетом поясов атмосферной засухливости и сезонов года. Хабаровск, 2000. 46 с.
192. Свириденко В. Є., Бабіч О. Г., Швиденко А. Й. Лісова пірологія. К. : Агропромвидав України, 1999. 170 с.
193. Сидоренко С. Г., Ворон В. П., Мельник Є. Є., Сидоренко А. Г. Особливості формування стиглих деревостанів після низових пожеж. Лісівництво і агролісомеліорація. 2015. Вип. 127. С. 169–176.
194. Сидоренко С. Г. Постпірогенний розвиток сосняків Лівобережного Лісостепу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.03.03 «Лісознавство і лісівництво». Харків, 2017. 22 с.
195. Скудин В. М., Сухинин А. И., Буряк Л. В., Каленская О. П., Пономарев Е. И. Прогноз последствий пожаров в лесных экосистемах Нижнего Приангарья на основе комплексного ГИС-анализа. Лесное хозяйство. 2010. № 1. С. 36–38.
196. Сосорова С. Б., Меркушева М. Г., Убугунов Л. Л. Пирогенное изменение содержания микроэлементов в почвах и растениях сосновых лесов Западного Забайкалья. Сибирский экологический журнал. 2013. № 5, 661–674.
197. Софронов М. А., Вакуров А. Д. Огонь в лесу. Новосибирск : Наука, 1981. 124 с.

198. Софронов М. А., Волокитина А. В. Рекомендации по охране от пожаров южно-таежных заболоченных лесов Сибири. Красноярск, 2012. 40 с.
199. Софронов М. А., Софронова Т. М., Волокитина А. В. Оценка пожарной опасности по условиям погоды с использованием метеопрогнозов. Лесное хозяйство. 2004. № 6. С. 31–32
200. Софронова Т. М. Разработка мер по совершенствованию оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья : дис. ... канд. с.-х. наук : 03.00.16. Красноярск, 2006. 252 с.
201. Стефин В. В. Антропогенные воздействия на горно-лесные почвы. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1981. 169 с.
202. Сухинин А.И., Буряк Л.В., Пономарев Е.И., Бычков В.А. Геоинформационная система и дистанционные данные применительно к задаче мониторинга нарушенности лесов Нижнего Приангарья. Вестник ТГУ. 2006. № 18. С. 179–185.
203. Сухинин А. И., Конев Э. В. О механизме горения сосновой хвои. Вопросы лесной пирологии. Красноярск, 1972. С. 7–51.
204. Сухомлинова В. В. Динамика температурного градиента между почвой и атмосферой под воздействием пирогенного фактора. Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2013. Т. 6. № 3. С. 86–93.
205. Тарасенко О. А., Мелешенко Р. Г., Мунтян В. К. Підвищення ефективності застосування пожежних літаків Ан-32П при локалізації природних пожеж. Харків : НУЦЗ України, 2016. 108 с.
206. Тарасенко О. А., Мелешенко Р. Г., Мунтян В. К. Практичні рекомендації щодо застосування пожежних літаків Ан-32П при локалізації природної пожежі. Проблеми пожарной безопасности. 2015. Вып. 38. С. 114–122.
207. Ткач В. П., Ворон В. П. Особливості пошкодження соснових насаджень антропогенними чинниками. Лісівництво і агролісомеліорація. 2013. Вип. 123. С. 187–194.
208. Ткач О. М. Тенденції виникнення пожеж у лісах Рівненщини. Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.9. С. 84–89.
209. Товарянський В. І. Підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки в молодих соснових лісах України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.02 «Пожежна безпека». Львів, 2018. 23 с.
210. Товарянський В. І., Кузик А. Д. Дослідження пожежі молодих соснових насаджень. Пожежна безпека. 2016. № 28. С. 113–120.
211. Товарянський В. І., Кузик А. Д. Оцінювання залежності пожежної небезпеки соснових молодняків від віку. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. Вип. 26.5. С. 220–221
212. Товарянський В. І., Кузик А. Д., Петровський В. Л. Взаємозв'язок між температурою та часом до займання хвої молодих соснових насаджень. Пожежна безпека. 2015. № 26. С. 167–171.
213. Токар О. Є., Король М. М., Шпаківська І.М., Дичкевич В.М. Визначення запасів вуглецю у фітомасі лісових насаджень з використанням технологій. Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.4 _ С. 351-358.
214. Трофимов И. Т., Бахарева И. Ю. Особенности послепирогенной трансформации дерново-подзолистых почв юго-западной части ленточных боров Алтайского края. Вестник АГАУ. 2007. № 11 (37). С. 31–34.

215. Усень В. В. Совершенствование системы охраны лесов от пожаров в Республике Беларусь. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 201–202.
216. Усень В. В., Гордей Н. В. Использование нового химического состава «КОМПЛЕКСИЛ» для борьбы с лесными пожарами. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 203–204.
217. Усень В. В. Лесные пожары: последствия и борьба с ними. Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 2002. 206 с.
218. Усень В. В., Каткова Е. Н., Ульдинович С. В. Лесная пирология : учебн. пособ. / М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины; Институт леса НАН Беларуси. Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2011. 264 с.
219. Усень В. В., Чурило В. С. Динамика послепожарного отпада в сосновых насаждениях. Проблемы лесоведения и лесоводства. 2001. Вып. 52. С. 209–214.
220. Усцький І. М., Плугатар Ю. В., Папельбу В. В. Вплив пожеж на ліси та післяпожежний розвиток лісових формацій. Лісівництво і агролісомеліорація. 2008. Вип. 112. С. 182–187.
221. Уткин А. И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. - №5. – С. 3-20.
222. Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Коровин Г. Н. и др. Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов. Лесоведение. — 1997. — № 5
223. Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты). Лесоведения и лесоводство: Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИ. – 1975, т. 1. – С. 9-189; 16.
224. Фрянова К. О., Гербель Д. П. Изменение противопожарного разрыва при верховых лесных пожарах в зависимости от скорости ветра и свойств лесного массива. Материалы Второго Молодежного Экологического Форума (Кемерово, 10–12 июня 2014 г.). Кемерово : ГОУ КузГТУ, 2014. С. 324–328.
225. Фуряев В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск : Наука, 1996. 253 с.
226. Фуряев В. В., Гирс Г. И., Фуряев Е. А. Интенсивность прогрева прикамбиальных тканей сосны обыкновенной при низовых пожарах. Лесоведение. 1976. № 1. С. 82–87.
227. Фуряев В. В., Заблоцкий В. И., Черных В. А., Злобина Л. П. Повышение пожароустойчивости насаждений юго-западного сосново-степного подрайона ленточных боров Алтая. Рекомендации. Барнаул, 2005. 28 с.
228. Фуряев В. В., Киреев Д. М. Изучение послепожарной динамики лесов на ландшафтной основе. Новосибирск : Наука, 1979. 160 с.
229. Цветков П. А. , Буряк Л. В. Исследования природы пожаров в лесах Сибири. Сибирский лесной журнал. 2014. № 3. С. 25–42.
230. Цветков П. А. Устойчивость лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири. Красноярск, 2007. 250 с.

231. Цветков П. А., Кудинов Е. Н. Влияние несплошных рубок на пожароопасность сосняков Красноярской лесостепи. Хвойные бореальной зоны. 2014. Т. 32. № 3–4. С. 74–77.
232. Черневий Ю.І., Третяк П.Р, Приріст старовікових деревостанів та його екологічне значення. Науковий вісник НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.9. С. 70-77.
233. Чорнобай Ю. М. Трансформація рослинного детриту в природних екосистемах. Львів, видавництво ДПМ НАН України, 2000. 352 с.
234. Шахматова Е. Ю., Сылшилова Д. П. Трансформации дерново-подбуров в сосновых лесах Западного Забайкалья под влиянием пожаров. Рациональное использование почвенных и растительных ресурсов в экстремальных условиях. БГСХА, 2012. С. 232–233.
235. Швецов Е. Г., Кукавская Е. А., Буряк Л. В. Спутниковые данные в оценке состояния лесов Забайкальского края после воздействия пожаров Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 220–221.
236. Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г. Климатические изменения и лесные пожары в России. Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.
237. Шевчук В. В., Тимошук І. В. Причини лісових пожеж у Нижньодніпров'ї. Науковий вісник НУБіП України. Сер.: Лісівництво та декоративне садівництво. 2015. Вип. 229. С. 46–55.
238. Шестеркина Н. М., Шестеркин В. П. Влияние пирогенного фактора на сток химических веществ в малых горно-таежных реках Сихотэ-Алиня. Материалы Всерос. конф. «Пожары в лесных экосистемах Сибири», 17–19 сентября 2008 г. Красноярск, 2008. С. 194–196.
239. Шешуков А., Громыко С.А. О влиянии потепления климата на горимость лесов в разных зонально-географических условиях России Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения: Материалы Всероссийской научно- практической конференции с международным участием, Красноярск, 19-23 сент., 2016. Красноярск. – 2016, с. 222 - 224.
240. Шешуков М. А., Громыко С. А. О влиянии потепления климата на горимость лесов в разных зонально-географических условиях России. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 222–223.
241. Шешуков М. А., Позднякова В. В., Пирогова О. А. Создание защитных пожароустойчивых насаждений на территории лесного фонда. Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения : материалы Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 19–23 сентября 2016 г.). Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. С. 224–226.
242. Шешуков М. А., Соловьев В. И., Найкруг И. Б. Влияние некоторых факторов на повреждаемость деревьев пожарами. Горение и пожары в лесу. Красноярск, 1978. С. 176–177.
243. Шешуков М. А. О высоте нагара на стволах при лесных пожарах. Лесное хозяйство. 1967. № 7. С. 55–58.
244. Щетинский Е. А. Организация охраны лесов от пожаров. М. : ВНИИЦ лесресурс, 1993. Вып. 2. 36 с.

245. Юрчук Л. П. Постпірогенні зміни лісових фітоценозів Шацького національного природного парку. Науковий вісник НЛТУ України. 2010. Вип. 20.15. С. 39–42.
246. Яворовський П. П. Лісові пожежі і заходи щодо видалення природних горючих матеріалів у лісових екосистемах. Науковий вісник НУБіП України. Сер.: Лісівництво та декоративне садівництво. 2014. Вип. 198, Ч. 2. С. 71–78.
247. Яворовський П. П. Лісові пожежі і система заходів створення протипожежних заслонів у лісах України. Науковий вісник НУБіП України. Сер.: Лісівництво та декоративне садівництво. 2014. Вип. 198, Ч. 1. С. 62–72.
248. Ahlgren I. F., Ahlgren C. E. Ecological effects of forest fire. *Botanical Review*. 1960. Vol. 26, Iss. 4. P. 484–533.
249. Ahafonov A. F., Alekseev Y. A. Usyihanie chistiyh sosnyakov po pozharis cham . Drying of pure pine on fires. *Forestry*. 1989. № 12. P. 37–39.
250. Alberti G., Peressotti A., Piussi P., Zerbi G. Forest ecosystem carbon accumulation during a secondary succession in the Eastern Prealps of Italy / // *Forestry*. – 2008. – Vol. 81. – No. 1. – P. 1–11.
251. Anderson H. E., Rothermal R. S. Influence of moisture and wind upon the characteristics of free burning fires. Tenth symposium (international) on combustion. TheCombustion Institute, Pittsburgh. Pittsburgh, 1965. P. 1009–1019.
252. Bailey T. G., Davidson N. J., Close D. C. Patterns of soil water repellency in response to coarse woody debris and fire: implications for eucalypt regeneration in dry forests. *Plant and Soil*. 2015. Vol. 397, Iss. 1–2. P. 93–102.
253. Balshi M. S., McGuire A. D., Duffy P., Flannigan M., Kicklighter D. W., Melillo J. Vulnerability of carbon storage in North American boreal forests to wildfires during the 21st century. *Global Change Biology*. 2009. Vol. 15, Iss. 6. P. 1491–1510. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01877.x>.
254. Bond-Lamberty B., Peckrnan S. D., Ahl D. E., Gower S. T. Fire as the dominant driver of central Canadian boreal forest carbon balance. *Nature*. 2007. Vol. 450. P. 89–92. <https://doi.org/10.1038/nature06272>.
255. Byrne K., Milne R. Carbon stocks and sequestration in plantation forests in the Republic of Ireland. *Forestry*. – 2006. – Vol. 79. – No. 4. – P. 361–369.
256. Cook, E.R. and Kairiukstis, L.A. (1990) *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. International Institute for Applied Systems Analysis. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 394 p.
257. Davis K. P. *Forest fire: control and use*. New York ; Toronto ; London : McGraw-Hill Book Co. Inc., 1959. 584 p.
258. De Bano L. F., Conrad C. E. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology*. 1978. Vol. 59. P. 489–497
259. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Forestry Canada Fire Danger Group. Ottawa, 1992. 63 p.
260. Dieterich J. H. Recovery potential of fire-damaged southwestern ponderosa pine. Research Note RM-379. Fort Collins, CO : USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 1979. 8 p.
261. Dixon R.K., Brown S., Houghton R.A., Solomon A.M., Trexler M.S., Wishnewski J. (1994). Carbon pools and flux of Global forest ecosystems. *Science*, 263: 185–190.

262. Eivazi F., Bayan M. R. Effects of long-term prescribed burning on the activity of select soil enzymes in an oak-hickory forest. *Can. J. For. Res.* 1996. Vol. 26. P. 1799–1804.
263. European Commission, Joint Research Centre, Forest Fires in Europe 2007. Report No 8 [Electronic resource]. Available from: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/effis-news/1-news/72-forest-fires-in-europe-2007>.
264. Fowler J. F., Sieg C. H. Postfire mortality of ponderosa pine and douglas-fir: a review of methods to predict tree death. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-132. Fort Collins, CO : USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2004. 25 p.
265. Fritze H., Pennanen T., Pietikainen J. Recovery of soil biomass and activity from prescribed burning. *Can. J. For. Res.* 1993. Vol. 23. P. 1286–1290.
266. Furyaev V.V., Tsvetkov P.A., Furyaev I.V.. Pozharoustoychivost sosnovyih lesov Evrazii v ekstremalnyie pozharoopasnyie sezonyi. Flammability of pine forests of eurasia in extreme fire seasons. *Hvoynnye borealnoy zonyi. Coniferous boreal zone.* 2017. 35 (3-4), P. 68-73.
267. Giglio L., Schroeder W., Justice Ch. O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment.* 2016. Vol. 178. P. 31–41. DOI: 10.1016/j.rse.2016.02.054.
268. Groot W. J., Cantin A. S., Flannigan M. D., Soja A. J., Gowman L. M., Newbery A. A comparison of Canadian and Russian boreal forest fire regimes. *Forest Ecology and Management.* 2013. Vol. 294. P. 23–34.
269. Guo D. L., Mitchell R. J., Withington J. M., Fan P., Hendricks J. J. Endogenous and exogenous controls of root lifespan, mortality and nitrogen flux in a longleaf pine forest: root branch order predominates. *Journal of Ecology.* 2008. Vol. 96, Iss. 4. P. 737–745. Available from: <http://www.jstor.org/stable/20143516>.
270. Harmon M. E. Survival of trees after low-intensity surface fires in Great Smoky Mountains National Park. *Ecology.* 1984. Vol. 65, Iss. 3. P. 796–802.
271. Harrison A. F. ,Howard P. J. , Howard D. M. , Howard D. C.,Hornung M. Carbon storage in forest soils. *Forestry.* – 1993. – Vol. 68. – No. 4. – P. 335–348.
272. Hood S. M. Smith S. L., Cluck D. R. Delayed conifer tree mortality following fire in California. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-203. Albany, CA, USA, 2007. P. 261–283.
273. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Program; Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds). IGES, Japan, 2006.
274. Ivanova G. A., Conard S. G., Kukavskaya E. A., McRae D. J. Fire impact on carbon storage in light conifer forests of the Lower Angara region, Siberia. *Environmental Research Letters.* 2011. Vol. 6, Iss. 4. 045203. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045203.
275. Jesús San-Miguel-Ayanz, Tracy Durrant, Roberto Boca, Giorgio Libertà, Alfredo Branco, Daniele de Rigo, Davide Ferrari, Pieralberto Maianti, Tomàs Artés Vivancos, Duarte Oom, Hans Pfeiffer, Daniel Nuijten, Thaïs Leray. *Forest Fires in Europe. Middle East and North Africa 2018.* EUR 29856 EN, ISBN 978-92- 76-11234-1, doi:10.2760/1128.
276. Johnston M., Elliott J. The effects of fire severity on ash, and plant and soil nutrients levels following experimental burning in a boreal mixedwood stand. *Can. J. Soil Sci.* 1998. Vol. 78. P. 35–14.
277. Kasischke E. S., Christensen N. L., Stocks B. J. Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests. *Ecol. Appl.* 1995. Vol. 5. P. 437–451.

278. Kasischke E. S., Hoy E. E. Controls on carbon consumption during Alaskan wildland fires. *Glob. Change Biol.* 2012. Vol. 18, Iss. 2. P. 685–699. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02573.x>.
279. Kaufman Y. J., Kleidman R. G., King M. D. SCAR-B fires in the tropics: Properties and remote sensing from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research.* 1998. Vol. 103, Iss. D24. P. 31955–31968. <https://doi.org/10.1029/98JD02460>.
280. Kozlowski T. T., Ahlgren C. E. (eds.). *Fire and ecosystems*. Academic Press, New York-San Francisco-London, 1974. 556 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-424255-5.X5001-9>.
281. Krylov A., McCarty J. L., Potapov P., Loboda T., Tyukavina A., Turubanova S., Hansen M. C. Remote sensing estimates of stand-replacement fires in Russia, 2002–2011. *Environmental Research Letters.* 2014. Vol. 9, 105007. P. 1–8.
282. Kutiel P., Shaviv A. Effects of soil type, plant composition and leaching on soil nutrients following a simulated forest fire. *Forest Ecology and Management.* 1992. Vol. 53. P. 329–343.
283. Lakida P. Forest Phytomass Estimation for Ukraine / WP — 96 — 96. — Laxenburg, IIASA, 1996. — 75 p.
284. Langner A., Siegert F. Spatiotemporal fire occurrence in Borneo over a period of 10 years. *Glob. Change Biol.* 2009. Vol.15, Iss. 1. P. 48–62. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01828.x>.
285. Lauvaux C. A., Skinner C. N., Taylor A. H. High severity fire and mixed conifer forest-chaparral dynamics in the southern Cascade Range, USA. *Forest Ecology and Management.* 2016. Vol. 363. P. 74–85.
286. Le Goff H., Girardin M. P., Flannigan M. D., Bergeron Y. Dendroclimatic inference of wildfire activity in Quebec over the 20th century and implications for natural disturbance-based forest management at the northern limit of the commercial forest. *International Journal of Wildland Fire.* 2008. Vol. 17. P. 348–362.
287. Liepa I, L.Abolina. The method of assessment of the balance of atmospheric O₂ and CO₂ in a forest. - *Baltic Forestry*, 1997, vol.3, N 1, pp. 15-17.
288. Liu W., Wang X., Lu F., Ouyang Zh. Influence of afforestation, reforestation, forest logging, climate change, CO₂ concentration rise, fire, and insects on the carbon sequestration capacity of the forest ecosystem. *Acta Ecologica Sinica.* 2016. Vol. 36, Iss 8. P. 2113–2122. DOI: 10.5846/stxb201411022143.
289. Lynham T. J., Wickware G. M., Mason J. A. Soil chemical changes and plant succession following experimental burning in immature jack pine. *Can. J. Soil Sci.* 1998. Vol. 78. P. 93–104.
290. Macadam A. M. Effects of broadcast slash burning on fuel and soil chemical properties in the Sub-boreal Spruce Zone of central British Columbia. *Can. J. For. Res.* 1987. Vol. 17. P. 1577–1584.
291. McHugh C. W., Kolb T. E. Ponderosa pine mortality following fire in northern Arizona. *International Journal of Wildland Fire.* 2003. Vol. 12, Iss. 1. P. 7–22.
292. Menges E. S., Deyrup M. A. Postfire survival in south Florida slash pine: interacting effects of fire intensity, fire season, vegetation, burn size, and bark beetles. *International Journal of Wildland Fire.* 2001. Vol. 10, Iss. 1. P. 53–63.
293. *Methods of Dendrochronology – Applications in the Environmental Sciences* (1990) Edward R. Cook and Leonardas A. Kairiukstis (editors). – Dordrecht, the Netherlands : Kluwer Academic Publishers and International Institute for Applied Systems Analysis – 394 p.

294. Mingteh Chang. Forest hydrology: an introduction to water and forests / Chang Mingteh // Second edition – Boca Raton, FL, CRC Press Taylor & Francis Group, 2006. P.474 .
295. Morton D. C., Defries R. S., Randerson J. T., Giglio L, Schroeder W., VanDerWerf G. R. Agricultural intensification in creases deforestation fire activity in Amazonia. Glob. Change Biol. 2008. Vol. 14, Iss. 10. P. 2262–2275. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01652.x>.
296. Netsvetov M. The climate to growth relationships of pedunculate oak in steppe /M. Netsvetov, M. Sergeyev, V. Korniyenko, Yu.Prokopuk. The climate to growth relationships of pedunculate oak in steppe. Dendrochronologia, Volume 44, 2017, pp. 31–38.
297. O'Brien J. J., Hiers J. K., Mitchell R. J. Varner J. M., Mordecai K. Acute physiological stress and mortality following fire in a long-unburned longleaf pine ecosystem. Fire Ecology. 2010. Vol. 6, Iss. 2. P. 1–12.
298. Ozyigit F., Wilson C. Forestry and forest fire in Turkey. Fire Management Notes. 1976. Vol. 37, Iss. 2. P. 42–43.
299. Pinard M. A., Huffman J. Fire resistance and bark properties of trees in a seasonally dry forest in eastern Bolivia. Journal of Tropical Ecology. 1997. Vol. 13, Iss. 5. P. 727–740.
300. Regelbrugge J. C., Conard S. G. Modeling tree mortality following wildfire in Pinus ponderosa forests in the central Sierra Nevada of California. International Journal of Wildland Fire. 1993. Vol. 3, Iss. 3. P. 139–148. DOI: 10.1071/WF9930139.
301. Roy D. P., Kumar S. S. Multi-year MODIS active fire type classification over the Brazilian Tropical Moist Forest Biome. International Journal of Digital Earth. 2017. Vol. 10, Iss. 1. P. 54–58. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1208686>.
302. Rozas Vicente Tree age estimates in *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*: testing previous and improved methods // Plant Ecology 167: 193–212, 2003.
303. Ryan K. C., Reinhardt E. D. Predicting postfire mortality of seven western conifers. Can. J. For. Res. 1988. Vol. 18, Iss. 10. P. 1291–1297.
304. Santana V. M., Gonzalez-Pelayo O., Maia P., Varela T. M. E., Valdecantos M., Vallejo A., Keizer J. J. Effects of fire recurrence and different salvage logging techniques on carbon storage in Pinus pinaster forests from northern Portugal. European Journal of Forest Research. 2016. Vol. 135, Iss. 6. P. 1197–1117. DOI: 10.1007/s10342-016-0997-0.
305. Saveland J. M., Neuenschwander L. F. A signal detection framework to evaluate models of tree mortality following fire damage. Forest Science. 1990. Vol. 36, Iss. 1. P. 66–76.
306. Sieg C. H., McMillin J. D., Fowler J. F., Allen K. K., Negron J. F., Wadleigh L. L., Anhold J. A., Gibson K. E. Best predictors for postfire mortality of ponderosa pine trees in the Intermountain West [Electronic resource]. Forest Science. 2006. Vol. 52, Iss. 6. P. 718–728. <https://doi.org/10.1093/forestscience/52.6.718>.
307. Somogyi Z., Cienciala E., Makipaa R., Mukkonen P., Leonten A., Weiss P. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. 2007. Eur. J. Forest Res., 126. P. 197–207.
308. Stephens S. L., Finney M. A. Prescribed fire mortality of Sierra Nevada mixed conifer tree species: effects of crown damage and forest floor combustion. Forest Ecology and Management. 2002. Vol. 162, Iss. 2–3. P. 261–271.
309. Sydorenko, S. H.. Postpiroheny rozvytok sosniakiv Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy. Postpyrogenic growth of Scots pine stands in the Left-bank Forest-

Steppe of Ukraine. Avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. s.-h. nauk. Extended abstract of PhD dissertation. Kharkiv. 2017, P. 22.

310. Sydorenko, S.G., Liubchych A. M.. Prohnozuvannia postpirohennoho vidpadu v sosniakakh, poshkodzhenykh litnimy nyzovymy pozhezhamy, u Livoberezhnomu Lisostepu Ukrainy. Postfire tree mortality modelling for pine stands damaged by summer surface fires in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Forestry and Forest Melioration 2019, 135 P. 157–162.

311. Szczygiel R., Ubysz B., Kwiatkowski M., Piwnicki J. Klasyfikacja zagrozenia pozarowego lasow Polski. Us. pr. bad. 2009. Vol. 70, Iss. 2.P. 131–141.

312. Thies W. G., Westlind D. J., Loewen M. Season of prescribed burn in ponderosa pine forests in eastern Oregon: impact on pine mortality. International Journal of Wildland Fire. 2005. Vol 14. P. 223–231.

313. Van Wagner Ch. E.. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Ottawa, 1987. 37 p.

314. Varner J. M., Putz F. E., O'Brien J. J., Hiers J. K., Mitchell R. J., Gordon D. R. Post-fire tree stress and growth following smoldering duff fires. Forest Ecology and Management. 2009. Vol. 258. P. 2467–2474.

315. Zibtsev S. Ukraine forest fire report 2010. International Forest Fire News (IFFN). 2010. No 40. P. 61–75.

Наукове видання

**Ворон В.П., Коваль І.М., Сидоренко С.Г., Мельник Є.Є., Ткач О.М.,
Борисенко В.Г., Тимошук І.В., Бологов О.Ю.**

ПРОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ СОСНЯКІВ УКРАЇНИ

(Українською мовою)

Підписано до друку 15 липня ,2021 р. Формат 60х90/16

Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний.

Друк – цифровий. Ум. Друк. Аркушів 17,88

Наклад 100 прим. Зам. № 74

Видавець ТОВ «ПЛАНЕТА-ПРІНТ»

вул. Багалія, 16, м. Харків, 61002,

свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4568 від 17.06.2013.

Виготовлювач ФО-П Черняк Л. О.

61002, м. Харків, вул.. Багалія, 16

Свідоцтво № 24800000000079553, від 16.05.2007 р.

