

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології

Кафедра експлуатації лісових ресурсів та
деревообробних технологій

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

КОРДИШ ВАДИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 630*435(477.42)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ У ПОСТПРОГЕННИЙ ПЕРІОД В УМОВАХ

ДП «ЛУГІНСЬКЕ ЛГ»

205 Лісове господарство

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних наукових досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

_____ В.О. Кордиш

Керівник роботи

Кратюк Олександр Леонідович

кандидат біологічних наук, доцент

АНОТАЦІЯ

Кордиш В.О. Закономірності зміни електрофізіологічних показників сосни звичайної у постпірогенний період в умовах ДП «Лугинське ЛГ». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 205 – лісове господарство. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

У магістерській роботі проведено лісівничо-таксаційну характеристику соснових деревостанів у епіцентрі лісової низової пожежі. Встановлено зміни діелектричних показників модельних дерев сосни звичайної уражених лісовою пожежею за висотою стовбура. Досліджено залежність між електрофізіологічними показниками дерев сосни звичайної та інтенсивністю лісової пожежі на різних висотах в межах осередку горіння. Виявлено закономірності просторово-часової зміни поширення лісової пожежі на основі висотної градації поляризаційної ємності та імпеданса стовбура дерев сосни звичайної. Розроблено методи діагностики та прогнозування зміни життєвого стану дерев сосни звичайної, пошкоджених низовими пожежами.

Ключові слова: лісові пожежі; поляризаційна ємність; імпеданс; *Pinus sylvestris*; ДП «Лугинське ЛГ».

ANNOTATION

Kordysh V.O. Regularities of change of electrophysiological indicators of Scots pine in the post-pyrogenic period in the conditions of SE «Lugyny forestry» – Qualifying work on the rights of the manuscript.

Qualification work for the master's degree in specialty 205 – Forestry. – Polissia National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis the forestry-assessment characteristic of pine stands in the epicenter of the forest grassland fire is carried out. Changes in the dielectric parameters of model pine trees affected by forest fires at the height of the trunk have been established. The relationship between the electrophysiological parameters of Scots pine trees and the intensity of forest fires at different heights within the combustion center has been studied. Regularities of spatio-temporal change of forest fire distribution on the basis of height gradation of polarization capacity and impedance of pine tree trunk are revealed. Methods for diagnosing and predicting changes in the living condition of Scots pine trees damaged by grassroots fires have been developed.

Key words: forest fires, capacitance polarization, impedance, *Pinus sylvestris*, SE «Lugyny forestry»

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА ЛІСОВІ ЕКОСИСТЕМИ	8
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	14
2.1. Район проведення робіт	14
2.2. Методологічні аспекти дослідження	16
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ	19
3.1. Визначення поляризаційної ємності	19
3.2. Зміна імпеданса соснових деревостанів	30
ВИСНОВКИ	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35
ДОДАТКИ	41

ВСТУП

Актуальність теми. Функціонування лісових біогеоценозів нерозривно пов'язано з вогнем. Вогонь, як руйнівний чинник, який найбільше поширений у природі, упродовж тривалого еволюційного розвитку лісів створював у них умови для утворення та закріплення механізмів лісовідтворення такого типу, які б могли забезпечити успішне відновлення лісових екосистем та їх процвітання у майбутньому. Для кожного лісового регіону характерні свої особливості виникнення, поширення пожеж та ступеня їх впливу на лісові біогеоценози, окрім того, особливості лісовідновного процесу у кожному районі також визначаються лісо рослинними умовами. Все це у великій мірі впливає на ступінь пірогенного впливу на лісові насадження. Вивчення особливостей таких змін стануть основою прогнозування розвитку лісових систем у постпірогенний період.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи було дослідження впливу інтенсивності низової лісової пожежі на діелектричні показники сосни звичайної в умовах Повчанського лісництва ДП «Лугинський лісгосп».

Для досягнення мети передбачалось виконання наступних завдань:

1. Здійснити лісівничо-таксаційну характеристику соснових деревостанів у епіцентрі лісової низової пожежі.
2. Встановити зміни діелектричних показників модельних дерев сосни звичайної уражених лісовою пожежею за висотою стовбура.
3. Дослідити залежність між електрофізіологічними показниками дерев сосни звичайної та інтенсивністю лісової пожежі на різних висотах в межах осередку горіння.
4. Виявити закономірності просторово-часової зміни поширення лісової пожежі на основі висотної градації поляризаційної ємності та імпеданса стовбура дерев сосни звичайної.

5. Розробити методи діагностики та прогнозування зміни життєвого стану дерев сосни звичайної, пошкоджених низовими пожежами.

Об'єктом досліджень є деревостани сосни звичайної в осередку лісової пожежі.

Предметом досліджень є закономірності зміни діелектричних показників сосни звичайної у постпірогенний період.

Методи дослідження: лісівничо-таксаційні (для характеристики соснових деревостанів), електрофізіологічні (для визначення активного опору та поляризаційної ємності), екологічні (для встановлення закономірностей зміни фітоценозів у постпірогенний період), математико-статистичні (для статистичної обробки отриманих вимірювань).

Публікації:

Кратюк О.Л., Бовсуновський М.П., Бабич М.М., **Кордиш В.О.** Використання електрофізіологічних показників для визначення життєвого стану дерев сосни звичайної. *Наукові читання – 2020*. Житомир: Житомирський національний агроекологічний університет, 2020. С. 41–42.

Кордиш В.О. Особливості впливу низової пожежі на діелектричні показники сосни звичайної в умовах Повчанського лісництва ДП «Лугинське лісове господарство». *Студентські наукові читання – 2021*. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої I туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт на факультеті лісового господарства та екології Поліського національного університету (25 січня 2021 року, м. Житомир). Житомир, 2021. С. 12–13.

Кратюк О.Л., **Кордиш В.О.**, Лисогор С.М., Осипчук В.М. Використання діелектричних показників для визначення життєздатності дерев сосни звичайної та берези повислої у результаті механічного пошкодження стовбура. *Сучасні проблеми лісового господарства та екології: шляхи вирішення (Факультету лісового господарства та екології – 20 років)*. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (7-8 жовтня 2021 р, м. Житомир). Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 94–95.

Практичне значення. Вперше для умов Повчанського лісництва ДП «Лугинське лісове господарство» встановлено особливості ушкодження дерев сосни звичайної в епіцентрі низової лісової пожежі на основі електрофізіологічних показників.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота представлена на сорока сторінках друкованого тексту і включає вступ, 3 розділи, висновки, список використаних джерел (сорок п'ять посилань) та додатки. Кваліфікаційна робота містить чотири таблиці, вісім рисунків та п'ять фото.

РОЗДІЛ 1

ВПЛИВ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА ЛІСОВІ ЕКОСИСТЕМИ

Загалом, лісові пожежі виконують надважливі функції у підтриманні гомеостазу деяких екосистем, проте у результаті зміни клімату та господарської діяльності людини пожежі все частіше становлять серйозні виклики для лісових біогеоценозів та їх біорізноманіття [45]. Пожежі за своєю природою діють вибірково: для одних груп організмів вони виявляються лімітуючими чинниками, а на інших цей вплив майже не відбивається. Це створює умови для життя та еволюційного розвитку високотолерантних до пожеж організмів [15], яких усе частіше починають називати постпірофітними організмами. Їх вивчення виявляє різні екологічні, пірогенні, біологічні та лісівничі системи, між якими відбуваються складні взаємовідносини. Існують різноманітні методи вивчення природних та біологічних процесів впливу пожеж на лісові насадження. Традиційними науковими моделями є раціонально-логістичні, які формуються з активним використанням евристичного мислення (евристично-логічні моделі). Вони створюються на основі уявлень вчених про структуру та особливості функціонування об'єкту дослідження. Вони будуються таким чином, щоб кількісні показники та динаміка зміни компонентів у просторі і часі у більшій чи меншій мірі співпадала з реальними параметрами системи. У подальшому, під час екстраполяції на інші об'єкти параметри у складених рівняннях підбирають по новому.

Важливим елементом є моделювання поведінки до, під час та після лісової пожежі. Інформаційною основою створення лісопірологічної системи та проектування протипожежних профілактичних заходів є лісівничо-таксаційні та картографічні матеріали лісовпорядкування. Дані лісовпорядкування – це найбільш точна інформація про лісові насадження.

Вивченню постпірогенних станів лісових насаджень присвячена значна кількість публікацій, як вітчизняних так і зарубіжних науковців [6, 31, 37, 41, 42].

«Правила пожежної безпеки в лісах України» дають таке визначення лісовій пожежі – «це стихійне розповсюдження вогню територією лісового фонду» [34]. Згідно цього ж нормативного документу, пожежі можна класифікувати за різними критеріями, а саме: за видами: низові, верхові, підземні (торф'яні), також за інтенсивністю: слабкої сили, середньої сили та сильні [34]. Характерною особливістю низової пожежі є її поширення по надґрунтовому покриву, верхова ж пожежа передається по кронах та стовбурах верхніх ярусів лісових насаджень, підземна – в глибинних шарах торфу. Інтенсивність лісової пожежі залежить від стану та запасу горючих природних матеріалів, похилу навколишньої місцевості, періоду доби та сезону і, особливо, від сили та напрямку вітру [30].

Лісові пожежі впливають на всі компоненти лісових екосистем, у тому числі на деревостан, як безпосередньо під час горіння, так і опосередковано упродовж тривалого періоду після пожежі. Основними горючими матеріалами під час пожежі у лісі є сукупність органічної маси, переважно рослинного походження та їх мертві частини. Фітомаса деревостану вносить значний вклад у накопичення лісової підстилки, яка є чудовим провідником процесів горіння та горючим матеріалом під час низових пожеж. Частини крони дерев (хвоя та дрібні гілочки) активно беруть участь у процесі горіння під час верхової пожежі. Загальновідома залежність між об'ємом фітомаси деревостану та їх біометричними характеристиками, що досить суттєво при розумінні явища горіння у лісових насадженнях.

Наразі розроблена ціла низка різноманітних моделей, які описують окремі наслідки пожеж для лісових насаджень різних регіонів [4].

До біотичних чинників, які досить суттєво впливають на постпірогенний розвиток соснових насаджень, належить низка хвороб та шкочочинних комах. Найбільш агресивними видами, зокрема для лісових

насаджень Лівобережного Лісостепу, ослаблених низовими пожежами є: шестиzubий короїд – 45,0 %; малий сосновий лубоїд – 42,0 %; короїд верхівковий – 25,0 %; чорний сосновий усач – 10,0 %; синя соснова златка – 10,0 %. такі показники отримано за частотою їх виявлення у лісових насадженнях. Відомо, що шестиzubий короїд заселяє нижню третину стовбура і це не залежить від часу від пожежі: як у перший рік, так і у наступні. Короїд верхівковий заселяє верхні частини дерева, які відзначаються тонкою корою. Великий та малий соснові лубоїди оселяються відповідно у верхній та нижній частинах стовбура [13].

Кормова база для стовбурових шкідників у лісових насадженнях пройдених лісовими пожежами є найбільш ушкоджені дерева, тобто негативний вплив вогню на які був найбільшим. Прикметно, що стовбурні шкідники можуть дозволити собі заселення лише дуже ослаблених дерев, які уже не здатні себе захистити від їх проникнення. Алгоритм їх заселення наступний, спочатку всихаючі дерева (п'ятий клас санітарного стану), далі сильноослаблені і зрештою вони переходять до ослаблених дерев [13].

Ще однією характерною особливістю визначення життєздатності лісових насаджень після лісових пожеж є висота розповсюдження та потужність нагару. Проте вітчизняні лісівники-дослідники Кобечинска В.Г. та Отуріна І.П. [14] відзначають, що висота нагару на деревах не обов'язково є головним критерієм загибелі ураженого деревостану. За їх даними на території Криму, на ділянках з однаковою висотою поширення нагару та різного ступеня обвуглення та руйнування провідних тканин (камбію) частка дерев сосни звичайної, які всихають, дуже змінюється. Так, на висоті нагару у 2,6 метра та руйнуванні камбію на близько 30,0–40,0 % довжини стовбура – усихають лише 10,0 % дерев. Уже при пошкодженні понад 80,0 % довжини стовбура та при такій самій висоті нагару – гинуть уже 90,0–100,0 % лісових насаджень [14].

Слід зазначити, що згадані автори (Кобечинска В.Г. та Отуріна І.П.) не наводять застосованої ними методики вимірювання «руйнування камбію» та

критеріїв для визначення рівнів пошкодження. Відомо, що прямий відбір зразків провідних тканин на модельних деревах для оцінки його стану забезпечує досить високу точність створеного прогнозу, проте для застосування у виробництві він непридатний через надмірну трудомісткість. Прикамбіальні шари стовбура це фізіологічно надактивні ділянки, які також використовують для вимірювання діелектричних показників [27], а також біопотенціалів.

Між висотою нагару на деревах та висотою полум'я лісової пожежі встановлено пряму достовірну залежність на 95% рівні значимості [1, 14]. Отже, маючи середню висоту нагару на стовбурах ушкоджених дерев доволі легко можна класифікувати інтенсивність лісової низової пожежі, встановивши на основі висоти нагару середню висоту полум'я в осередку пожежі.

Відомо, що процеси постпірогенного відпаду дерев мають різну тривалість. Після пожеж слабої та середньої інтенсивності процеси відпаду у соснових насадженнях завершуються через п'ять років, а після пожеж високої інтенсивності процеси природного відпаду тривають до семи років і більше [4]. У середньовікових соснових насадженнях лишайниково-зеленомохових під час пожеж різної інтенсивності основний відпад дерев після пожеж відбувається у перші два-три роки. При цьому упродовж першого року відпадає до 90,0% від усіх ушкоджених дерев, які ідуть у відпад після пожежі високої інтенсивності, до 75,0% – ідуть у відпад після пожежі середньої інтенсивності, до 70,0% – ідуть у відпад після пожежі низької інтенсивності. У наступні роки величина відпаду суттєво зменшується, що залежить від багатьох чинників [3].

Сосна звичайна є головною лісоутворюючою породою на території Українського Полісся. Насадження сосни звичайної становлять близько третини Лісового фонду нашої країни. Статистика твердить, що понад 90,0 % загальної кількості зафіксованих пожеж припадає на соснові насадження [5]. У порівнянні з листям, температура загоряння навіть свіжозірваних шпильок

(хвоїнок) сосни звичайної є набагато меншою, завдячуючи високому вмісту в них горючих речовин таких як скипидар та живиця [28]. Механізми такого впливу досить складні і залежать від регіональних особливостей [19-21].

Сосна звичайна відноситься до вогнелюбовних видів. Вона здатна зберігати та розширювати свій ареал в умовах постійних пірогенних сукцесій. Завдяки своїм пірогенним властивостям, таким як висока вогнестійкість та висока спроможність до успішного поновлення на згарищах [12]. Гирс Г.И. [9] відносить сосну звичайну до найбільш вогнестійких деревних порід. Проте, незважаючи на такі властивості, щорічно знищуються або суттєво пошкоджуються цілі лісові масиви соснових насаджень.

Стійкість лісових насаджень до пожеж (пожежостійкість) визначається цілою низкою як абіотичних так і біотичних чинників. Не останню роль тут відіграє система профілактичних заходів та комплекс лісгосподарських робіт, які проводяться в лісових біогеоценозах [29, 34, 39, 43, 44].

Крім уже перерахованих, низові пожежі призводять ще і до таких наслідків як: погіршення життєвого стану дерев, сповільнення фізіологічних процесів, зниження інтенсивності плодоношення [16], зміна структури трав'яно-чагарничкової та чагарникової рослинності, шляхом зменшення загальної чисельності видів, зміна структури опаду та підстилки у результаті її вигорання та перехід на інший структурний рівень та ін. [17].

Моніторинг постпірогенного стану лісових насаджень спрямований на встановлення ступеня їхнього пошкодження лісовими пожежами різними вражаючими елементами та враховуючи не стільки відмерлі під час пожежі дерев, а і за критеріями життєвості (в межах фізіологічних процесів) ушкоджених дерев.

Мозолевская Є.Г. запропонувала як інтегральний показник використовувати індекс стану лісового насадження (I_c). За його допомогою можна проаналізувати як статичні процеси, так і динаміку ослаблення та втрату екосистемної стійкості лісових біогеоценозів [32].

Важливим елементом вивчення постпірогенних змін лісових насаджень є визначення динаміки та об'єму відпаду. За результатами дослідження Молчанова А.А. [33] встановила, що на динаміку та показники постпірогенного відпаду у лісі сильно впливають наступні чинники: лісівничо-таксаційні показники (висота деревостану та підросту, відносна повнота насадження), пірогенні показники (відносна висота нагару чи відношення абсолютної висоти нагару до загальної висоти деревостану) та фізіологічні (товщина кори дерев на різних висотах стовбура).

Усеня В.В. з колегами у своїх публікаціях [38] зазначають, що величина постпірогенного відпаду у деревостані напряму залежить від інтенсивності самої пожежі або від середньої висоти нагару на стовбурах дерев та обернено – від середнього діаметра деревостану.

У перспективі, під час вивчення цих питань більш детально слід вивчати відпад різних деревних порід за ступенями їх товщини, залежно від висоти нагару. Це дасть змогу, завдяки своєчасному проведенню комплексу необхідних, зокрема і лісогосподарських заходів, значною мірою знизити збитки після лісових пожеж [31, 40].

Під впливом лісових пожеж відбувається перерозподіл фіто маси між живим пологом та мортмасою, проте дослідження, пов'язані з оцінкою трансформації фіто маси деревостанів під дією лісових пожеж у науковій літературі трапляються не часто.

У межах Центрального Полісся вплив низових пожеж на лісові насадження вивчали Гуменюк В.В [10-12] та Фещенко В.П. [41, 42].

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Район проведення робіт

Повчанське лісництво належить до складу ДП «Лугинське лісове господарство». Загальна площа лісництва складає 4875,6 га. Воно розділено п'ять лісових обходів об'єднаних у дві майстерські дільниці.



Рис. 2.1. Територія електрофізіологічних досліджень

У травні 2020 року на території лісових насаджень Повчанського лісництва ДП «Лугинське лісове господарство» сталася низова пожежа. Площа цієї пожежі становила 46,6 га. Епіцентром загорання стали землі Повчанської сільської ради, вогонь з яких перекинувся на лісові насадження 46 квартала та частково 45 кварталу. Причина загорання не була встановлена. Пожежу ліквідували силами лісової охорони

Комплексне лісгосподарське районування визначає територію Повчанського лісництва у межах Українського Полісся, а точніше – Центрально-Поліський округ лісгосподарської області Полісся [7, 8]. Повчанське лісництво відповідно до загальноприйнятих критеріїв комплексного фізико-географічного районування території України належить до центральної фізико-географічної зони мішаних лісів Українського Полісся фізико-географічної країни Східно-Європейська рівнина.

Фізико-кліматичні та природничі умови сприяють веденню лісового господарства на території Повчанського лісництва.

Пересічний рельєф Повчанського лісництва нагадує помірно-хвилясту рівнину із загальним ухилом на північний схід з наявністю горбів (у народі цю місцевість називають «Козлові гори») та невеликих западин у басейні річки Жерев. Ці геоморфологічні структури завдячують своєю появою роботі льодовика, а також постгляціальними процесами.

Переважаючою та ландшафтоформуючою лісотвірною породою, що домінує у межах Повчанського лісництва ДП «Лугинське лісове господарство» є сосна звичайна (*Pinus sylvestris*). Частка площі соснових насаджень у лісництві становить близько 85%. Серед інших деревних порід незначні площі займають біогеоценози берези повислої (*Betula pendula*) та вільхи чорної (*Alnus glutinosa*), а також дуже незначні у складі змішаних насаджень дуба звичайного (*Quercus robur*) [35].

Згідно матеріалів лісовпорядкування у ДП «Лугинське лісове господарство» домінують соснові насадження (13 323 га, що становить 46,7 % від вкритої лісом площі господарства). Їх лісівничо-таксаційні показники наступні, а саме: середній вік – 52 роки, продуктивність відноситься до 1,3 класу бонітету, а відносна повнота становить 0,69. Майже у двічі менші площі відведено насадженням з переважанням берези повислої (5489,8 га, що становить 20,7 % від вкритої лісом площі господарства) та дуба черешчатого (5772,3 га, що становить 21,7 % від вкритої лісом площі господарства). Насадження берези повислої з середнім віком у 49 років,

зростають за 1,8 класом бонітету та з відносною повнотою 0,67 одиниць, а дуба звичайного: віком у 63 роки, продуктивністю – 1,7 класу бонітету та повнотою 0,68 одиниць. Розрахунковий середній склад насадження 8Дз1Бп1Ос. Площа штучних насаджень у ДП «Лугинське лісове господарство» становить 36,9 % [35].

По підприємству загальний середній вік деревостанів становить 58 років, а їх середній запас – $223,5 \text{ м}^3(\text{га})^{-1}$. Частка використання лісогосподарського річного приросту насаджень становить 86,2% [35].

Для борів (А) ДП «Лугинське ЛГ» переважаючими є свіжий (А₂-С) сосновий бір (10,1%). У суборах (В) – свіжий (В₂-дС) та вологий (В₃-дС) дубово-сосновий субір (42,3%). Решта площі у сугрудах – вологий грабово-дубово-сосновий (С₃-гдС) [35].

2.2. Методологічні аспекти дослідження

Вимірювання електрофізіологічних показників, а саме діелектричних (імпеданса та поляризаційної ємності) соснових деревостанів в осередку низової лісової пожежі здійснювали за оригінальною методикою Г.Т. Криницького [26], адаптовану до різних умов застосування [23, 25].

Вимірювання проводили аналоговим приладом комбінованої структури (за класифікацією США – шигометром) Ф 4320, який ще до початку 90-х років виготовляли у Житомирі.

Заводські налаштування Ф 4320 дозволяють проводити вимірювання на частоті 1000 Гц. Частота одна тисяча Гц є уніфікованою для електрофізіологічних досліджень та дозволяє вимірювати активну частину комплексного опору ємнісного характеру та поляризаційну ємність за паралельною схемою заміщення. Метрологічно Ф 4320 сертифіковано для проведення вимірювань за коливання температури навколишнього середовища від +1,0 до +40,0°C та відносної вологості повітря, що не перевищує 80,0% (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Шигометр Ф 4320 та оригінальний щуп для проведення вимірювань

Для вимірювання електрофізіологічних показників використовують спеціально сконструйований за оригінальними кресленнями вимірювальний щуп (див. рис. 2.2). Щуп представляє собою комбінацію двох паралельних електродів, які виготовлені з інертних видів металів, які розмішені чітко на відстані двадцять міліметрів один від одного.

Згідно методики Криницького Г.Т. [26] електроди щупа вводили на 10 мм у прикамбіальні тканини луба стовбура у трьох місцях, а саме на висоті десяти сантиметрів від поверхні ґрунту; на висоті 1,30 метра (висота зняття лісівничо-таксаційних промірів) та на висоті два метри. Вибір останньої висоти зумовлений наявністю нагара на деревах сосни звичайної до висоти максимум близько 2,5-3,0 метрів. Ми ж повинні були визначити силу впливу вогню, тому зупинилися на висоті саме у 2,0 метра. Під час проведення

досліджень ми уникали несприятливих погодних умов, особливо спеки та дощу, що могло призвести до неввірно відібраних досліджень



Рис. 2.3. Схема зняття показників на модельних деревах

На тимчасовій пробній площі в осередку лісової пожежі ми відібрали двадцять модельних дерев сосни звичайної, які розміщені одне біля одного без особливих умов відбору. На контрольній тимчасовій пробній площі проміри зробили десяти модельних дерев. Лісівничо-таксаційні показники на обох ТПП ідентичні.

Електрофізіологічні дослідження на території ДП «Лугинське ЛГ» уже проводилися: на території Лугинського лісництва для вивчення впливу напіввільного утримання мисливських тварин на лісові насадження [22] та на території Липницького лісництва для діагностики станів лісових культур методами індикації стану дерев за допомогою діелектричних показників [2, 24].

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

3.1. Визначення поляризаційної ємності

У травні 2020 року на території лісових насаджень Повчанського лісництва ДП «Лугинське лісове господарство» сталася низова пожежа. Площа цієї пожежі становила 46,6 га. Після ліквідації наслідків пожежі ми провели обстеження території на предмет її впливу на стан життєвості сосни звичайної. Для визначення діелектричних показників вибрали виділ 3 у 46 кварталі. Його площа становить 8,4 га, причому лише половина території зазнала впливу вогню [18]. Таким чином, у межах одного виділу ми провели дослідження електрофізіологічних показників дерев сосни звичайної уражених низовою пожежею (рис. 3.1) та дерев, які не зазнали впливу вогню (контрольне насадження) (рис. 3.2).



**Рис. 3.1. Сосновий деревостан після низової пожежі
(Повчанське лісництво, кв. 46, вид. 3)**

Характеристика лісового насадження: вік 55 років, склад деревостану 10Сз+Бп, який зростає за І класом бонітету та відносною повнотою 0,7. Типологічно це вологий дубово-сосновий субір (В₃-ДС).

Дослідження проводили 21 серпня 2020 року.

Таблиця 3.1

Показники поляризаційної ємності дерев сосни звичайної в осередку лісової пожежі

№ модельного дерева	Поляризаційна ємність, nF			
	Висота проведення замірів			Середнє значення
	0,1 м	1,3 м	2,0 м	
МД01	16,00	8,40	13,00	12,47
МД02	5,20	6,60	7,00	6,27
МД03	3,20	7,60	13,00	7,93
МД04	13,00	8,80	2,60	8,13
МД05	12,00	7,20	12,00	10,40
МД06	1,80	2,90	7,00	3,90
МД07	7,00	5,20	5,20	5,80
МД08	14,00	9,40	12,00	11,80
МД09	7,60	7,20	6,00	6,93
МД10	14,00	14,00	13,00	13,67
МД11	14,00	8,00	3,20	8,40
МД12	2,10	3,30	7,80	4,40
МД13	2,00	3,00	6,50	3,83
МД14	15,50	6,80	14,00	12,10
МД15	7,40	6,80	7,20	7,13
МД16	15,00	7,30	2,50	8,27
МД17	2,10	3,50	8,00	4,53
МД18	13,00	15,00	13,00	13,67
МД19	8,00	6,90	7,20	7,37
МД20	2,50	2,60	8,00	4,37
Середнє значення	8,77±1,19	7,03±0,74	8,41±0,83	8,07±0.73

Вимірювання провели на 20 модельних деревах у епіцентрі лісової пожежі (МД01-МД20) та на 10 контрольних модельних деревах (МД01_к-МД10_к) за межами території пожежі.

Результати вимірювань представлено у табл. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.2

Показники поляризаційної ємності дерев сосни звичайної (контроль)

№ модельного дерева	Поляризаційна ємність, nF			Середнє значення
	Висота проведення замірів			
	0,1 м	1,3 м	2,0 м	
МД01 _к	6,00	6,40	6,00	6,13
МД02 _к	8,20	8,00	7,00	7,73
МД03 _к	12,00	8,00	7,40	9,13
МД04 _к	7,60	6,80	6,40	6,93
МД05 _к	8,40	8,20	6,80	7,80
МД06 _к	7,50	7,40	7,00	7,30
МД07 _к	17,00	14,00	16,00	15,67
МД08 _к	16,00	14,00	15,00	15,00
МД09 _к	18,00	14,00	9,60	13,87
МД10 _к	7,00	7,50	7,00	7,17
Середнє значення	10,77±1,45	9,43±1,01	8,82±1,15	9,67±1,16

Як уже ми зазначали вимірювання проводили на стовбурі на трьох висотах від землі: 0,1 м, 1,3 м та 2,0 м. Середнє значення поляризаційної ємності на висоті 0,1 м становило $8,77 \pm 1,19$ nF, на висоті 1,3 м – $7,03 \pm 0,74$ nF, а на висоті 2,0 м – $8,41 \pm 0,83$ nF. Загальне середнє значення для усіх мобільних дерев дорівнювало $8,07 \pm 0,73$ nF. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу між показниками поляризаційної ємності на висоті 0,1 м та 1,3 м ($F = 1,55 < F_{0,95} (1; 39) = 4,10$), на висоті 1,3 м та 2,0 м ($F = 1,54 < F_{0,95} (1; 39) = 4,10$), а також між показниками на висоті 0,1 м та 2,0 м ($F = 1,30 < F_{0,95} (1; 39) = 4,10$) достовірної різниці не існує на 95% рівні значущості. Для поляризаційної ємності за даних умов характерні високі

показники коефіцієнта варіації, а саме: на висоті 0,1 м коефіцієнт варіації становить 60,68%, на висоті 1,3 м – 46,99%, на висоті 2,0 м – 44,36%. Це досить високий показник варіації для цього показника для літнього періоду.

Середнє значення поляризаційної ємності контрольних модельних дерев сосни звичайної на висоті 0,1 м становило $10,77 \pm 1,45$ nF, на висоті 1,3 м – $9,43 \pm 1,01$ nF, а на висоті 2,0 м – $8,82 \pm 1,15$ nF. Загальне середнє значення для усіх контрольних модельних дерев дорівнювало $9,67 \pm 1,16$ nF. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу між показниками поляризаційної ємності на висоті 0,1 м та 1,3 м ($F = 0,57 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), на висоті 1,3 м та 2,0 м ($F = 0,16 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), а також між показниками на висоті 0,1 м та 2,0 м ($F = 1,10 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$) достовірної різниці не існує на 95% рівні значущості. Для поляризаційної ємності в умовах без впливу низової пожежі характерні дещо менші показники коефіцієнта варіації, а саме: на висоті 0,1 м коефіцієнт варіації становить 42,64%, на висоті 1,3 м – 33,94%, на висоті 2,0 м – 41,43%.



**Рис. 3.2. Сосновий деревостан (контроль)
(Повчанське лісництво, кв. 46, вид. 3)**

Ми також перевірили наскільки показники поляризаційної ємності на тимчасовій пробній площі відрізняється від аналогічних показників на контрольній ділянці. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу у кожній з висот точок вимірювання не виявлено достовірної різниці (на висоті 0,1 м – $F = 1,03 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$; на висоті 1,3 м – $F = 3,61 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$; на висоті 2,0 м – $F = 0,08 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$; загальний середній показник – $F = 1,48 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$).

Відсутність будь якої достовірної різниці за результатами однофакторного дисперсійного аналізу показників поляризаційної ємності дослідних та контрольних насаджень сосни звичайної суперечило нашій робочій гіпотезі, що низові лісові пожежі впливають на процеси життєдіяльності деревних порід. Ще раз проаналізувавши особливості зміни показників поляризаційної ємності модельних дерев за висотою в осередку лісової пожежі ми їх згрупували у чотири типи таких змін. Ці типи ми умовно назвали: V-подібний, нормальний, зростаючий та спадаючий. Графічне зображення типів представлено на рис 3.3.

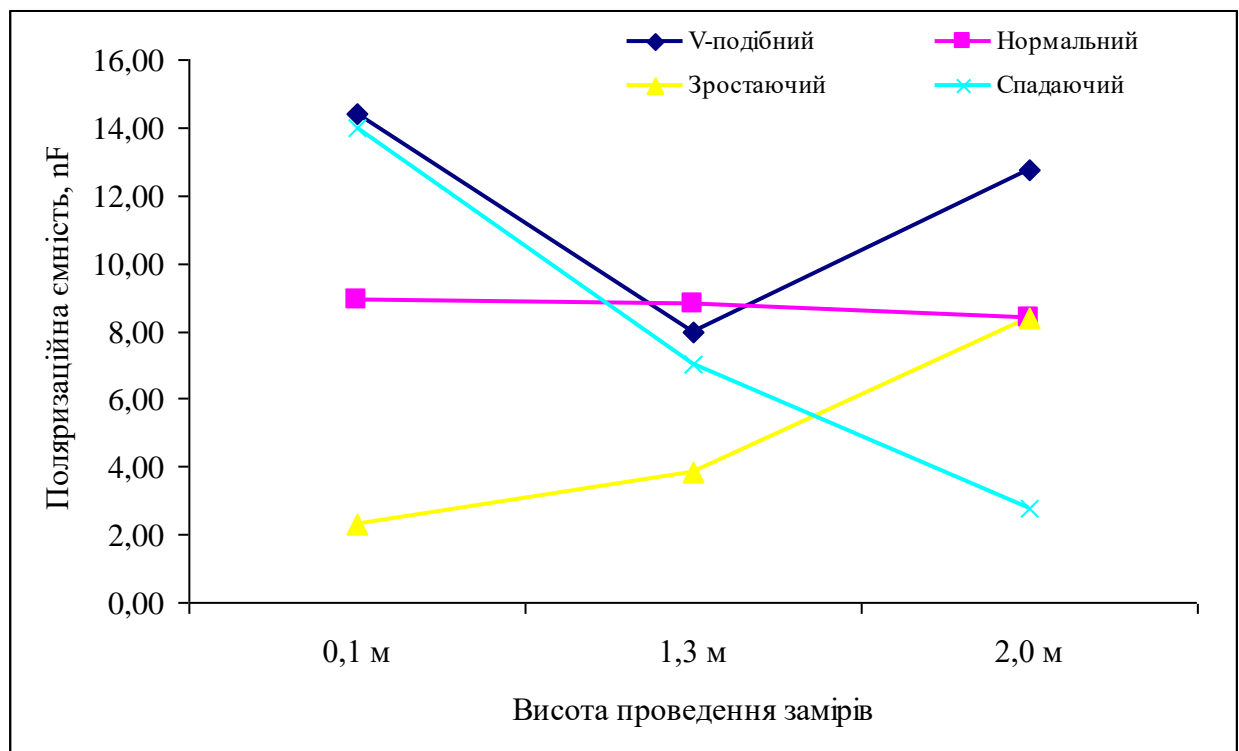


Рис. 3.3. Типи зміни поляризаційної ємності дерев сосни звичайної в осередку лісової пожежі (на основі середніх значень)

Виділення типів проводили за достовірністю різниці поляризаційної ємності у точках проведення замірів.

Кожен з представлених типів зміни показників поляризаційної ємності має свої особливості, тому потребує детального аналізу.

На рисунку 3.4 представлена частка різних типів зміни поляризаційної ємності. Значний відсоток модельних дерев з нормальним типом зміни поляризаційної ємності свідчить про невисоку загальну інтенсивність лісової пожежі.

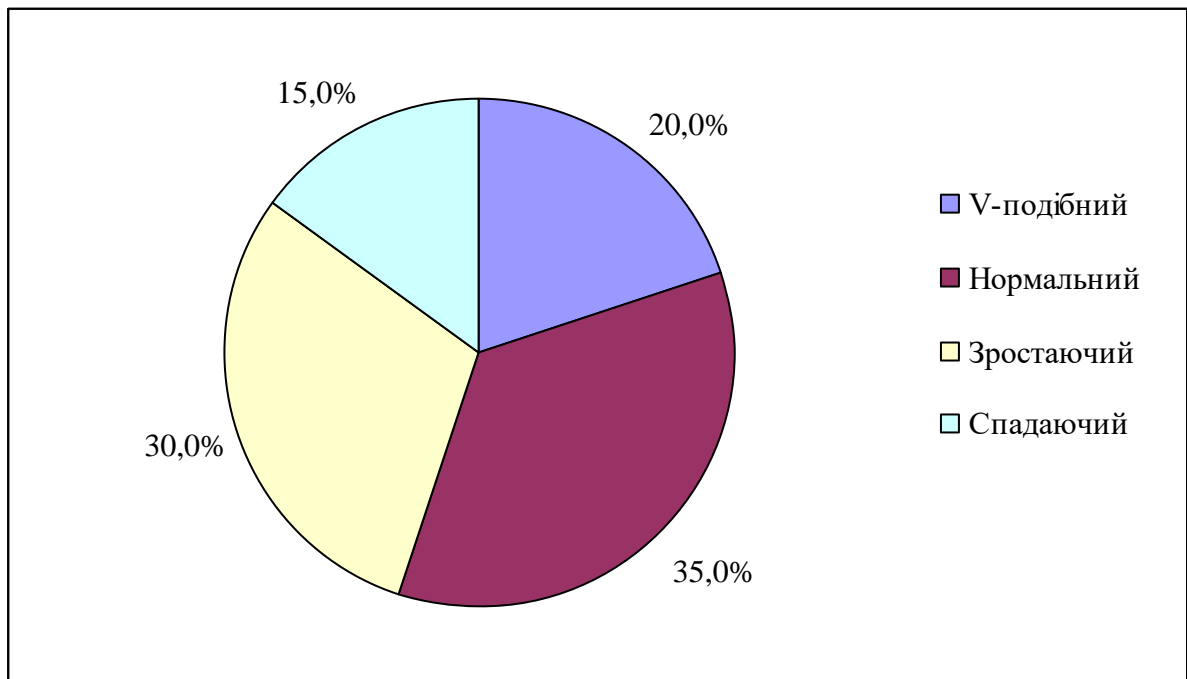


Рис. 3.4. Частка типів зміни поляризаційної ємності дерев сосни звичайної в осередку лісової пожежі, %

Нормальний тип зміни поляризаційної ємності характеризується відсутністю достовірної різниці між показниками отриманими на висоті 0,1 м і 1,3 м ($F = 0,0014 < F_{0,95} (1; 13) = 4,75$) та 1,3 і 2,0 м ($F = 0,053 < F_{0,95} (1; 13) = 4,75$), середні значення яких становлять: висота 0,1 м – 8,89 nF, висота 1,3 м – 8,81 nF, висота 2,0 м – 8,37 nF. Таким чином, ми можемо говорити, що по висоті стовбура на відбувається змін показників поляризаційної ємності. Такий тип відповідає фізіологічно здоровим деревним рослинам. Нормальний тип розподілу показника виявлено у 7 модельних дерев: МД02, МД07, МД09, МД10, МД15, МД18, МД19 (рис. 3.5).

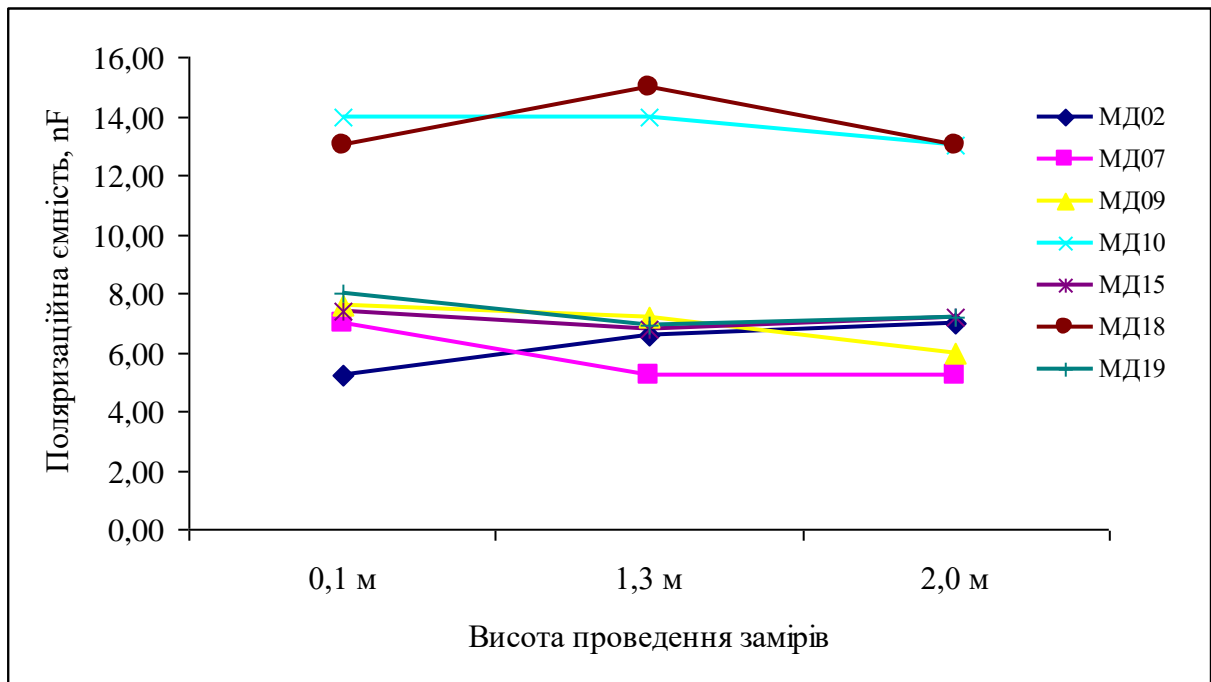


Рис. 3.5. Розподіл показників поляризаційної ємності за нормальним типом

Графіки зміни поляризаційної зміни цих семи модельних дерев можна ще, у нашому випадку, розділити на дві групи. До першої групи ми відносимо дерева МД10 та МД18, зміна показників поляризаційної ємності у яких відповідає другій категорії санітарного стану. Інші п'ять - МД02, МД07, МД09, МД15, МД19 – третій-четвертій категорії санітарного стану [36]. Отже, в осередку низової лісової пожежі ми маємо дерева з нормальним ходом зміни електрофізіологічних показників.

Для модельних дерев МД01, МД05, МД08 та МД14 характерний V-подібний тип зміни електрофізіологічного показника (рис. 3.6). Він характеризується високими показниками поляризаційної ємності на висоті 0,1 м (середнє значення 14,38 nF) і 2,0 м (середнє значення 12,75 nF), які відповідають другій категорії санітарного стану, та низьким показником поляризаційної ємності на висоті 1,3 м (середнє значення 7,95 nF). Для цього типу існує достовірна різниця між показниками отриманими на висоті 0,1 м і 1,3 м ($F = 35,69 > F_{0,95} (1; 7) = 5,98$) та 1,3 і 2,0 м ($F = 39,84 > F_{0,95} (1; 7) = 5,98$), а графік умовно нагадує латинську літеру V.

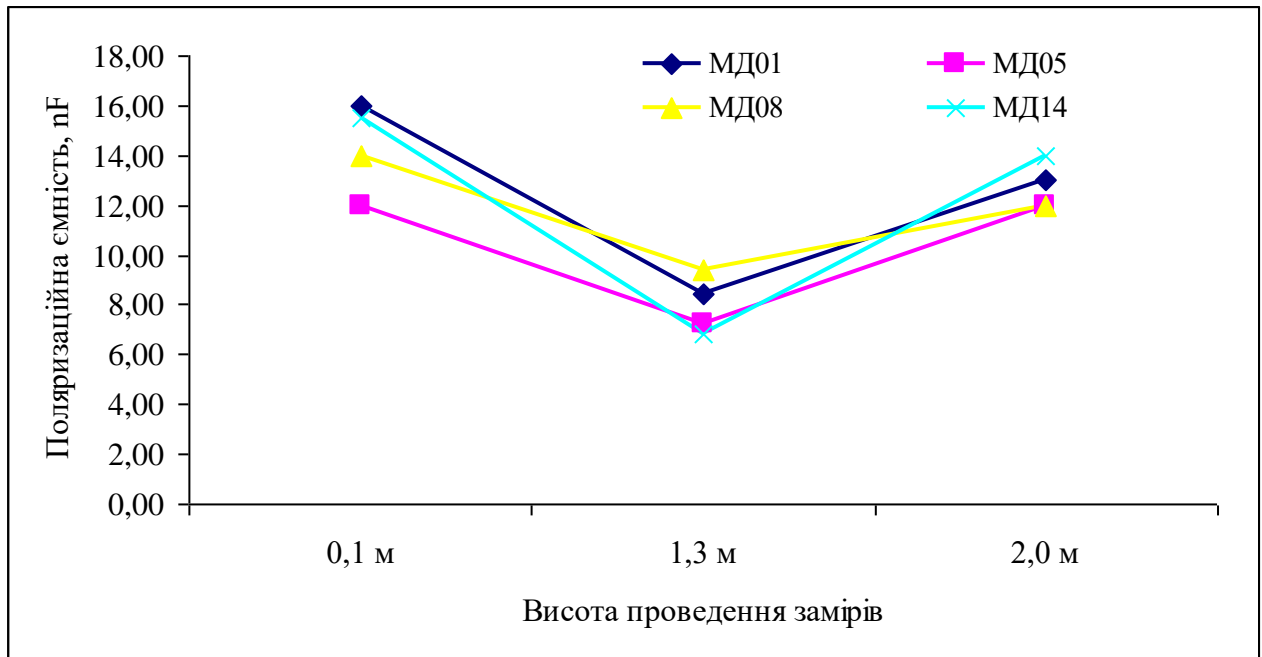


Рис. 3.6. Розподіл показників поляризаційної ємності за V-подібним типом

Низькі показники поляризаційної ємності на висоті 1,3 метра можуть свідчити, що саме на цій висоті температура вогню була найвищою, а ураження стовбура найсильнішими.

Зростаючий тип зміни поляризаційної ємності характеризується дуже низькими показниками на висоті 0,1 м (середнє значення 2,28 pF), які повільно зростають до висоти 1,3 м (середнє значення 3,82 pF), проте достовірно не відрізняються ($F = 3,72 < F_{0,95} (1; 11) = 4,96$) та значно достовірно зростають до висоти 2,0 м ($F = 13,88 > F_{0,95} (1; 11) = 4,96$), виходячи на рівень показників фізіологічно здорових дерев (середнє значення 8,38 pF). Такий тип виявлено у шести модельних дерев: МД03, МД06, МД12, МД13, МД17, МД20 (рис. 3.7).

Особливо показовою є зміна поляризаційної ємності модельного дерева МД03. Низький показник поляризаційної ємності на висоті 0,1 м (3,20 pF), на висоті 1,3 м зростає до позначки 7,60 pF, з подальшим зростанням до 13,00 pF на висоті двох метрів (рівень фізіологічних процесів другої категорії санітарного стану хвойних дерев).

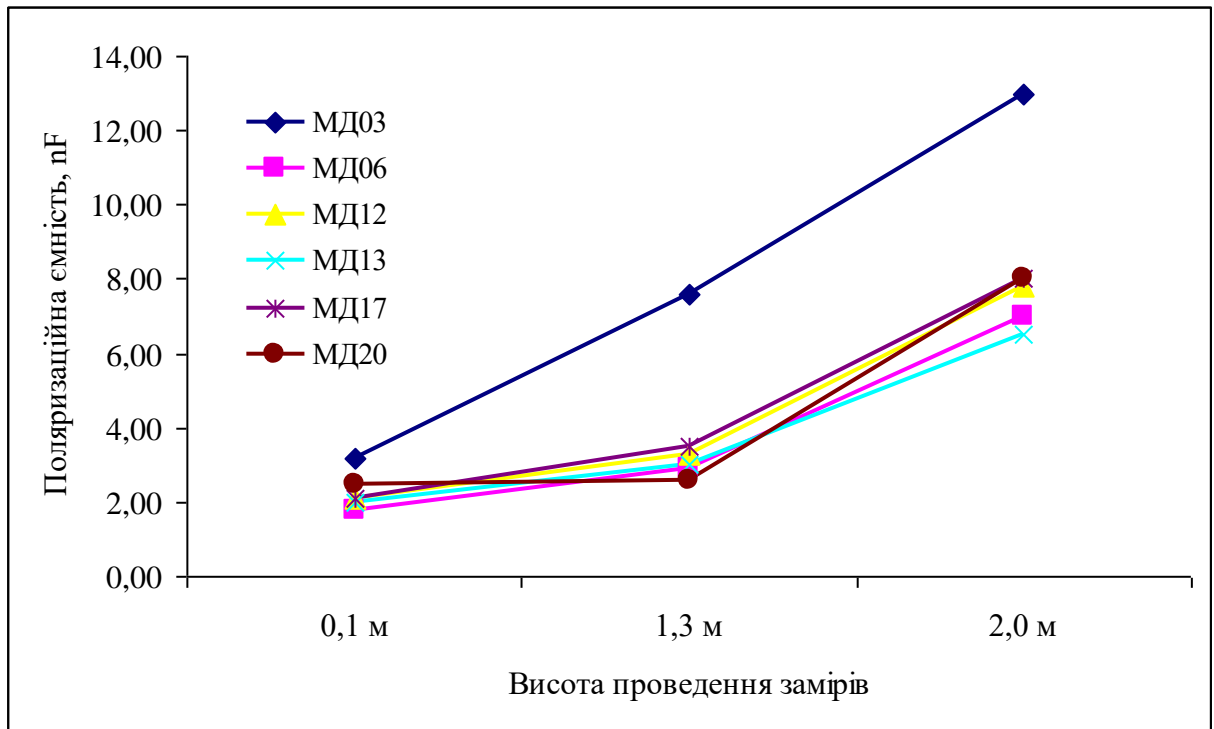


Рис. 3.7. Розподіл показників поляризаційної ємності за зростаючим типом

Примітно, що у цього дерева показник ємності на висоті 1,3 м такий, як у інших модельних дерев на висоті 2,0 м. Показники поляризаційної ємності на висоті 0,1 м коливаються у межах 1,80-3,20 pF, що свідчить про високий ступінь ураження стовбура дерева у цьому місці. Такі показники відповідають висихаючим деревам. Змертвілі ділянки стовбура мають товщину, щонайменше, більше одного сантиметра, оскільки не дають можливості щупу (глибина введення електродів щупа близько 1,0 см) контактувати з ще живими тканинами. Навколо стовбура окремих модельних дерев спостерігалось повне вигорання підстилки (рис. 3.8). Це свідчить про високу температуру у цьому місці.

Аналізуючи різноманітні типи зміни показників поляризаційної ємності в межах одного осередку лісової пожежі можна припустити про часову та просторову неоднорідність процесу горіння, що підтверджується різними висотами найбільшого температурного впливу вогню на дерева сосни звичайної.



Рис. 3.8. Вигляд основи стовбура дерева (МД03) зростаючого типу зміни поляризаційної ємності

На зрізах дерева ушкодженого лісовою пожежею чітко видно декілька шарів (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Переріз стовбура дерева ушкодженого лісовою пожежею

Перший це кора з ознаками горіння, друга – прикамбіальна частина в межах якої проводиться вимірювання діелектричних показників та фактично серцевина. Чітко видно, що при камбіальна частина стовбура видозмінена через високу температуру, що не дозволяє відбуватися транспорту поживних речовин, а це в свою чергу веде до зниження показників фізіологічної активності процесів життєдіяльності.

Спадаючий тип зміни поляризаційної ємності відзначається дуже високими показниками на висоті 0,1 м (середнє значення 14,00 nF), що відповідає другій категорії санітарного стану. До висоти 1,3 м середнє значення поляризаційної ємності зменшується до 8,03 nF, а згодом падає до 2,77 nF на висоті двох метрів. Існує достовірна різниця показників на висоті 0,1 м і 1,3 м ($F = 68,32 > F_{0,95} (1; 5) = 7,71$) та 1,3 м і 2,0 м ($F = 117,75 > F_{0,95} (1; 5) = 7,71$). Цей тип відмічено нами лише у трьох модельних деревах: МД04, МД11 та МД16 (рис. 3.10).

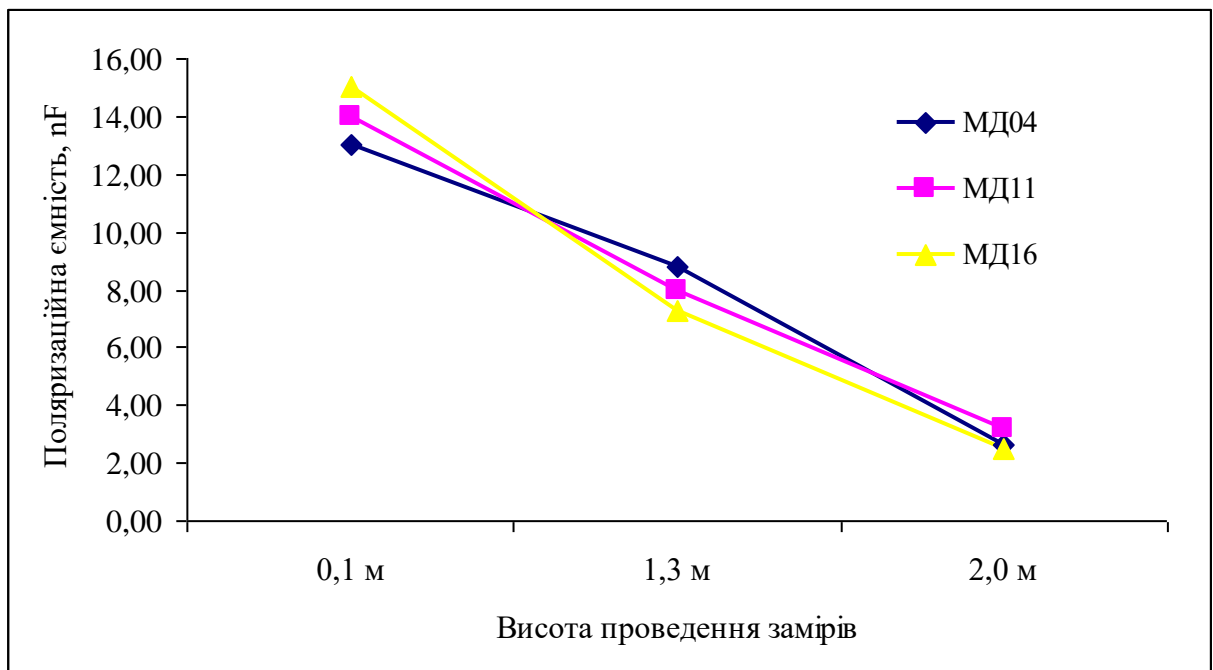


Рис. 3.10. Розподіл показників поляризаційної ємності за спадючим типом

Така зміна показників поляризаційної ємності по стовбуру дерева говорить, що найбільше ураження сосна звичайна отримала на висоті 2,0 м, а

нижня частина стовбура не зазнала видимого впливу, окрім незначного обвуглення кори.

3.2. Зміна імпеданса соснових деревостанів

Поряд з поляризаційною ємністю імпеданс є інтегральним показником фізіологічного стану лісових насаджень. Лише при комплексному аналізі цих діелектричних показників можна визначити особливості життєдіяльності дерев сосни звичайної [26].

Імпеданс це показник антагоніст поляризаційної ємності. Якщо показники поляризаційної ємності ростуть значить показники імпеданса будуть падати і навпаки. Імпеданс також відзначається більшою варіабельністю, що проявляється вищих показниках коефіцієнта варіації. Якщо під час наших досліджень показники поляризаційної ємності коливалися в діапазоні 1,8-19,0 nF, то варіювання імпеданса було у проміжку 11,0-250,0 кОм.

Ми відмічали, що вимірювання проводили на трьох висотах від землі: 0,1 м, 1,3 м та 2,0 м. Середнє значення активного опору на висоті 0,1 м становило $67,30 \pm 17,44$ кОм, на висоті 1,3 м – $62,83 \pm 13,46$ кОм, а на висоті 2,0 м – $34,10 \pm 6,73$ кОм. Загальне середнє значення для усіх модельних дерев дорівнювало $54,74 \pm 9,92$ кОм (табл. 3.4). Незважаючи на такі показники, особливо виділяється імпеданс на висоті 2,0 м, за результатами однофакторного дисперсійного аналізу між показниками імпедансу на висоті 0,1 м та 1,3 м ($F = 0,04 < F_{0,95} (1; 39) = 4,10$), на висоті 1,3 м та 2,0 м ($F = 3,64 < F_{0,95} (1; 39) = 4,10$), а також між показниками на висоті 0,1 м та 2,0 м ($F = 3,15 < F_{0,95} (1; 39) = 4,10$) достовірної різниці не існує на 95% рівні значущості. Для імпеданса, як ми і зазначали, за цих умов характерні високі показники коефіцієнта варіації, а саме: на висоті 0,1 м коефіцієнт варіації становить 115,91%, на висоті 1,3 м – 95,85%, на висоті 2,0 м – 88,29%. Це високі показники коефіцієнта варіації, як для літнього періоду.

Показники імпеданса дерев сосни звичайної в осередку лісової пожежі

№ модельного дерева	Імпеданс, кОм			
	Висота проведення замірів			Середнє значення
	0,1 м	1,3 м	2,0 м	
МД01	23,50	17,50	15,00	18,67
МД02	45,00	27,00	26,00	32,67
МД03	70,00	38,00	14,00	40,67
МД04	14,00	35,00	90,00	46,33
МД05	14,00	19,00	16,00	16,33
МД06	160,00	190,00	26,00	125,33
МД07	35,00	70,00	40,00	48,33
МД08	12,00	16,50	15,00	14,50
МД09	22,00	25,00	24,00	23,67
МД10	15,00	14,00	14,00	14,33
МД11	15,00	40,00	100,00	51,67
МД12	180,00	140,00	17,00	112,33
МД13	200,00	160,00	33,00	131,00
МД14	14,00	23,50	14,00	17,17
МД15	44,00	50,00	45,00	46,33
МД16	14,00	40,00	110,00	54,67
МД17	250,00	130,00	11,00	130,33
МД18	14,00	14,00	13,00	13,67
МД19	24,50	27,00	26,00	25,83
МД20	180,00	180,00	33,00	131,00
Середнє значення	67,30±17,44	62,83±13,46	34,10±6,73	54,74±9,92

Середнє значення імпеданса контрольних модельних дерев сосни звичайної на висоті 0,1 м становило $19,55 \pm 2,18$ кОм, на висоті 1,3 м – $19,05 \pm 1,59$ кОм, а на висоті 2,0 м – $19,80 \pm 1,76$ кОм. Загальне середнє значення для усіх контрольних модельних дерев дорівнювало $19,47 \pm 1,74$ кОм. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу між

показниками імпеданса на висоті 0,1 м та 1,3 м ($F = 0,03 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), на висоті 1,3 м та 2,0 м ($F = 0,10 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), а також між показниками на висоті 0,1 м та 2,0 м ($F = 0,008 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$) достовірної різниці не існує на 95% рівні значущості. Для імпеданса в умовах без впливу низової пожежі характерні відчутно менші показники коефіцієнта варіації, а саме: на висоті 0,1 м коефіцієнт варіації становить 35,24%, на висоті 1,3 м – 26,52%, на висоті 2,0 м – 28,15%.

Таблиця 3.4

Показники імпеданса дерев сосни звичайної (контроль)

№ модельного дерева	Імпеданс, кОм			
	Висота проведення замірів			Середнє значення
	0,1 м	1,3 м	2,0 м	
МД01 _к	34,00	26,00	27,00	29,00
МД02 _к	18,00	18,50	20,50	19,00
МД03 _к	16,00	19,00	19,00	18,00
МД04 _к	21,00	22,00	22,50	21,83
МД05 _к	19,00	17,50	20,50	19,00
МД06 _к	24,50	17,00	18,00	19,83
МД07 _к	13,00	14,00	13,00	13,33
МД08 _к	14,00	14,00	12,00	13,33
МД09 _к	11,00	14,00	16,00	13,67
МД10 _к	25,00	28,50	29,50	27,67
Середнє значення	19,55±2,18	19,05±1,59	19,80±1,76	19,47±1,74

Ми також перевірили наскільки показники імпеданса на тимчасовій пробній площі відрізняється від аналогічних показників на контрольній ділянці. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу лише на висоті 1,3 м ми виявили достовірну різницю між показниками імпедансу ($F = 5,17 > F_{0,95} (1; 29) = 4,19$). Не виявлено достовірної різниці на висоті 0,1 м ($F = 3,67 < F_{0,95} (1; 29) = 4,19$) та на висоті 2,0 м ($F = 2,18 < F_{0,95} (1; 29) = 4,19$).

Стосовно типів зміни діелектричних показників з висотою, то для імпеданса їх графічне відображення має свої особливості. Нормальний тип зміни показників зберігається. V-подібний змінюється, оскільки, за низького показника поляризаційної ємності маємо високий показник імпеданса. Таким чином графік перевертається піком до верху і його можемо назвати несправжнім, або перевернутим V-подібним типом. Відповідно зростаючий тип для поляризаційної ємності автоматично стає спадаючим для імпеданса і навпаки, спадаючий тип для поляризаційної ємності стає зростаючим для імпеданса.

Також, провівши аналіз зміни діелектричних показників модельних дерев у осередку лісової пожежі, виявилось, що для одного і того ж дерева типи зміни поляризаційної ємності та імпеданса можуть бути різними. Так для модельного дерева МД05 зміна імпеданса за висотами відповідає нормальному типу (14,0-19,0-16,0 кОм), а зміна поляризаційної ємності описується V-подібним графіком (12,0-7,2-12,0 nF).

ВИСНОВКИ

Виконуючи кваліфікаційну роботу ми дослідили вплив негативних чинників низової лісової пожежі на електрофізіологічні показники дерев сосни звичайної та провели їх диференціацію за висотою. Проведений нами комплексний аналіз діелектричних показників дерев сосни звичайної в епіцентрі лісової пожежі дозволяє зробити нам наступні висновки.

1. Встановлено відсутність будь якої достовірної різниці за результатами однофакторного дисперсійного аналізу на 95% рівні значимості показників поляризаційної ємності дослідних та контрольних насаджень сосни звичайної. На кожній з висот (0,1 м, 1,3 м та 2,0 м) вимірювання не виявлено достовірної різниці (на висоті 0,1 м – $F = 1,03 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$; на висоті 1,3 м – $F = 3,61 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$; на висоті 2,0 м – $F = 0,08 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$; загальний середній показник – $F = 1,48 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$).

2. Аналіз зміни показників поляризаційної ємності модельних дерев за висотою в осередку лісової пожежі показав чотири типи зміни показника, які умовно ми назвали: V-подібний, нормальний, зростаючий та спадаючий. Кожен з цих типів вказує локалізацію на стовбурі дерева, де був найбільший вплив температури на дерево, що відображається у зниженні провідності прикамбіальних тканин стовбура.

3. Доведено, що в окремих випадках типи динаміка зміни поляризаційної ємності та імпеданса окремо взятого модельного дерева в осередку лісової пожежі, можуть відрізнятися.

4. Різноманітність типів зміни показників поляризаційної ємності у межах одного осередку лісової пожежі вказує на часову та просторову неоднорідність процесу горіння в умовах соснового деревостану, що підтверджується різними висотами найбільшого температурного впливу вогню на дерева сосни звичайної. Така особливість у майбутньому може сприяти створенню 3D моделі поширення лісової низової пожежі від біотичних та абіотичних характеристик лісових насаджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Амосов Г. А. Некоторые закономерности развития лесных низовых пожаров. *Возникновение лесных пожаров*. Москва: Наука, 1964. С. 152–183.
2. Бовсуновський М.П. Діелектричні показники культур сосни звичайної в умовах ДП «Лугинське ЛГ» (літній аспект). *Проблеми ведення та експлуатації лісових і мисливських ресурсів: матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої пам'яті професора А.І. Гузія*. (м. Житомир, 25 вересня 2020 р.). Житомир, 2020. С. 23-24.
3. Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири / Иванова Г.А., Коначев С.Г., Макаревич Д.Д. та ін. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
4. 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.
5. Ворон В.П., Мельник Є. Є. Тенденції виникнення пожеж у лісах зеленої зони міста Харків. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2009. Вип. 115. С. 207–214.
6. 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: збірник наукових праць*. Львів: РВВ НЛТУ України. 2012. Вип. 10. С. 148–154.
7. Генсирук С.А. Комплексное лесохозяйственное районирование Украины и Молдавии. Київ: Наукова думка, 1981. 358 с.
8. Генсирук С. А. Леса Украины. М.: Лесная пром., 1975. 280 с.
9. Гирс Г.И. Физиология ослабленного дерева. Новосибирск : Наука, 1982. 254 с.

10. 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.

11. Гуменюк В.В. Наслідки великої лісової пожежі для соснових деревостанів Поліського природного заповідника. *Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: Міжнародна науково-практична 21 конференція молодих вчених* (м. Київ, 16–18 жовтня 2013 р.). Київ, 2013. С. 49–50.

12. Гуменюк В.В. Природне поновлення насаджень сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), пройдених низовими пожежами у регіоні Центрального Полісся України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.5 С. 48–55.

13. Зинченко О. В. Динамика санитарного состояния деревьев сосны в насаждениях, ослабленных разными факторами. *Научные ведомости БелГУ*. 2013. Вып. 23, №10 (153). С. 13–19.

14. Кобечинская В. Г., Отурина И.П. Экологические последствия воздействия пожаров на растительный покров горного Крыма. *Вопросы биоиндикации и экологии*. Запорожье : ЗГУ, 1997. Вып. 2. С. 28–31.

15. Кобечинская В.Г., Отурина И.П., Апостолов В.Л., Томашевский А.Л. Влияние пирогенного фактора на искусственные сосновые насаждения Симферопольского района. *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2009. Вып. 20. С.146–153.

16. Ковылина О.П., Ковылин Н.В., Познахирко П.Ш. Влияние низовых пожаров на семеношение лиственницы сибирской. *Пожары в лесных экосистемах Сибири*: материалы Всерос. конф. с междунар. участием (г. Красноярск, 17–19 сентября 2008 г.). Красноярск, 2008. С. 141–144.

17. Ковылина О.П., Ковылин Н.В., Сухенко Н.В. Влияние пожаров на состояние искусственных лесных фитоценозов в степных условиях юга Сибири. *Пожары в лесных экосистемах Сибири*: материалы Всерос. конф. с междунар. участием (г. Красноярск, 17–19 сентября 2008 г.). Красноярск, 2008. С. 144–146.

18. Кордиш В.О. Особливості впливу низової пожежі на діелектричні показники сосни звичайної в умовах Повчанського лісництва ДП «Лугинське лісове господарство». *Студентські наукові читання – 2021*. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої I туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт на факультеті лісового господарства та екології Поліського національного університету (25 січня 2021 року, м. Житомир). Житомир, 2021. С. 12-13.

19. Косов И. В. Механизм воздействия низовых пожаров на деревья хвойных видов. *Пожары в лесных экосистемах Сибири*: материалы Всерос. конф. с междунар. участием (г. Красноярск, 17–19 сентября 2008 г.). Красноярск, 2008. С. 146–149.

20. Косов И.В., Кисилыхов Е.К., Рыбников В.Ю. Механизм повреждения древостоя при подстильно-гумусовых пожарах. *Ботан. исслед. в Сибири*. – Красноярск, 2005. Вып. 13. С. 97–101.

21. Косов И.В. Устойчивость хвойных пород к воздействию лесных пожаров : автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. с-х. наук : спец. 06.03.03 «Лесоведение и лесоводство, лесные пожары и борьба с ними». Красноярск, 2006. 22 с.

22. Кратюк О. Л. Зміна діелектричних показників сосни звичайної в умовах напіввільного утримання кабана дикого. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30, № 4. С. 25–30.

23. Кратюк О.Л., Бовсуновський М.П., Бабич М.М., Кордиш В.О. Використання електрофізіологічних показників для визначення життєвого стану дерев сосни звичайної. *Наукові читання – 2020*. Житомир: Житомирський національний агроекологічний університет, 2020. С. 41-42.

24. Кратюк О.Л., Бовсуновський М.П. Електрофізіологічні показники культур сосни звичайної в умовах ДП «Лугинське лісове господарство» (осінній аспект). *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку*: збірник

матеріалів Третьої Міжнар. науково-практичної конференції (22-23 жовтня 2020, м. Херсон, Україна). Херсон, 2020. С. 336-338.

25. Кратюк О.Л., Кордиш В.О., Лисогор С.М., Осипчук В.М. Використання діелектричних показників для визначення життєздатності дерев сосни звичайної та берези повислої у результаті механічного пошкодження стовбура. *Сучасні проблеми лісового господарства та екології: шляхи вирішення (Факультету лісового господарства та екології – 20 років)* Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (7-8 жовтня 2021 р, м. Житомир). Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 94-95.

26. Криницький Г.Т. Про методику використання електрофізіологічних показників для визначення життєздатності деревних рослин. Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. 1992, т. 23. С. 3-10.

27. Кузик А.Д. Вплив низової пожежі на насадження сосни звичайної. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2012, т. 22, №7. С. 19–26.

28. Кузик А.Д. Пожежонебезпечні властивості лісових горючих матеріалів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.4. С. 214–219.

29. Кузик А.Д. Залежність пожежної небезпеки лісових насаджень від локальних лісівничих показників. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.6. С. 58–63.

30. Мелехов И.С. Лесные пожары и борьба с ними. Архангельск: Северное краевое изд., 1935. 80 с.

31. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. Москва-Ленинград: Гослестехиздат, 1948. 60 с.

32. Мозолевская Е.Г. Оценка состояния и устойчивости насаждений. *Технология защиты леса*. Москва: Экология, 1991. С. 234– 237.

33. Молчанов А.А. Влияние лесных пожаров на древостой. *Труды Института леса АН СССР*. Москва :Изд-во АН СССР, 1954. Т. XVI. С. 314–335.

34. *Правила пожежної безпеки в лісах України*: наказ Держкомлісгоспу України від 27 грудня 2004 р. № 278. Офіц. вісн. України. 2005. № 13. 321 с.
35. Проект організації і розвитку лісового господарства ДП «Лугинський лісгосп» Житомирської області. Повчанське лісництво. Ірпінь. 2018. 279 с.
36. Про затвердження Санітарних правил в лісах України: Постанова Кабінету Міністрів України від 27 липня 1995 р. № 555 / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-%D0%BF#Text>.
37. 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.
38. Усеня В.В., Чурило В.С. Динамика послепожарного опада в соснових насаждениях. *Проблемы лесоведения и лесоводства*. 2001. Вып. 52. С. 209–214.
39. Усеня В.В., Гордей Н.В., Чурило Е.В., Тегленков Е.А. Методы формирования пожароустойчивых насаждений в лесорастительных условиях Беларуси. *Проблемы лесоведения и лесоводства*. Гомель, 2014. Вып. 74. С. 127–136.
40. Усеня В.В. Лесные пожары последствия и борьба с ними. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2002. 206 с.
41. Фещенко В.П. Постпірогенні зміни рослинності природного заповідника «Древлянський». Автореф. дис. ... к.с.-г.н. Київ. 2021. 25 с.
42. Фещенко В.П., Орлов О.О., Ландін В.П., Соломко В.Л. Трансформація ценоморф трав'яно-чагарничкового ярусу лісових фітоценозів Житомирського Полісся після низових пожеж. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 4. С. 169–177.
43. Чурило Е. В. Влияние лесоводственно-таксационных показателей на пожароустойчивость насаждений в лесорастительных условиях Беларуси. *Проблемы лесоведения и лесоводства*. Гомель, 2013. Вып. 73. С. 572–580.

44. Чурило Е. В. Исследование пожароустойчивости хвойных насаждений в лесном фонде Беларуси. *Труды БГТУ. Сер. I. Лесн. хоз-во.* Минск, 2013. Вып. XXI. С. 114–116.

45. Шубин Д. А., Малиновских А. А., Залесов С. В. Влияние пожаров на компоненты лесного биогеоценоза в Верхне-Обском боровом массиве. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета.* 2013. Выпуск № 6 (44). С. 205–208.