

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології

Кафедра лісівництва, лісових культур та
таксації лісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

КЛИМ ВАЛЕНТИН ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 630*521.1(477.42)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

СЕЗОННА ЗМІНА ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В УМОВАХ
ФІЛІЇ «ЗВЯГЕЛЬСЬКЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО»

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.В. Клим

Керівник роботи

Кратюк Олександр Леонідович
доктор біологічних наук, професор

Житомир – 2023

Висновок кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу за результатами попереднього захисту

**Протокол засідання кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу
№ ___ від «___» 2023 р.**

Завідувач кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу

к.с.-г.н., доцент

Сірук Юрій Вікторович

«___»

2023 р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти Клим Валентин Володимирович захистив кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою

за шкалою ECTS

за національною шкалою

Секретар ЕК

Дубницька Ірина Юріївна

АНОТАЦІЯ

Клим В.В. Сезонна зміна електрофізіологічних показників дерев сосни звичайної в умовах Філії «Звягельське лісове господарство». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 205 – лісове господарство. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

У магістерській роботі проведено аналіз поляризаційної ємності та імпеданса незімкнутих лісових насаджень сосни звичайної на території Філії «Звягельське лісове господарство». Виявлено особливості зміни поляризаційної ємності та імпеданса сосни звичайної незімкнутих лісових культур упродовж року на різних дослідних площах. Встановлено, що показники поляризаційної ємності та імпеданса під час періоду вегетації змінюються, а амплітуда їх коливань залежить від особливостей життєвого стану рослин. Результати досліджень свідчать, що для діагностики стану незімкнутих лісових культур можливе використання електрофізіологічних показників. Доведено можливість використання методів експрес індикації категорій санітарного стану дерев з використанням діелектричних показників для діагностики стану лісових екосистем.

Ключові слова: поляризаційна ємність; лісові культури; імпеданс; *Pinus sylvestris* L., Філія «Звягельське лісове господарство».

ANNOTATION

Klum V.V. Seasonal changes in the electrophysiological parameters of Scots pine trees in the conditions of the Branch «Zvyagel Forestry» – Qualifying work on the rights of the manuscript.

Qualification work for the master's degree in specialty 205 – Forestry. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

The master's thesis analyses the polarization capacity and impedance of unclosed forest stands with pine trees in the Branch «Zvyagel Forestry». The peculiarities of changes in the polarization capacity and impedance of unclosed pine forest stands during the year in different experimental areas were determined. It was found that the values of polarization capacity and impedance change during the vegetation period and that the amplitude of their fluctuations depends on the characteristics of the vital state of the plants. The research results show that it is possible to use electrophysiological indicators to diagnose the condition of non-closed forest crops. The possibility of using methods for expressing the categories of tree health using dielectric indicators to diagnose the state of spruce ecosystems has been demonstrated.

Key words: capacitance polarization, forest crops, impedance, *Pinus sylvestris*, Branch «Zvyagel Forestry».

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ	8
1.1. Еколого-лісівнича характеристика та особливості фізіологічних процесів сосни звичайної	8
1.2. Дослідження електрофізіологічних показників	10
РОЗДІЛ 2. РАЙОН, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	13
2.1. Особливості району досліджень	13
2.2. Методика досліджень	15
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕЗІМКНУТИХ КУЛЬТУР СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ	17
3.1. Дослідження діелектричних параметрів	17
3.2. Період весни	21
3.3. Літній період	23
3.4. Осінній період	25
ВИСНОВКИ	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30
ДОДАТКИ	35

ВСТУП

Актуальність теми. У більш широкому контексті збереження біорізноманіття на Землі, збереження генетичного різноманіття лісових популяцій деревних порід, таких як сосна звичайна, є ключовим викликом сьогодення. Центральні райони Житомирського Полісся упродовж десятиліть зазнавали постійного тиску господарської діяльності. Соснові ліси, що залишилися в цих густонаселених районах, переживають поступове зниження своєї біологічної продуктивності. Це зниження пояснюється поєднанням лісгосподарської діяльності та стихійних лих, включаючи згубний вплив лісових пожеж, які сприяють зменшенню біорізноманіття лісів. Помітною проблемою, з якою стикається лісівнича наука, є відсутність надійних прогнозних моделей для відстеження розвитку лісових насаджень. Враховуючи ці обставини, вчені змушені використовувати інноваційні підходи до вирощування та управління лісовими ресурсами, використовуючи, зокрема, електрофізіологічні показники для діагностики стану лісових насаджень.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи було дослідження сезонних змін електрофізіологічних показників культур сосни звичайної в умовах Городницького лісництва Філії «Звягельське лісове господарство».

Для досягнення поставленої мети передбачалось виконання наступних завдань:

1. Провести лісівничо-таксаційну характеристику незімкнутих культур сосни звичайної на пробних площах тимчасового характеру.
2. Встановити особливості сезонних змін діелектричних показників незімкнутих культур сосни звичайної різних категорій санітарного стану за вегетаційний період.
3. Дослідити залежність між морфологічними та діелектричними показниками незімкнутих лісових культур сосни звичайної.

4. Виявити закономірності зміни діелектричних показників культур сосни звичайної різних категорії життєвого стану.

Об'єктом досліджень є незімкнуті лісові культури сосни звичайної.

Предметом досліджень є сезонні особливості зміни діелектричних показників незімкнутих лісових культур сосни звичайної упродовж вегетаційного періоду.

Методи дослідження: у дослідженнях застосовували, лісівничо-таксаційні методи для лісівничої характеристики НЛК, електрофізіологічні – для визначення основних діелектричних показників, для статистичної обробки отриманих матеріалів застосовували математико-статистичні методи.

Публікації.

Кратюк О.Л., Клим В.В., Сергійчук Б.В. Особливості застосування діелектричних показників у вивченні електрофізіологічних параметрів деревних порід. *Природно – ресурсний комплекс Західного Полісся в контексті сталого розвитку* : збірник тез доповідей Всеукр. наук.-прак. конф. науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти, м. Березне, 16-17 травня 2023 року. [Електронне видання]. Березне : НСІ НУВГП, 2023. С. 116-117.

Клим В.В., Сергійчук Б.В., Іваненко І.І. Основні етапи вивчення електрофізіологічних властивостей деревних порід. *Стан і майбутнє лісового господарства, деревообробки та землевпорядкування* : збірник матеріалів Всеукр. наук.-прак. конф. здобувачів вищої освіти та молодих вчених (9-10 жовтня 2023, м. Харків, Україна). Харків, 2023. С. 31-32.

Клим В.В. Показники поляризаційної ємності культур сосни звичайної в умовах Філії «Звягельське лісове господарство» (весняний аспект). *Ліс, наука, молодь*: матеріали XI Всеукр. наук.-прак. конф. (м. Житомир, 23 листопада 2023 р.). Житомир, 2023. С. 82.

Практичне значення. Вперше для умов Городницького лісництва Філії «Звягельське лісове господарство» встановлено сезонні взаємозв'язки

електрофізіологічних показників незімкнутих культур сосни звичайної та категорій стану під час вегетаційного періоду.

Структура та обсяг роботи.

Кваліфікаційну роботу викладено на тридцяти чотирьох сторінках машинописного тексту. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Вона ілюстрована таблицями (2 штуки) та рисунками (11 штук, з яких 3 фото).

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ

1.1. Еколого-лісівнича характеристика та особливості фізіологічних процесів сосни звичайної.

Організм рослини являє собою єдину, складну систему з багатьма вимірами. Він складається з великої кількості клітин і тканин, кожна з яких має свою форму і функції. Об'єднує це різноманіття в цілісний фізіологічний організм плазмодесма, міжклітинні канали, що з'єднують клітини і тканини, а також спеціалізовані транспортні шляхи, в тому числі судини і ситовидні трубки. Будь-який зовнішній вплив на рослину поступово поширюється по всьому організму. Рух води та поживних речовин всередині рослини значною мірою залежить від метаболічних та енергетичних процесів. Дві фундаментальні властивості рослин - подразливість (реакція на подразники) і полярність - відіграють ключову роль у визначенні реакції рослини на навколишнє середовище. У відповідь на різні подразники рослина генерує електричний струм і передає інформацію. Таким чином, уявлення про рослинний організм як про інертну, нерухому систему з обмеженою реакцією на зміни навколишнього середовища є необґрунтованим [30, 37, 42, 45].

До роду *Pinus L.* належать вічнозелені однодомні дерева, що характеризуються моноподіальним ростом, з бічними пагонами, що мають звивисте розгалуження. У густих деревостанах стовбур, як правило, прямий і майже циліндричний, зазвичай добре обрізаний від гілок у нижній частині. Молоді сосни зазвичай мають пірамідальну крону, тоді як старіші екземпляри розвивають округлу або зонтикоподібну крону. Пагони сосни зазвичай бувають двох типів: видовжені та вкорочені. Хвоя на вкорочених пагонах довга, вузька, зелена, розташована в пучках по 2, 3 або 5 голок у пучку, тоді як на видовжених пагонах вона набуває лускатого вигляду, спірально розташованого [11].

Сосни розмножуються переважно насінням, зрідка проростаючи пагонами з пнів, а також можуть розмножуватися штучно за допомогою живцювання. Вони не мають особливо суворих вимог до ґрунту і часто процвітають на збіднених, посушливих пісках, кам'янистій місцевості, слаборозвинених кам'янистих ґрунтах, сфагнових болотах та інших подібних середовищах [10].

Як важлива лісоутворююча порода, сосна часто утворює чисті деревостани на великих територіях, а також вдало співіснує з різними іншими деревними породами. Сосна має важливе значення в лісовому господарстві та особливо у деревообробній промисловості завдяки вдалому поєднанні фізико-механічних властивостей своєї деревини, які знаходять широке застосування в різних галузях економіки [6, 39].

Рід *Pinus* налічує близько ста видів, з них лише 6 видів зустрічаються в природних умовах на сучасній українській території [11].

Сосна звичайна, науково відома як *Pinus sylvestris* L., належить до підроду *Diploxylon* Koehne [10]. За оптимальних умов цей вид дерев може досягати вражаючої висоти 30-40 метрів і навіть більше, а діаметр потенційно може сягати до 1,0 метра. У лісових умовах *Pinus sylvestris* зазвичай має прямий, майже циліндричний стовбур. Однак у відкритому середовищі стовбур дерева може бути викривленим, а гілки, як правило, залишаються необрізаними, що негативно впливає на якість деревини.

Сосна звичайна демонструє швидкий ранній ріст. Максимальний приріст висоти зазвичай спостерігається у віці 15-20 років, продовжуючись до 25 років у менш сприятливих умовах. Надалі приріст значно сповільнюється, зрештою повністю припиняючись у віці близько 40-50 років. І навпаки, дерево продовжує збільшуватися в діаметрі протягом усього свого життя. Деревина сосни звичайної здатні прожити вражаючу тривалість життя - 300-350 років, а задокументовані випадки навіть більшої тривалості життя.

Характер росту сосни звичайної характеризується моноподіальним розвитком. Молоді пагони мають голий характер і коричневе лускоподібне

листя з зеленувато-сірим відтінком. Бруньки, розміром 6,0-12,0 мм завдовжки, червонувато-коричневі, видовжено-яйцеподібної форми, гостроконічні. Вони містять велику кількість смоли і, як правило, розташовуються у вигляді спіралі навколо верхівкової бруньки на кінці пагона. Зрідка бруньки можуть з'являтися на пагонах збоку, але не перетворюються на гілки [31].

Забарвлення хвої *сосни* блакитнувато-зелене, з опуклою верхньою поверхнею і пласкою нижньою. Вони відрізняються жорсткістю і закінчуються гострими кінчиками, розміром до 8 см в довжину і 2 мм в ширину. Зазвичай тривалість життя цих хвоїнок становить 2-3 роки, хоча відомі випадки, коли хвоя зберігається протягом тривалого часу, наприклад, 6-8 років і більше, особливо в певних екологічних умовах [10, 11, 43].

Південна межа природного поширення *сосни* звичайної починається трохи нижче п'ятидесятої паралелі на північ, простягаючись від Хотина через Шепетівку, а також Смілу та Черкаські ліси, далі через Кременчук, розташований трохи північніше Новомосковська, і далі до Слов'янська. Важливо зазначити, що південна межа ареалу, яка характеризується більш постійною присутністю цього виду, значно простягається на північ порівняно з окресленою лінією. Ця розширена зона охоплює регіони від Львова через Шепетівку, Житомир, Київ, Чернігів і простягається на південь від Брянська [11]. Соснові насадження у межах Центрального Полісся мають свої особливості [4, 5, 12]. зазнали значного впливу лісових пожеж [2, 7, 8].

Слід зазначити, що лісові насадження *сосни* звичайної тепер можна зустріти в регіонах значно південніше її природного ареалу

1.2. Історія вивчення електрофізіологічних показників.

Вивчення електрофізіологічних властивостей деревних порід має свою тривалу історію [17]. У деревних рослин відбувається складна взаємодія з безліччю чинників, особливо абіотичних, серед яких визначальну роль

відіграють температурний режим і наявність вологи. Завдяки цій взаємодії відбувається просторовий розподіл рослин, окреслюється структура та межі їхніх ареалів. Встановлено, що швидкість, з якою вода проходить через структуру рослини, та її інтенсивність відповідають рівню життєздатності особини. Домінуючі дерева демонструють більш енергійний рух поживних речовин порівняно з ослабленими, і особливо порівняно з деревами, що перебувають у стані занепаду [6].

Використання діелектричних параметрів, а саме імпедансу (R) та поляризаційної ємності (C), є засобом проактивного пом'якшення потенційних загроз всихання деревних рослин. Використання електрофізіологічних методів для моніторингу фізіологічного стану деревних рослин у регіонах, схильних до несприятливого впливу різних шкідливих чинників, дає можливість заздалегідь прогнозувати негативні наслідки та впроваджувати відповідні превентивні заходи. Електрофізіологічні методи прогресивно інтегруються у галузь лісівничих наукових досліджень [14, 15, 19, 21, 25, 26].

На даний час сфера штучного лісовідновлення та лісорозведення стикається зі значними проблемами. Відсутність зимових морозів, відсутність снігового покриву, недостатня кількість опадів та сильна літня спека призводять до значних втрат під час лісорозведення. Молоді саджанці сосни постійно піддаються впливу несприятливих умов. Швидке діагностування за допомогою електрофізіологічних методів може допомогти оцінити ступінь цих впливів і спрогнозувати перспективи виживання лісових культур. Метод застосовувався в різних дослідженнях в Україні для оцінки стану соснових насаджень, що зазнали впливу таких чинників, як забруднення іонізуючим випромінюванням [13], низинні пожежі [27, 28] та присутність ратичних мисливських тварин [20-22]. Ці дослідження зосереджені переважно у стиглих та перестійних деревостанах. На цьому етапі соснові насадження вже сформували цілісний лісовий масив – деревостан, що робить їх більш стійкими до стресових чинників

навколишнього середовища. На більш ранніх стадіях, до змикання положу, окремі дерева є більш вразливими як до абіотичних, так і до біотичних впливів [29]. Особлива увага приділяється впливу шкідників на стійкість лісових культур. Дослідження показали, що завдяки потенціалу, закладеному в особинах сосни звичайної, вплив соснового короїда проявляється у зміні фізіологічних процесів при сильному заселенні. Подібні дані задокументовані для звичайного шютте [41], а В.К. Заїка з однодумцями дійшли аналогічних висновків щодо патогенної дії осіннього опенька [9].

Імпеданс і поляризаційна ємність складних тканин рослин демонструють значні сезонні коливання. Графіки, що відображають річну динаміку імпедансу тканин, часто набувають форми, близької до параболи, з численними локальними піками, як додатніми, так і від'ємними. Отже, дослідження цих закономірностей зазвичай відбувається в розпал літнього сезону, що характеризується найбільш активною ростовою діяльністю в тканинах деревних рослин. Крім того, існує значна варіабельність базових тканинних показників окремих дерев, що ускладнює безпосереднє використання цих показників для моніторингу здоров'я лісових насаджень [24].

У світлі цих спостережень стає очевидним, що дослідження варіацій активного опору (імпедансу) дерев відіграє вирішальну роль в оцінці ступеня впливу несприятливих факторів. Дослідження деревостанів необхідно проводити в умовах, які максимально наближені до умов росту і розвитку рослини, як на рівні окремого дерева, так і в межах репрезентативного біогеоценотичного контексту. Такий комплексний підхід до вивчення цього питання дозволить ефективно управляти життєздатністю лісових біогеоценозів в цілому, а також окремих дерев.

РОЗДІЛ 2

РАЙОН, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика території Городницького лісництва.

Городницьке лісництво належить до складу Філії «Звягельське лісове господарство лісгосп». Загальна площа згаданого лісництва становить 6436,0 гектарів.

За лісорослинним районуванням С.А. Генсірука [3] Городницьке лісництво розташоване в межах Українського Полісся і входить до складу Центральнополіського сектора Поліської лісорослинної області. Відповідно до системи районування [36-37], лісництво входить до Західно-Поліського округу Лісової лісогосподарської області.

З точки зору комплексного фізико-географічного районування, Городницьке лісництво розміщене в центральній зоні мішаних лісів в межах Українського Полісся на Східноєвропейській рівнині [32]. Переважаючий клімат на цій території є сприятливим для ведення лісового господарства [33].

За рельєфом територія Городницького лісництва являє собою помірно хвилясту рівнину із загальним нахилом на північний схід, що характеризується наявністю невеликих пагорбів та западин. Ці форми рельєфу є результатом льодовикових процесів та наступних післяльодовикових явищ [33, 34].

На території Городницьке лісництва однією з основних деревних порід, яка відіграє домінуючу роль, є сосна звичайна. Крім того, є невеликі ділянки лісових насаджень, що містять такі види, як береза повисла (*Betula pendula*), дуб звичайний (*Quercus robur*) та вільха чорна (*Alnus glutinosa*) [38].

Для господарства, як і для регіону в цілому [18], характерним є переважання сосни звичайної, частка якої становить 46,7% від загальної площі лісового фонду. Ці соснові ліси мають такі середні лісівничо-

таксаційні параметри: середній вік - 52 роки, бал бонітету - 1,3, щільність деревостану - 0,69. Відносно менші площі займають насадження з переважанням берези повислої, що охоплюють 5 489,8 га (20,7% від загальної площі), та дуба звичайного, що простягається на 5 772,3 га (21,7%). Середні оціночні характеристики насаджень берези повислої такі: середній вік - 49 років, бал бонітету - 1,8, щільність деревостану - 0,67. У випадку насаджень з переважанням дуба середній вік становить 63 роки, бонітет - 1,7, а повнота деревостану - 0,69, що характеризується складом 8Дз1Бп1Ос. Лісові культури займають 36,9% від загальної площі господарства.

Середній загальний вік лісових насаджень становить 58 років, середній запас - 227 кубометрів на гектар. Коефіцієнт використання річного приросту становить 86,2%.

З точки зору типів оселищ у лісах, основними категоріями для Звягельського лісгоспу є свіжі соснові ліси (A_2-C) - 9,1%, а для суборів (В) - свіжі дубово-соснові субори ($B_2-дC$) та вологі дубово-соснові субори ($B_3-дC$), що становлять 43,3%. Складні субори складаються переважно з вологих грабово-дубово-соснових суборів ($C_3-ГдC$) [38].

Піщані дерново-підзолисті ґрунти переважають на вершинах дюнних утворень та підвищених ділянках, часто разом з болотними ґрунтами. Ці ґрунти утворені переважно давніми алювіальними відкладами, зрідка флювіогляціальними пісками. Їх унікальний механічний склад зумовлює специфічні властивості ґрунтів, які характеризуються легкою механічною структурою, обмеженою насиченістю вбирного комплексу та відносно низьким вмістом гумусу (1,0-1,5%). Ці ознаки в сукупності визначають досить скромні фізичні характеристики цих ґрунтів.

Неконсолідовані ґрунти розпадаються на основні механічні складові. Ці ґрунти мають відносно низьку капілярну вологоємність, яка зазвичай коливається від 12,0% до 15,0%. Як наслідок, будь-які опади швидко просочуються на значну глибину, несучи з собою розчинені поживні речовини. Як наслідок, навіть незначна посуха може призвести до значного

зниження вмісту вологи в ґрунті до критично низького рівня, часто до 1,0%. Такі коливання мають негативні наслідки для продуктивності насаджень, створених на цих ґрунтах.

Для порівняння, глинисто-піщані ґрунти мають кращі фізичні характеристики на відміну від піщаних. Вони мають вищий вміст гумусу, який зазвичай знаходиться в межах від 2,6% до 3,0%. Ці ґрунти часто включають середньо- та сильнопідзолисті варіанти.

Болотні ґрунти, відомі як торфовища, зазвичай розташовані в заплавах річок і струмків або в пониженнях серед піщаних прошарків. Товщина шару торфу в цих ґрунтах коливається від 0,5 до 3 метрів. Верхні шари торфу виглядають темно-коричневими, добре розкладеними і мають високий ступінь мінералізації [2].

2.2. Методика досліджень

Дослідження діелектричних властивостей у молодих насадженнях сосни виконували за методикою, викладеною Г.Т. Криницьким [26].

Заміри проводили за допомогою комбінованого приладу, а саме шигометра F4320. Даний прилад працює на стандартній частоті у 1000 Гц, що дозволяє одночасно вимірювати поляризаційну ємність та активну складову комплексного ємнісного опору, використовуючи схему паралельного заміщення. Апарат сертифікований для роботи в діапазоні температур навколишнього середовища від +11 до +36°C і відносній вологості повітря не більше 85%.

Джерелом живлення приладу є батарея постійного струму (крона) напругою у 7-9 В.

Процес вимірювання передбачає використання спеціально розробленого зонда, що складається з двох паралельних електродів з обов'язково інертного металу, розташованих на відстані 20 мм один від одного. Відповідно до методики Григорія Томковича [26], ці електроди

вводяться в тканину на глибину десяти міліметрів, орієнтуючись на область кореневої шийки для сосни звичайної. Дуже рекомендується уникати несприятливих погодних умов під час вимірювань, таких як високі температури, дощ та підвищений рівень вологості. Проводити вимірювання, коли кора рослини мокра, особливо не рекомендується, оскільки це може призвести до погрешностей в отриманих показниках.

У тимчасових тестових ділянках вимірювання включали визначення висоти та діаметру кореневої шийки модельних дерев. Українські назви рослин наведено за [10, 11], а латинські - за [44].

Статистичний аналіз зібраних даних проводили за загальноприйнятими методиками із застосуванням програмного пакету Statistica 10.

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕЗІМКНУТИХ КУЛЬТУР СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

3.1 Дослідження електрофізіологічних параметрів

Вивчення електрофізіологічних показників сосни звичайної, у тому числі і незімкнутих лісових культур на території Центрального Полісся проводили на території філії «Лугинське лісове господарство» упродовж 2021-2022 років [4, 23, 35].

Імпеданс та поляризаційну здатність молодих рослин сосни звичайної оцінювали тричі протягом вегетаційного циклу 2023 року. Перше вимірювання відбулося на початку вегетації, а саме 15 березня 2023 року (навесні). Друге оцінювання відбулося під час активної фази росту (літо) 11 серпня 2023 року. Третє і останнє вимірювання було проведено в осінній період, а саме 8 жовтня 2023 року.

Дослідження поляризаційної ємності та активного опору (імпеданса) проводили на території Городницького лісництва Філії «Звягельське лісове господарство». Пробні площі (ПП) тимчасового характеру закладали у девятому кварталі (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1.

Лісівничо-таксаційні показники деревостанів на пробних площах

№ ПП	Квартал (виділ)	Склад деревостану (НЛК)	Тип лісу	Вік, років	Рік створення	Клас бонітету	Якість лісових культур, клас
Городницьке л-во, Філія «Звягельське лісове господарство»)							
1	9(4)	10Сз	В ₂ -дС	5	2018	II	другий
2	9(7)	10Сз	В ₂ -дС	4	2019	I	перший
3	9(38)	10Сз	В ₃ -дсА	4	2019	II	другий

У лісових насадженнях, які були створені на території, що раніше була зайнята чистим сосновим деревостаном, були закладені тимчасові експериментальні ділянки. Згідно з матеріалами інвентаризації, під час до головної рубки у 2018-19 рр. склад демонструє різновіковий сосновий деревостан, в якому, зокрема, присутня була 80-річні дерева берези повислої (*Betula pendula* Roth.). Штучне насадження перебувало у фазі підросту протягом десяти років. Підлісок складався переважно з крушини ламкої (*Frangula alnus* Mill.). Щільність підліску була виміряна на рівні 0,20-0,30. Відповідно до селекційної оцінки, це вважалося стандартним деревостаном. Невеликі торф'яні ділянки були поширені на всій території. Деревостани були віднесені до бонітету другого класу у свіжому та вологому дубово-сосновому суборі (В₃-дС) з нормою запасу 350 м³*(га)⁻¹.

У 2018 та 2019 роках лісові культури було висаджено на свіжих зрубках за схемою чотирьох рядів сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) та одного ряду дуба черешчатого (*Quercus robur*). До 2023 року такі лісові культури досягли чотири-п'ятирічного віку. Примітно, що на лісокультурних ділянках лісові культури продемонстрували природне відновлення берези.



Рис. 3.1. Тимчасова пробна площа №1 (квартал 9 виділ 4)



Рис. 3.2. Тимчасова пробна площа №2 (квартал 9 виділ 7)

Отримані результати дослідження узагальнені в таблиці 3.2, яка відображає значення поляризаційної здатності та імпедансу для незімкнутих лісових культур у Городницькому лісництві Філії «Звягельське лісове господарство».

Тимчасова експериментальна зона відноситься до певного ряду посадки дерев *Pinus sylvestris* в межах визначеної території. Відбір цих рядів здійснювався незалежно через процес рандомізації з використанням таблиці випадкових чисел. У кожному з цих відібраних рядів було послідовно виміряно загалом 20 модельних дерев *Pinus sylvestris*, приділяючи особливу увагу центральній частині кожного ряду. Саме така кількість модельних дерев, на нашу професійну думку, ефективно репрезентує ключові характеристики та інтенсивність фізіологічних процесів у молодих деревах *Pinus sylvestris*. Важливо зазначити, що всі нежиттєздатні дерева в ряду були виключені з процесу вимірювання.

**Імпеданс та поляризаційна ємність дерев сосни звичайної
в умовах Городницького лісництва (незімкнуті лісові культури)**

№ ПП	C, nF		R, кОм	
	M	V, %	M	V, %
<i>Весна 2023 року</i>				
1	7,17	11,7	34,68	17,7
2	8,44	10,0	29,55	15,6
3	8,35	7,1	29,75	16,2
<i>Літо 2023 року</i>				
1	25,10	14,8	10,90	16,01
2	26,40	23,1	10,28	15,55
3	19,65	27,6	14,48	43,92
<i>Осінь 2023 року</i>				
1	20,05	21,1	14,10	22,8
2	19,93	22,5	13,45	26,4
3	14,92	22,3	15,03	28,4



Рис. 3.3. Тимчасова пробна площа №3 (квартал 9 виділ 38)

Далі ми розглянемо особливості зміни діелектричних показників за сезонами року.

3.2. Період весни

Як згадувалося раніше, у весняний період ми провели вимірювання діелектричних параметрів на початку березня 2023 року [16]. Що стосується імпедансу, то коефіцієнт варіації в ПП демонстрував стабільно вузький діапазон, коливаючись між 15,6% і 17,7%. І навпаки, для поляризаційної ємності діапазон варіації був відносно ширшим - від 7,1% до 11,7%. Зокрема, значення поляризаційної ємності, зафіксовані на експериментальних ПП-1 і ПП-3, коливалися від 7,17 до 8,44 нФ.

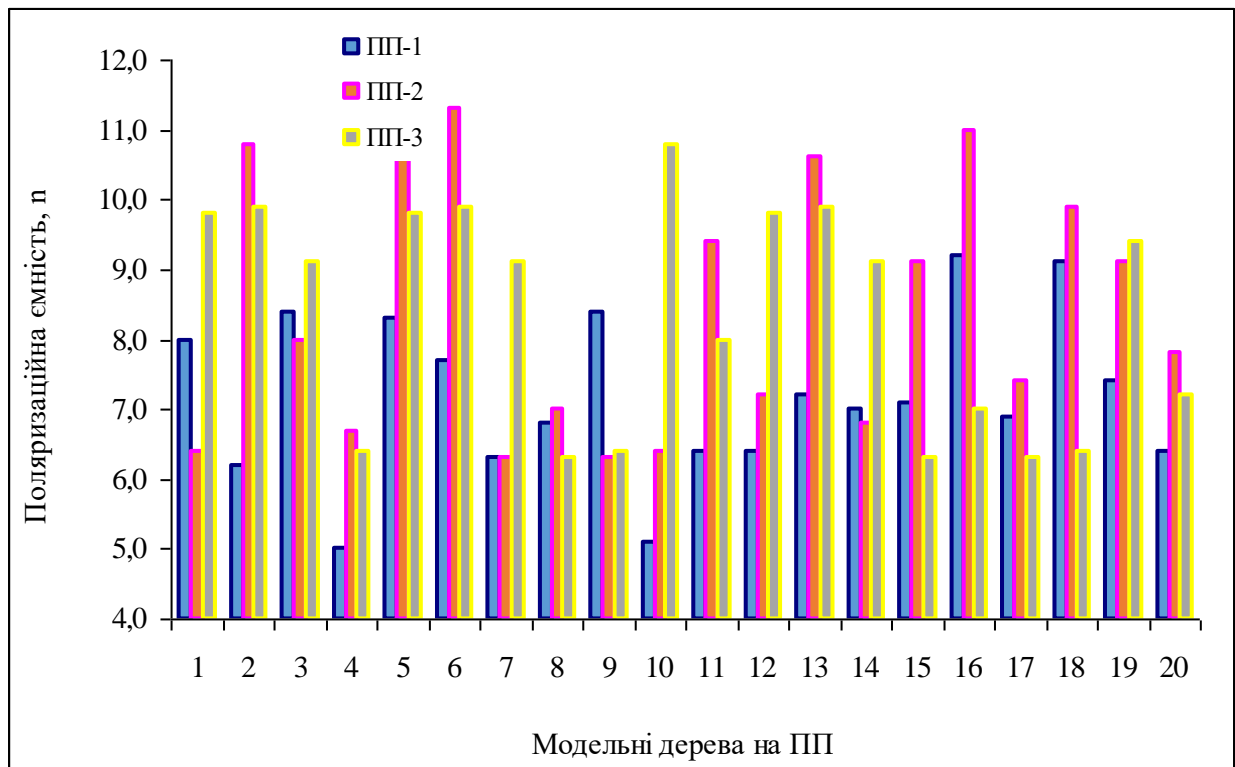


Рис. 3.4. Показники поляризаційної ємності (C , нФ) сосни звичайної (весняний період)

Наш аналіз показав, що між ПП-2 і ПП-3 не було суттєвої різниці в поляризаційній ємності ($F = 0,026 < F_{0,95}(1; 39) = 4,09$). Однак помітна

різниця спостерігається при порівнянні значень між ПП-1 і ПП-2 ($F = 6,74 > F_{0,95}(1; 39) = 4,09$) та ПП-1 і ПП-3 ($F = 7,01 > F_{0,95}(1; 39) = 4,09$). Це вказує на те, що значення поляризаційної ємності для ПП-1 значно відрізняються від значень поляризаційної ємності для ПП-2 у виділі 7 та ПП-3 у виділі 38, як показано на рисунку 3.4.

Як показано на рисунку 3.4, варіація показника на ПП-3 є мінімальною і становить лише 7,1%.

Результати вимірювання імпедансу на пробних площах представлені на рисунку 3.5.

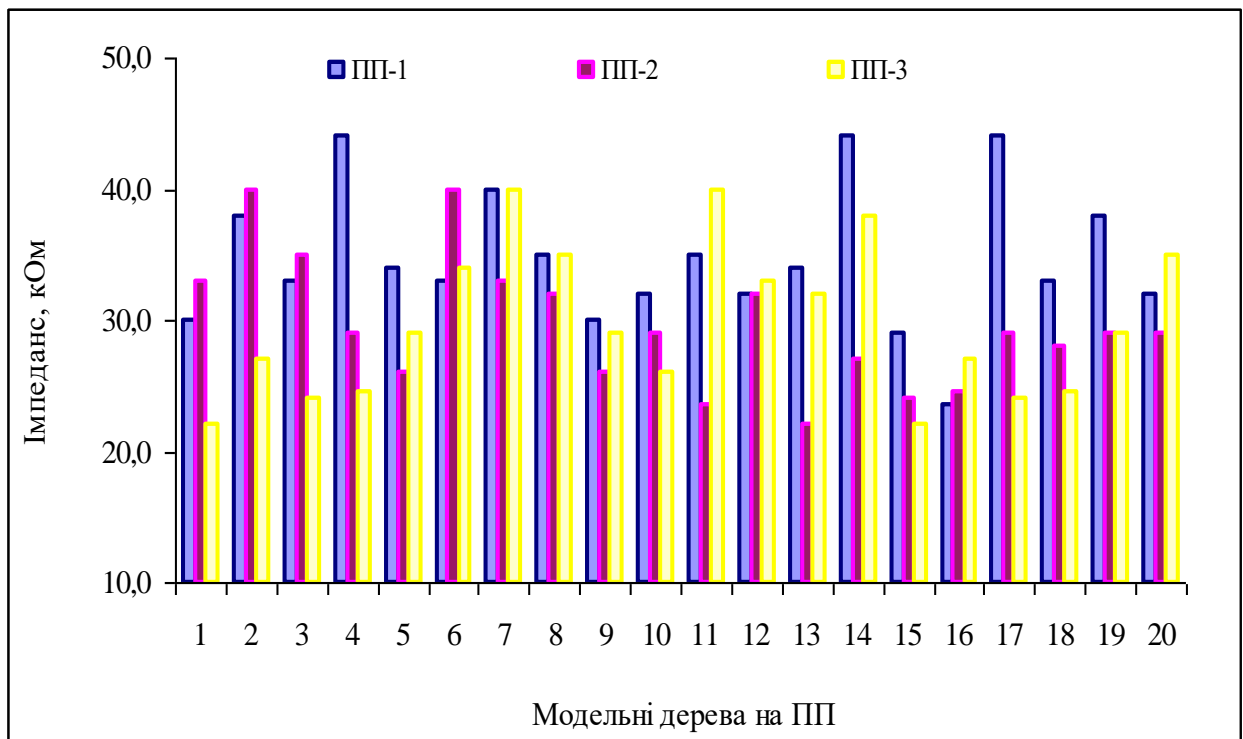


Рис. 3.5. Показники імпеданса (R , кОм) сосни звичайної (весняний період)

У весняний період ми визначили загальні значення опору на ПП, які знаходяться в діапазоні від 29,55 до 34,68 кОм. Як і для поляризаційної ємності, наш аналіз показав, що значення імпедансу на ПП-2 і ПП-3 не мають значних відмінностей ($F = 0,14 < F_{0,95}(1; 39) = 4,09$). Разом з тим, за результатами однофакторного дисперсійного аналізу було виявлено значну різницю між значеннями на ПП-1 і ПП-2, а також ПП-1 і ПП-3. Зокрема, ПП-

1 і ПП-2 показали істотну різницю ($F = 9,86 > F_{0,95}(1; 39) = 4,09$), і те ж саме було виявлено для ПП-1 і ПП-3 ($F = 7,79 > F_{0,95}(1; 39) = 4,09$). Варто підкреслити, що всі ПП показали майже однаковий індекс варіації в межах від 15,6% до 17,7%, що є дещо нетиповим. Звичайно цей показник має тенденцію бути більшим, ніж коефіцієнт варіації для поляризаційної ємності.

Максимальні та мінімальні показники варіації діелектричних показників не притаманні якійсь конкретній ПП.

3.3. Літній період

Протягом періоду активної вегетації (влітку) коефіцієнти варіації для діелектричних параметрів залишалися відносно стабільними у вузьких межах. Зокрема, для поляризаційної ємності він коливався від 14,80% до 27,60%, а для імпедансу - від 16,01% до 43,92%. Що стосується поляризаційної ємності, то значення на експериментальних ПП-1-ПП-3 коливалися від 19,65 до 26,40 нФ, як показано на діаграмі 3.6.

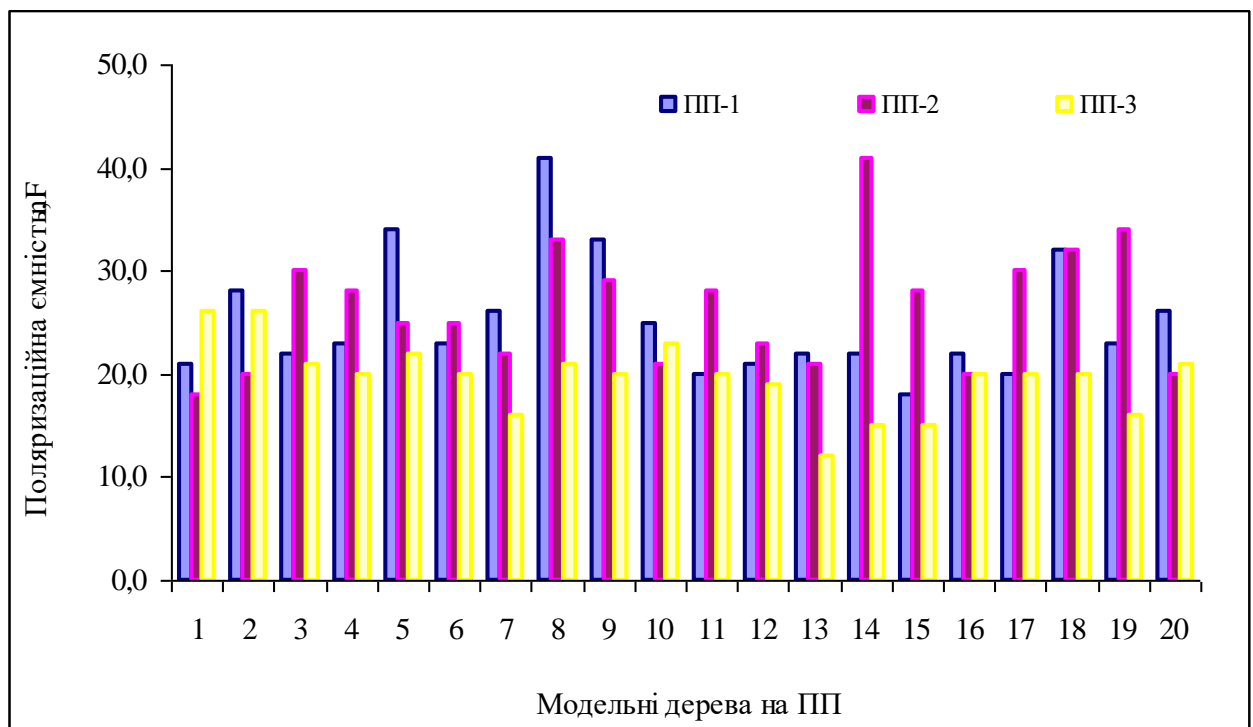


Рис. 3.6. Показники поляризаційної ємності (C , нФ) сосни звичайної (літній період)

Слід зазначити, що значна різниця в поляризаційній ємності спостерігалася між ПП-1 і ПП-3 ($F = 12,93 > F_{0,95}(1; 39) = 4,09$) та ПП-2 і ПП-3 ($F = 19,12 > F_{0,95}(1; 39) = 4,09$). Натомість не було виявлено достовірної розбіжності за цим показником між ПП-1 та ПП-2 ($F = 0,49 < F_{0,95}(1; 39) = 4,09$).

У серпні значення імпедансу були зафіксовані в діапазоні 10,28-14,48 кОм (див. рис. 3.7) [4]. Слід зазначити, що між ПП-1 і ПП-2 не було суттєвої різниці у значеннях імпедансу ($F = 1,26 < F_{0,95}(1; 39) = 4,09$). Однак, як показав однофакторний дисперсійний аналіз, між значеннями на ПП-1-ПП-3 та ПП-2-ПП-3 спостерігається помітна різниця: ПП-1-ПП-3 ($F = 10,20 > F_{0,95}(1; 39) = 4,09$) та ПП-2-ПП-3 ($F = 14,98 > F_{0,95}(1; 39) = 4,09$). Це свідчить про те, що життєві процеси в культурах сосни на тимчасових пробних площах протікають з досить різним ступенем інтенсивності.

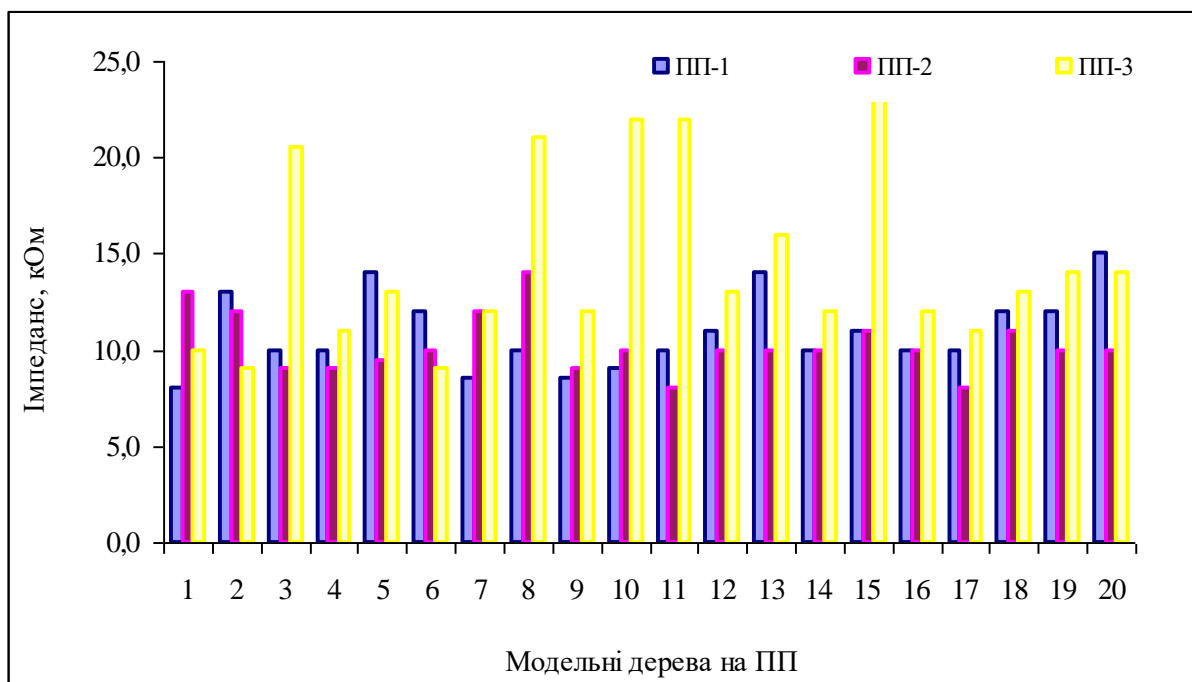


Рис. 3.7. Показники імпеданса (R , кОм) сосни звичайної (літній період)

Варто зазначити, що якщо навесні зв'язок між імпедансом і поляризаційною здатністю модельних дерев виглядав дещо дезорганізованим, то влітку ці діелектричні параметри демонстрували більш

організовані антагоністичні показники. Важливо зазначити, що зміни електрофізіологічних параметрів підпорядковуються чітким тенденційним змінам, де збільшення поляризаційної ємності відповідає зменшенню імпедансу, і навпаки. Така тенденція прослідковується як на ПП, так і упродовж періоду вегетації для кожного окремо взятого модельного дерева. Досить наочними і показовими у цьому сенсі є показники модельного дерева №14 на ПП-2 та №8 на ПП-1 (показник поляризаційної ємності становить 41,0 nF, а імпеданса відповідно – 10,0 кОм та 12,0 кОм) та модельного дерева №3, на ПП-3 (показник поляризаційної ємності становить відповідно 12,0 nF, а імпеданса – 23,0 кОм). Загалом показники імпеданса модельних дерев №3, №8, №10, №11, №15 суттєво відрізняються не лише від показників ПП-3, але і ПП-1 та ПП-2 (див рис. 3.6-3.7).

Упродовж вегетації, у літній період року, ми відзначаємо загальне зростання середніх показників поляризаційної ємності для модельних дерев *сосни звичайної* у три рази. Так на ПП-1 поляризаційна ємність підвищилася загалом у 3,50 рази, на ПП-2 – у 3,13 рази, на ПП-3 – у 2,35 рази. Натомість, у той же час імпеданс на ПП-1 понизився у 3,18 рази, на ПП-2 – у 2,87 рази, на ПП-3 – у 2,05 рази.

3.4. Осінній період

Під час осінньої фази життєвого циклу рослини, яка знаменує поступовий перехід до стану фізіологічного спокою, коефіцієнти варіації електрофізіологічних параметрів на пробних площах демонстрували відносно узгоджену картину. Зокрема, для поляризаційної ємності ця варіація коливалася від 21,1% до 22,5%, тоді як для імпедансу вона мала дещо ширший діапазон - від 22,8% до 28,4%. Якщо порівнювати з літнім періодом, то поляризаційна ємність для експериментальних ПП-1-ПП-3 зменшилася приблизно на 20,0%, зі значеннями в діапазоні від 14,92 до 20,05 нФ (див. рис. 3.8).

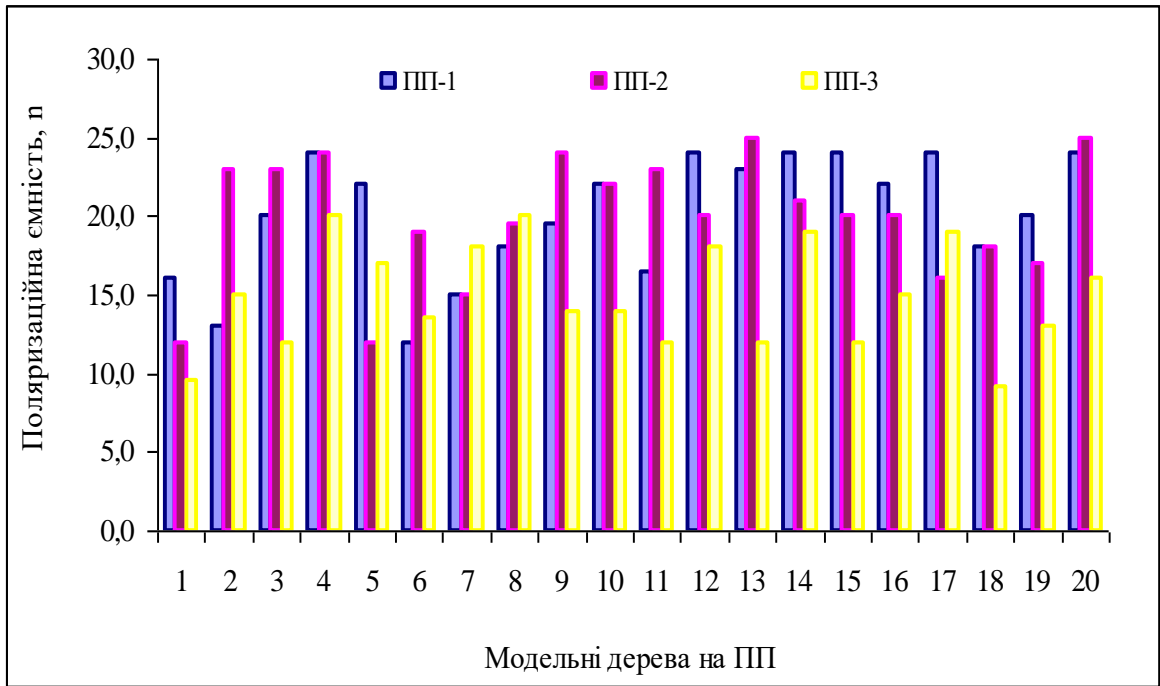


Рис. 3.8. Показники поляризаційної ємності (C , pF) сосни звичайної (осінній період)

Варто зазначити, що було виявлено значну різницю в поляризаційній ємності між ПП-1-ПП-3 ($F = 19,90 > F_{0,95}(1; 39) = 4,09$) і ПП-2-ПП-3 ($F = 18,73 > F_{0,95}(1; 39) = 4,09$). Однак не було виявлено значущої різниці за цим показником між ПП-1-ПП-2 ($F = 0,01 < F_{0,95}(1; 39) = 4,09$).

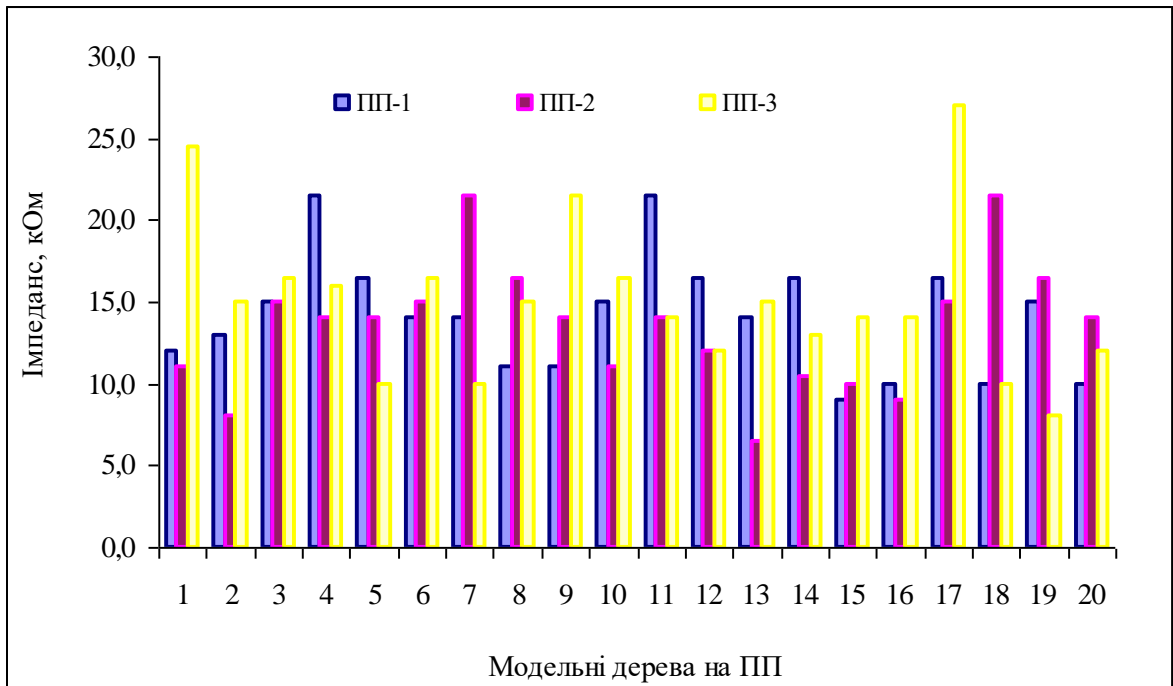


Рис. 3.9. Показники імпеданса (R , кОм) сосни звичайної (осінній період)

Щодо значень імпедансу, які спостерігалися на ПП під час осінньої фази, варто підкреслити, що ці значення не мали значних розбіжностей порівняно зі значеннями імпедансу, зафіксованими на ПП-3 в літній сезон (рис. 3.9).

Показники імпедансу під час переходу в стан спокою знаходилися в діапазоні 13,45-14,10 кОм, тоді як влітку вони були на рівні 10,28-14,48 кОм. Таку схожість значень імпедансу можна пояснити відносно вищими температурними умовами, що спостерігалися в осінній період 2023 року.

Також нами встановлено, що показники імпеданса на ПП-1, ПП-2 та ПП-3 достовірно не відрізняються. Так у парі ПП-1 – ПП-2 розрахунок наступний $F = 0,10 < F_{0,95} (1; 39) = 4,09$, у парі ПП-2 – ПП-3 розрахунок такий $F = 1,30 < F_{0,95} (1; 39) = 4,09$, у парі ПП-1 – ПП-3 розрахунок $F = 0,49 < F_{0,95} (1; 39) = 4,09$. Порівняно з літньою фазою, спостерігалось послідовне зниження значень поляризаційної здатності на всіх тимчасових тестових ділянках.

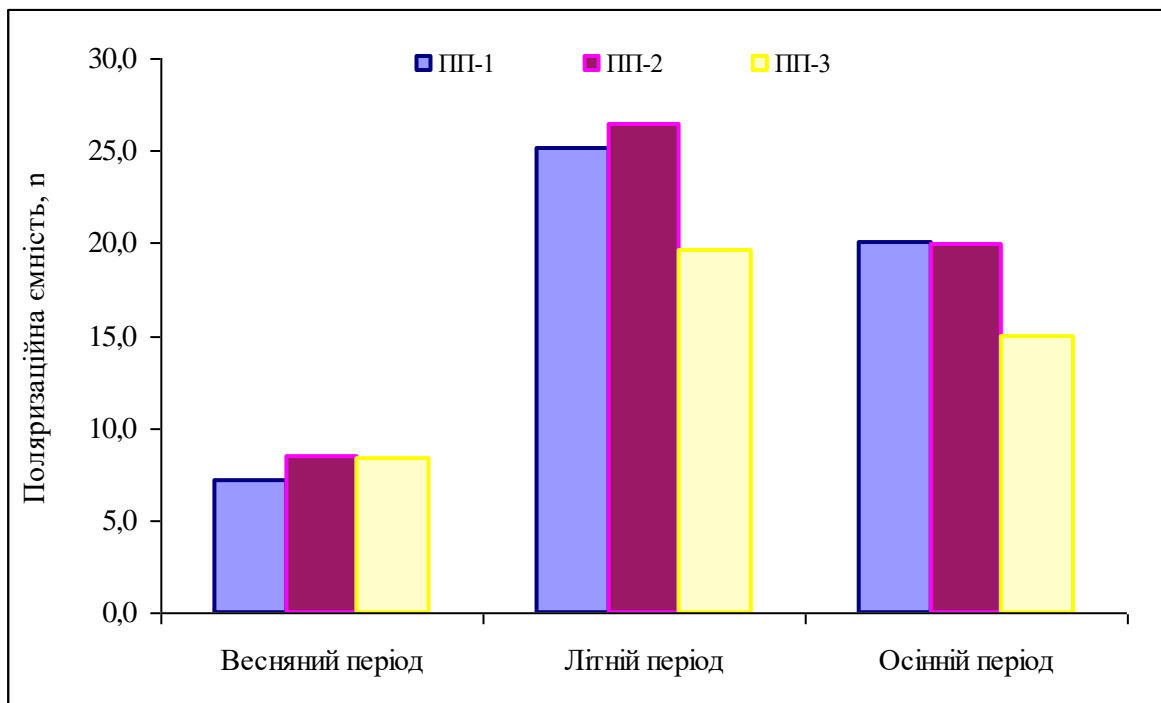


Рис. 3.10. Динаміка поляризаційної ємності дерев сосни звичайної на ПП

Розглядаючи загальні закономірності зміни діелектричних властивостей дерев сосни звичайної протягом вегетаційного періоду 2023 року, можна помітити, що значні зміни спостерігалися насамперед під час переходу пограничних станів (від стану спокою до активного росту). Наше дослідження розпочалося навесні, яка характеризувалася низькими позитивними температурами, і продовжувалося влітку на тлі спеки. Навіть у серпні температура навколишнього середовища залишалася досить високою. До середини жовтня, під час наших осінніх вимірювань, температура все ще була відносно підвищеною. У цей період соснові деревостани продовжували демонструвати активну вегетативну діяльність, на що вказували електрофізіологічні параметри визначені нами. У цей проміжок часу дерева ще не увійшли у фазу спокою, і вони не демонстрували жодних ознак переходу до типово осінніх значень (як показано на рис. 3.10-3.11).

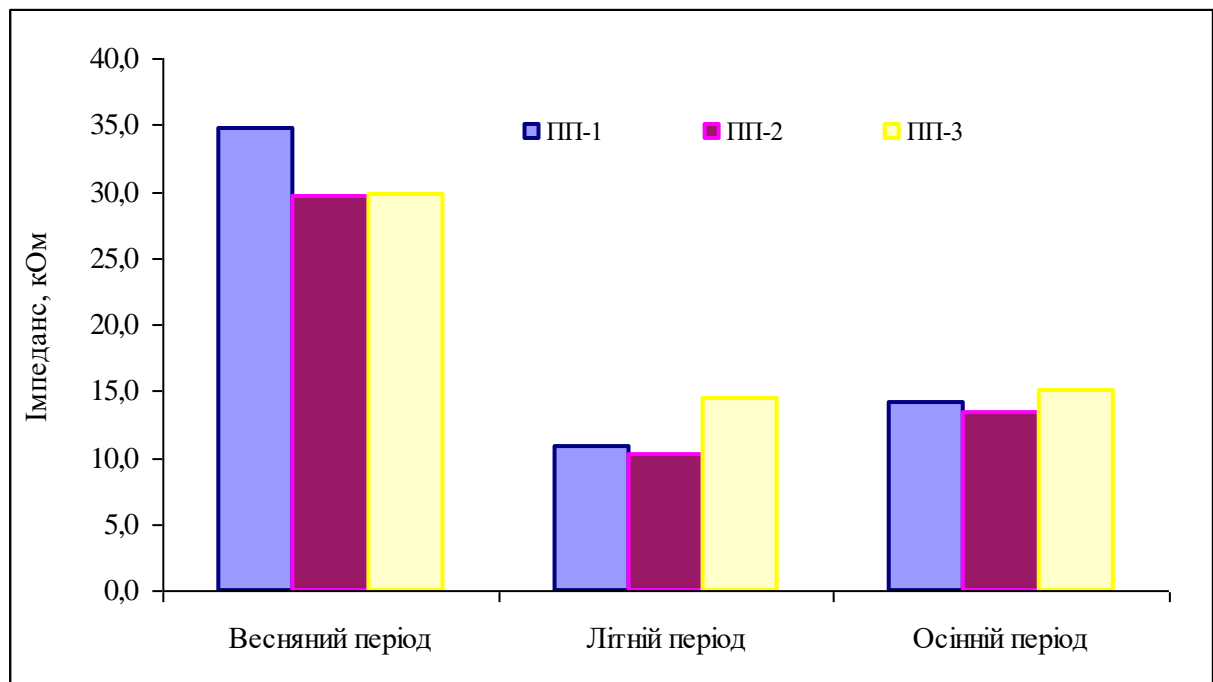


Рис. 3.11. Динаміка активного опору дерев сосни звичайної на ПП

Отже, ми проаналізували динаміку зміни діелектричних показників п'ятирічних культур сосни звичайної на досліджуваній території Городницького лісництва філії «Звягельське лісове господарство».

ВИСНОВКИ

У цьому дослідженні ми вивчали специфічні сезонні зміни діелектричних характеристик незімкнутих лісових культур сосни в лісових екосистемах Городницького лісництва Філії «Звягельське ЛГ». Результати наших досліджень дозволяють зробити наступні висновки та узагальнення.

1. Тимчасові експериментальні ділянки були закладені в практично ідентичних лісорослинних умовах, з однаковим віком лісових культур, способом посадки та схемою змішування. Поляризаційна ємність дерев сосни звичайної на цих ділянках протягом року мала такі значення: у весняний період - від 7,17 до 8,44 нФ; протягом літнього сезону - від 19,65 до 26,40 нФ; в осінній період - коливалася між 14,92 і 20,05 нФ.

2. Імпеданс, або активний опір становив: навесні – 29,55-34,68 кОм; влітку – 10,28-14,48 кОм; восени – 13,45-15,03 кОм.

3. Використовуючи однофакторний дисперсійний аналіз, ми визначили, що з точки зору електрофізіологічних параметрів, лісові культури на ПП-2 демонстрували найвищий рівень життєздатності серед досліджуваних штучних насаджень. І навпаки, культури на лісокультурній площі кв. 9 вид. 38 (ПП-3) демонстрували дещо повільніший розвиток порівняно з культурами на ПП-1 та ПП-2. Варто зазначити, що вимірювання діелектричних властивостей навесні спочатку вказували на незначну затримку розвитку лісових культур на ПП-1 (кв. 9 вид 4).

4. Аналізуючи ширші тенденції змін діелектричних параметрів протягом вегетаційного періоду 2023 року, важливо підкреслити, що значні варіації спостерігалися насамперед під час переходу від стану спокою до активного росту. Наші дослідження охоплювали різні кліматичні умови: від прохолодних весняних температур до літньої спеки і, зрештою, до все ще теплого періоду середини жовтня восени. Впродовж цієї останньої фази соснові насадження все ще перебували в стадії активного вегетативного росту, про що свідчать їхні електрофізіологічні показники.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. 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.
3. Генсірук С. А. Ліси України : монографія. Львів : Українські технології, 2002. 496 с.
4. Гордієнко М.І., Шлапак В.П., Гойчук А.Ф., Рибак В.О., Маурер В.М., Гордієнко Н.М., Ковалевський С.Б. Культури сосни звичайної в Україні. Київ: Вид. Інституту аграрної економіки УААН, 2002. 872 с.
5. Гордієнко М.І., Гойчук А.Ф., Макарчук А.І., Гордієнко Н.М. Формування високопродуктивних насаджень сосни звичайної Овруцько-словечанського кряжа. Київ: Вид. Інституту аграрної економіки УААН, 2003. 192 с.
6. Гордієнко М.І., Гордієнко Н.М. Лісівничі властивості деревних рослин. Київ: ТОВ «Віста», 2005. 818 с.
7. 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.
8. 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.

9. Дерев'янчук Ю. Л., Заїка В. К. Морфофізіологічна реакція дерев сосни звичайної, уражених опеньком осіннім. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011, т. 21, № 19. С. 18-24.
10. Заячук В.Я. Дендрологія. Голонасінні. Львів: Камула, 2005. 176 с.
11. Заячук В.Я. Дендрологія. Львів: СПОЛОМ, 2014. 646 с.
12. Жуковський О. В. Зборовська О. В. Структура соснових насаджень Житомирського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Т. 23, № 3. С. 49–54.
13. Заїка В. К. Діелектричні показники сосни звичайної на радіаційно забруднених територіях. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2004, т. 14, № 1. С. 12-15.
14. Заїка В. К., Криницький Г. Т., Іваницький Р. С. Природне заліснення та лісівничо-екологічні і морфофізіологічні особливості лісостанів на покинутих сільськогосподарських землях Північно-Західного Поділля. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2013. Т. 11. С. 41–50.
15. Заїка В. К., Руденко А.В. Морфофізіологічні особливості дерев сосни звичайної в борах Малого Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012, т. 22, № 9. С. 9-13.
16. Клим В.В. Показники поляризаційної ємності культур сосни звичайної в умовах Філії «Звягельське лісове господарство» (весняний аспект). *Ліс, наука, молодь*: матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Житомир, 23 листопада 2023 р.). Житомир, 2023. С. 82.
17. Клим В.В., Сергійчук Б.В., Іваненко І.І. Основні етапи вивчення електрофізіологічних властивостей деревних порід. *Стан і майбутнє лісового господарства, деревообробки та землевпорядкування* : збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених (9-10 жовтня 2023, м. Харків, Україна). Харків, 2023. С. 31-32.

18. Краснов В. П., Жуковський О. В. Структура лісового фонду Житомирського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Т. 23, № 6. С. 27–35.
19. Кратюк О. Л. До питання вивчення електрофізіологічних властивостей деревних порід. *Біологічні дослідження – 2018* : зб. наук. праць. Житомир : ПП «Рута», 2018. С. 34–36.
20. Кратюк О. Л. Сезонна зміна діелектричних показників сосни звичайної в умовах напіввільного утримання мисливських тварин. *Екологічні науки*. 2019, т. 27, № 4. С. 192–196.
21. Кратюк О. Л. Діелектричні показники сосни звичайної в умовах напіввільного утримання ратичних (*cervidae, bovidae*) на території Західного і Центрального Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30, № 1. С. 55–59.
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. 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.
24. Кратюк О.Л., Клим В.В., Сергійчук Б.В. Особливості застосування діелектричних показників у вивченні електрофізіологічних параметрів деревних порід. *Природно – ресурсний комплекс Західного Полісся в контексті сталого розвитку* : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти, м. Березне, 16-17 травня 2023 року. [Електронне видання]. Березне : НСІ НУВГП, 2023. С. 116-117.

25. Криницький Г.Т. Електрофізіологічні дослідження деревних рослин в Україні. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть*. 2001, т. 2. С. 233–237.
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. Залежність пожежної небезпеки лісових насаджень від локальних лісівничих показників. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.6. С. 58–63.
29. Лавний В. В., Криницький Г. Т. Електрофізіологічні показники підросту деревних порід. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011, т. 21, № 17. С. 86-90.
30. Литвак П. В., Таргонський П. Н., Бруцький Ю. В. Скарби лісових екосистем Полісся. Житомир : Державний агроекологічний університет, 2006. 430 с.
31. Литвак П.В., Ткачук В.І. Дендрологія. Житомир: Полісся, 2002. 338 с.
32. Маринич О.М. Українське Полісся. Київ: Рад. школа, 1962. 163 с
33. Маринич О. М., Шищенко П. Г. Фізична географія України : підручник. Київ : Знання, 2005. 511 с.
34. Національний атлас України / Інститут географії НАН України, ТОВ «Інтелектуальні системи ГЕО», КПІ. Київ : Картографія, 2008. 440 с.
35. Осипчук В.М. Особливості зміни діелектричних показників сосни звичайної у результаті механічного пошкодження стовбура в умовах ДП «Лугинське ЛГ». *Проблеми ведення та експлуатації лісових і мисливських ресурсів: матеріали III Всеукраїнської науково-практичної*

конференції присвяченої пам'яті професора А.І. Гузія. (м. Житомир, 12 жовтня 2022 р.). Житомир, 2022. С. 42-43.

36. Остапенко Б. Ф. Типи лісу рівнинної території України. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2003. Т. 13, № 3. С. 27–42.

37. Остапенко Б. Ф., Ткач В. П. Лісова типологія : навч. посібн. Харків : ХНАУ ім. В. В. Докучаєва, 2002. Ч. 2. 204 с.

38. Проект організації і розвитку лісового господарства ДП «Городницький лісгосп» Житомирської області. Городницьке лісництво. Ірпінь. 2019. 277 с.

39. Поварницин В. О. Ліси Українського Полісся. Київ : УАСГН, 1959. 208 с.

40. Рибак Ю.Л. Електрофізіологічні показники уражених сосновим вертуном дерев сосни звичайної в умовах Західного Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012, т. 22, № 12. С. 42–48.

41. Рибак Ю.Л., Заїка В. К. Зміна електрофізіологічної активності у дерев сосни звичайної, уражених шютте звичайним. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013, т. 23, № 2. С. 90–96.

42. Ткачук В.І. Проблеми вирощування сосни звичайної на Правобережному Поліссі. Житомир: Волинь, 2004. 464 с.

43. Щепотьєв Ф.Л. Дендрологія. Київ: Вища школа, 1990. 288 с.

44. Mosyakin S.L., Fedoronchuk M.M. Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist. Kiev, 1999. 345 p.

45. James D. Mauseth. Botany: An Introduction to Plant Biology. Jones & Bartlett Learning. 2019. 844 p.