

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

БАБИЧ МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 630\*521.1(477.42)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

ОСОБЛИВОСТІ ДІАГНОСТИКИ ЖИТТЄВОГО СТАНУ ДЕРЕВ  
СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ  
В УМОВАХ ЖИТОМИРСЬКОГО ЛІСНИЦТВА  
ДП «ПУЛИНСЬКИЙ ЛІСГОСП АПК»

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

\_\_\_\_\_ М.М. Бабич

Керівник роботи  
Кратюк Олександр Леонідович  
кандидат біологічних наук, доцент

**Висновок кафедри експлуатації лісових ресурсів та деревообробних технологій за результатами попереднього захисту**

---

Протокол засідання кафедри експлуатації лісових ресурсів та  
деревообробних технологій

№ \_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

Завідувач кафедри експлуатації лісових ресурсів та деревообробних  
технологій

к.б.н., доцент \_\_\_\_\_ Кратюк Олександр Леонідович  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Результати захисту кваліфікаційної роботи**

Здобувач вищої освіти Бабич Микола Миколайович захистив кваліфікаційну  
роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою \_\_\_\_\_

за шкалою ECTS \_\_\_\_\_

за національною шкалою \_\_\_\_\_

Секретар ЕК \_\_\_\_\_ Білецька Наталія Миколаївна

## АНОТАЦІЯ

Бабич М.М. Особливості діагностики життєвого стану дерев сосни звичайної електрофізіологічними методами в умовах Житомирського лісництва ДП «Пулинський лісгосп АПК». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 205 – лісове господарство. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

У магістерській роботі проведено аналіз поляризаційної ємності та імпеданса дерев *Pinus sylvestris* різних категорій стану. Виявлено особливості динаміки діелектричних показників *Pinus sylvestris* різних категорій стану упродовж року на території ДП «Пулинський лісгосп АПК». Встановлено, що ступінь життєвого стану дерев, корелює з величиною коливань поляризаційної ємності та імпеданса упродовж періоду вегетації. Результати досліджень свідчать, що зміна діелектричних показників деревних рослин під дією негативних чинників служить одним з адекватних підходів до діагностики станів лісових екосистем і може бути застосована для швидкої індикації категорій санітарного стану дерев.

*Ключові слова:* поляризаційна ємність, імпеданс, типи лісу, *Pinus sylvestris*, ДП «Пулинський лісгосп АПК».

## ANNOTATION

Babych M.M. Peculiarities of Scots pine living conditions diagnostics with electro physiological methods in Zhytomyr forestry SE «Pulyny Agro forestry» – Qualifying work on the rights of the manuscript.

Qualification work for the master's degree in specialty 205 – Forestry. – Polissia National University, Zhytomyr, 2020.

In the master's thesis the analysis of polarization capacity and impedance of *Pinus sylvestris* tree of different categories of condition is carried out. Peculiarities of the dynamics of dielectric parameters of *Pinus sylvestris* of different categories of condition during the year on the territory of SE «Pulyny Agro forestry» are revealed. It is established that the degree of living condition of trees correlates with the magnitude of fluctuations of polarization capacity and impedance during the growing season. The results of research show that the change of dielectric parameters of woody plants under the influence of negative factors is one of the adequate approaches to the diagnosis of forest ecosystems and can be used to quickly indicate the categories of sanitary condition of trees.

*Key words:* capacitance polarization, impedance, forest type *Pinus sylvestris*, SE «Pulyny Agro forestry».

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ	7
1.1. Фізіологічні процеси сосни звичайної та показники визначення її життєдіяльності	7
1.2. Вивчення електрофізіологічних показників	10
РОЗДІЛ 2. РАЙОН, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	14
2.1. Характеристика району досліджень	14
2.2. Еколого-біологічна характеристика <i>Pinus sylvestris</i>	15
2.3. Методика проведення досліджень	17
РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ	20
3.1. Визначення діелектричних показників	20
3.2. Весняний період	23
3.3. Літній період	24
3.4. Осінній період	27
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32
ДОДАТКИ	37

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Погіршення санітарного стану лісів України і, особливо, соснових в останні роки потребує удосконалення уже існуючих та розробки нових методик визначення категорій стану дерев. Особливо необхідно розробити експрес-методи ранньої діагностики погіршення санітарного стану лісових насаджень. Жоден з природних патогенів не діє миттєво, а отже дозволяє нам виявити відхилення від нормального перебігу процесів життєдіяльності уже на ранніх стадіях. Зменшення інтенсивності руху поживних речовин, одна перших ознак сповільнення процесів життєдіяльності, яку можна виявити шляхом визначення діелектричних показників і як наслідок зупинити або ж уповільнити протікання негативних процесів в організмі рослини.

**Мета і завдання дослідження.** За мету роботи ставили вивчення особливостей діагностики життєвого стану дерев сосни звичайної електрофізіологічними методами в умовах Житомирського лісництва ДП «Пулинський лісгосп АПК».

Для досягнення мети передбачалось виконання таких завдань:

1. Провести лісівничо-таксаційну характеристику лісовим насадженням та виявити дерева різних категорій стану.
2. Встановити зміни діелектричних показників дерев *Pinus sylvestris* різних категорій стану упродовж вегетаційного періоду.
3. Виявити особливості динаміки імпеданса та поляризаційної ємності у дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану.

**Об'єктом досліджень** є чисті деревостани *Pinus sylvestris*.

**Предметом досліджень** є закономірності зміни діелектричних показників дерев *Pinus sylvestris* різних категорій стану упродовж вегетаційного періоду.

**Методи дослідження:** у дослідженнях використали, лісівничо-таксаційні методи для характеристики лісових насаджень,

електрофізіологічні – для визначення діелектричних показників, математико-статистичні методи для статистичної обробки отриманих матеріалів.

### **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.

**Бабич М.М.** Електрофізіологічні показники насаджень сосни звичайної у літній період в умовах ДП «Пулинське лісове господарство АПК». *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. 32-34.

**Бабич М.М.** Діелектричні показники насаджень сосни звичайної в умовах ДП «Пулинське ЛГ АПК». *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. 10-11.

**Практичне значення.** Вперше для умов Житомирського лісництва ДП «Пулинський лісгосп АПК» встановлено взаємозв'язок діелектричних показників дерев *Pinus sylvestris* та категорій стану упродовж вегетаційного періоду.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота представлена на 36 сторінках друкованого тексту і включає вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел та додатки.

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ

#### 1.1. Фізіологічні процеси сосни звичайної та показники визначення її життєдіяльності.

Вивчення життєдіяльності рослин в різних екологічних умовах має важливе значення для теорії практики лісового господарства. Продуктивність рослин та їх якісні особливості визначаються як зовнішніми, так і внутрішніми чинниками. Всі екологічні чинники життєдіяльності рослин – рівнозначні, незамінні та взаємовпливають один на одного. Виходячи з старих уявлень здавалося, що рівень врожаю сільськогосподарських культур повністю визначається хімізацією виробництва, а підвищити продуктивність лісових насаджень можливо лише шляхом введення швидкоростучих деревних порід з невеликим терміном обороту рубок. Проте наразі відомі більш фундаментальні чинники.

Наразі вчені приділяють значну увагу впливу екологічних чинників на рослини. Ціла низка екологічних законів розкриває фундаментальні закономірності функціонування у тому числі і лісових біогеоценозів [35, 36, 47]. Всі ці закони відображають сходинки пізнання в системі «рослина – середовище». На сучасному етапі розвитку науки уявлення про сукупність дій чинників життєдіяльності рослин можна і потрібно назвати законом їх системної взаємодії [31].

Життєдіяльність сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), її біологічні особливості в різних екологічних умовах вивчені недостатньо, не дивлячись на її широке поширення в біогеоценозах та велику цінність як основної лісотвірної породи [46]. Разом з тим, важливість таких досліджень на даному етапі зростає з огляду на проблеми раціонального використання рослинної маси і пізнання функцій компонентів природних систем. Такі дані конче потрібні для практики лісового господарства.

Водний режим деревних рослин завжди був у центрі уваги дослідників, як один з найважливіших чинників продуктивності рослин. Тому дослідження водного режиму рослин з кожним роком розширюється за рахунок використання як традиційних так і нових методів пізнання. Наразі інтенсивно розробляються питання структури и стану води в рослинах та їх вплив на хід фізіологічних процесів. За несприятливих умов вологості ґрунту відбувається перерозподіл фракційного складу вологи. Під впливом посухи зростає волого утримуюча здатність клітин, що веде до збільшення фракції найбільш зв'язаної води. Зростання цих сил відбувається в результаті зміни біохімічних процесів. При цьому зростає вміст водорозчинних білків та осматичної діяльності речовин. Збільшення кількості таких сполук, які утримують вологу, відіграє важливу роль у збереженні життя рослин за несприятливих умов [31].

Важливим елементом пізнання електрофізіологічних процесів у *Pinus sylvestris* є розуміння водного режиму вегетативних органів, і особливо стовбура, адже саме з цим органом пов'язані процеси транспортування поживних речовин, інтенсивність протікання яких і визначають діелектричні показники.

Загалом запаси вологи в стовбурі *Pinus sylvestris* змінюється як у поперечному розрізі так і у поздовжньому. В цілому відсоток вологості заболонної деревини в різних умовах місцезростання збільшуються від шийки до верхівки. У порівнянні із заболонною деревиною, відсоток вологості ярової деревини змінюється відносно мало, а величина досягає тільки 30-35%. Таким чином запас вологи заболонної деревини у 4-5 разів перевищує ядерну. Аналіз вологи деревини в різних трофотобах показав, що заболонна і ядрова деревина у борах і суборах не відрізняється. Запаси вологи залежать від кліматичних умов місцевості, функціонального стану кореневої системи та фізіологічного стану самого дерева. З просуванням по висоті вологість деревини падає [31].



Аналіз вмісту вологи у серцевині у різних за віком дерев, з різних місць та різного віку вказують, що вона практично не змінюється. Все це свідчить, що запаси вологи ядрової деревини не беруть активної участі у постачанні води живим клітинам. Говорячи про те що вологість деревини у різних частинах дерева різна, можна стверджувати, що і вимірювання поляризаційної ємності та імпеданса в різних частинах стовбура буда давати різні результати.

Найбільшу вологість має заболонна деревина, що знаходиться найближче до лубу, а по мірі віддалення від неї відсоток вмісту води знижується.

Важливе значення для більш повного пізнання процесів життєдіяльності *Pinus sylvestris*, її біологічних особливостей в різних едатопах мають показники вмісту вологи в залежності від періоду вегетації. Відомості про сезонні зміни вологи показали, що в зимовий період вміст води зростає, а під час вегетації знижується.

Якщо співставити максимальні зимові запаси вологи в деревині з мінімальними літніми, то виявляється, що її заболонна деревина може віддавати на транспірацію до 50% запасів води. При цьому не спостерігається яких-небудь фізіологічних змін у рослинах.

Таким чином, дослідженнями багатьох авторів виявлений тісний зв'язок водного режиму деревних рослин від вологості ґрунту та рівня ґрунтових вод. Древа мають найвищу вологість деревини взимку, а найменшу влітку [30]

Також важливим елементом розуміння фізіології деревних рослин є поняття про провідні тканини. Функція провідних тканин полягає у транспорті по рослині води з розчиненими в ній поживними речовинами. Тому клітини, з яких складаються провідні тканини мають витягнуту трубчасту форму, поперечні перегородки між ними, або їх зовсім нема, або вони усіяні численними порами [44].

Рух поживних речовин у рослин відбувається по двох основним напрямкам, а саме: від кореня до листків рухається вода з мінеральними речовинами, які рослина отримує з ґрунту, та від листків до підземних органів рослини рухаються органічні речовини, утворені під час фотосинтезу.

Розчинені у воді мінеральні та органічні речовини як правило рухаються різними шляхами. По судинах і трахеїдах піднімається вода з мінеральними речовинами, по ситовидним трубкам – найрізноманітніші продукти фотосинтезу [5]. Для хвойних рослин характерні трахеїди, які відрізняються від судин, тим що являють собою окремі замкнуті клітини з загостреними кінцями. Рух води та мінеральних речовин відбувається через різноманітні пори, які розташовані в оболонці трахеїд і тому мають меншу швидкість руху по відношенню до руху речовин по судинах. Трахеїди загалом за будовою схожі до судин, але є більш давніми та примітивними від них структурними елементами [5].

Провідні елементи входять до складу провідних пучків, які зазвичай складаються з двох частин – флоєми, чи луба та ксилеми, або деревини. До складу флоєми (луба) входять ситовидні трубки з клітинами-супутниками, луб'яна паренхіма та луб'яні волокна. До складу ксилеми входять судини і трахеїди, центральна паренхіма та деревні волокна.

## **1.2. Вивчення електрофізіологічних показників.**

Рослини знаходяться під комплексним впливом чинників різної фізичної природи, найважливішими з яких виступає температура, доступність вологи тому що вони в значній мірі впливають на формування ареалів. Швидкість водотоку та витрати води певним чином узгоджуються з рівнем життєздатності дерева. Стовбури здорових дерев, завдяки великій швидкості водотоку та значній теплоємності, протидіють нагріваючій

здатності сонячної радіації та оточуючого повітря більш ефективно ніж стовбури ослаблених, а тим більше всихаючи дерев [16].

Моніторинг стану лісових насаджень є передумовою збереження лісових біогеоценозів та завчасного реагування на можливі загрози. Діелектричні показники (імпеданс ( $R$ ) та поляризаційну ємність ( $C$ )) все частіше застосовують як універсальний та інформативний метод діагностики різних станів та рівнів життєздатності деревних рослин [24, 27].

Наразі соснові насадження знаходяться під тиском різних несприятливих чинників, як природного так і антропогенного характеру. Швидка діагностика станів та впливів може запобігти значним втратам лісових підприємств. Широке застосування у лісівничих дослідженнях електрофізіологічних показників поступово веде до уніфікації методики застосування поляризаційної ємності та імпеданса. Один лише перелік сфер застосування на території України цієї методики вражає. Заїка В.К. проводив дослідження стану соснових насаджень, які зростають на радіаційно забруднених територіях [14, 26]; Кузик А.Д. встановлював вплив низових пожеж на насадження сосни звичайної [28]; Криницький Г.Т. та Галушка В.П. вивчали вплив тривалості підсочування на життєвість дерев *Pinus sylvestris* [25]; Рибак Ю.Л. вивчала стан молодих соснових насаджень та їх реакцію на ураження сосновим вертуном (*Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr) [40] та шютте звичайним (*Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chevall) [41], а Заїка В.К. та Дерев'янчук Ю. Л. досліджували патогенний вплив опенька осіннього на соснові насадження [10]; Кратюк О.Л. наразі займається вивченням впливу напіввільного утримання великих ссавців на діелектричні показники *Pinus sylvestris* [20, 21], а також ціла низка інших робіт присвячена різним аспектам вивчення лісових екосистем [8, 11, 15, 17, 18, 29].

На рослини негативно впливає несприятливі глобальні зміни клімату. Наслідком таких змін є збільшення нестабільності регіонального клімату та загрозливі масштаби техногенного забруднення оточуючого середовища, що

в свою чергу веде до зниження біорізноманіття рослин та зменшення продуктивності біогеоценозів

Під час формування високопродуктивних та стійких лісових насаджень під час рубок догляду застосовують візуальний метод відбору дерев, проте А. А. Моторкин запропонував використовувати методи об'єктивної оцінки їх стану за морфологічними та біоелектричними показниками, які характеризують рівень життєдіяльності рослини [33].

Деревину живого дерева можна представити як фізичний об'єкт, коли стовбур дерева складається з діелектричних циліндрів між якими в обох напрямках рухається провідна мінералізована рідина, в якій постійно відбуваються фізико-хімічні та біологічні процеси [4].

Карасев В. Н. и Карасева М. И. розробили біофізичний метод діагностики життєздатності деревних рослин за температурою стовбура у певних точках, що обумовлено наявністю тісного зв'язку між санітарним станом дерев, водним режимом та температурою стовбура [16]. Вони стверджують, що існуючі фізіолого-біохімічні методи оцінки життєдіяльності деревних рослин не завжди достовірні та мало придатні для широкого застосування через свою складність та трудомісткість. Життєздатність дерев за величинами біоелектричних потенціалів рекомендується оцінювати в середині літа, оскільки в ранньовесняний період амплітуда біоелектричних потенціалів знаходиться на підйомі та ще недостатньо виражена [16]. Такі параметри, як вміст загального хлорофілу та біометричні показники дають інформацію не раніше ніж через рік після пошкодження, а оцінка життєздатності за величинами біоелектричних потенціалів та показників електричного опору при камбіального комплексу тканин (імпеданс) зазвичай взагалі не дають достовірної інформації про стан, що пояснюється випадковим підключенням електродів до ділянки рослинних тканин. Використовуючи згадані методики [16] низка вчених [34] прийшла до висновку, що найбільше значення температури деревини відмічено у дуже ослаблених дерев, а найменше – у здорових.

Діелектричні показники прикамбіального комплексу тканин мають значні сезонні коливання. Криві сезонної динаміки складових імпеданса прикамбіального комплексу тканин мають наближену параболічну форму з численними локальними екстремумами, тому вивчення діелектричних характеристик тканин активної складової імпеданса припадає на середину-кінець червня – період найбільшої інтенсивності ростових процесів у тканинах дерев. Проте значна нестабільність діелектричних показників сканин окремих дерев перешкоджає прямому застосування цих показників для діагностики стану та стійкості дерев [45].

Вивчення зміни рівня електричного опору в деревних рослин є важливою властивістю, що відображає ступінь негативного впливу на вищі рослини негативних чинників. Під час моніторингу лісових насаджень необхідно всебічно та глибоко вивчити внутрішні та зовнішні просеси в умовах, які контролюють ріст і розвиток, як на рівні окремого дерева, так і в складному лісо рослинному комплексі, для того щоб навчитися керувати життєдіяльністю лісових біогеоценозів. Природньо, що таке вирішення завдань неможливе без поглиблених фізіолого-біохімічних та біофізичних досліджень, а також без удосконалення старих та розробки нових методів їх проведення

## РОЗДІЛ 2

### РАЙОН, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Характеристика району досліджень.

ДП «Пулинський лісгосп АПК» створений у 2000 році згідно наказу №13К від 20.06.2000 року по Управлінню агропромислового комплексу Житомирської ОДА на базі колгоспних лісів і отримав свою першу назву ДП «Червоноармійський лісгосп АПК». Згодом згідно наказу №115 ЖОКАП «Житомироблагроліс» від 26.12.2016 підприємство було перейменовано на ДП «Пулинський лісгосп АПК».

Загальна площа лісгоспа 33276,0 га. До складу входить 5 лісництв. Житомирське лісництво розташоване у межах Житомирського адміністративного району та займає загальну площу 6636,6 га. Воно розділено на чотири майстерських ділянки та двадцять лісових обходів.

За Генсіруком С.А., згідно лісорослинному районуванню територія підприємства відноситься до центральної частини Українського Полісся територія ДП «Пулинський лісгосп АПК» входить до складу Центрально-Поліського округу лісгосподарської області Полісся [6, 7]. Згідно районування проведеного Пастернаком П. С. та ін. територія підприємства відноситься до Західнополіського округу Лісової лісгосподарської області [37].

Відповідно до засад комплексного фізико-географічного районування, територія Житомирського лісництва ДП «Пулинський лісгосп АПК» відноситься до південної окраїни зони змішаних лісів Українського Полісся Східно-Європейської рівнини знаходячись на межі із Лісостеповою зоною, що в свою чергу відображається на характері рослинності, типології переважаючих ґрунтів та кліматичним показникам [32].

Клімат помірно сприятливий для вирощування деревних і чагарникових порід. Клімат характеризується м'якою переважно безсніжною

і короткою зимою при наявності морозів, спекотним літом, в останні роки недостатньою кількістю опадів, а також спостерігаються періодичні засухи, що циклічно повторюються через кожні 5-10 років, пізньо-весняні і ранньовесняні заморозки [19, 38]

Територія ДП «Пулинський лісгосп АПК» за характером рельєфу є помірно-хвиляста рівнина з загальним ухилом на північний схід та наявністю невеликих горбів і невеликих западин, які обумовлені роботою льодовика та постльодовиковими процесами. Основні лісові масиви господарства займають другу терасу р. Тетерів [1].

Основною лісоутворюючою деревною породою, яка домінує на території ДП «Пулинський лісгосп АПК» є сосна звичайна (*Pinus sylvestris*). Окрім неї значні площі займають насадження дуба звичайного (*Quercus robur*), берези повислої (*Betula pendula*) та вільхи чорної (*Alnus glutinosa*).

Крім основних лісотвірних порід, на території дочірнього підприємства зростають ще ясен звичайний (*Ulmus laevis*), дуб червоний (*Quercus borealis*), клен гостролистий (*Acer platanoides*), липа дрібнолиста (*Tilia cordata*).

Середній вік лісових насаджень становить 53 роки, а середня повнота – 0,7.

Переважаючими типами умов місцезростання для ДП «Пулинський лісгосп АПК» є свіжий (В<sub>2</sub>-дС) та вологий (В<sub>3</sub>-дС) дубово-сосновий суббір (80%), свіжий грабово-дубово-сосновий (С<sub>2</sub>-гдС) сугруд (4%) та свіжий бір (А<sub>2</sub>-С) (4%).

Найбільш розповсюджені на території підприємства є дерново слабо і середньо підзолисті ґрунти. Механічний склад згаданих ґрунтів піщаний, рідше супіщаний [1].

## 2.2. Еколого-біологічна характеристика *Pinus sylvestris*

Рід Сосна (*Pinus* L.) включає близько 100 видів, з яких лише шість природно зростають на території України. Сосна звичайна (*Pinus sylvestris*)

відноситься до підроду *Diploxylon* Koehne [13]. Вона представляє собою сильне дерево першої величини з характерною кроною. *Pinus sylvestris* на початку онтогенезу росте дуже швидко, поступаючись серед інших хвойних дерев лише модрині. Максимальний приріст у неї в багатих за трофністю умовах місцезростання спостерігається у 15-20 річному віці, а на гірших – в середньому у 25 років. Після досягнення 40-50 річного віку приріст дерев *Pinus sylvestris* сильно падає і ялина, яка завжди відстає у рості, починає наздоганяти *Pinus sylvestris* і до 60-70 річного віку таки наздоганяє за висотою. В оптимальних умовах *Pinus sylvestris* у 100-річному віці досягає висоти 30 м. Зазвичай в оптимальних умовах місцезростання висота стовбура досягає 30-35 м. Дерев *Pinus sylvestris* можуть дожити до 300-350 років, хоча відомі випадки і більш старших особин. Стовбур дерев відрізняється правильним мутовчатим галуженням, тому в молодому віці, поки нижні гілки ще не остаточно відмерли, за кількістю луток можна з легкістю визначити вік дерева. Пагін зростає моноподіально. Особливістю є кількість хвоїнок, які сидять по дві у пучках, які розміщені по поверхні пагона спіралью та направлені радіально у всі сторони. Їх довжина 20-60 мм, вони плоско-випуклі, жорсткі, вузько-лінійні, гостроверхі і по краях дрібно-пальчасті. На дорослих деревах хвоя зазвичай тримається 2, рідше 3 роки [9].

Кора у *Pinus sylvestris* має різний вигляд на різних ділянках стовбура. Молоді гілки вкриті сіруватою чи сірувато-бурою корою. Старші за віком та верхня частина стовбура має жовто-червонувату кору, яка відшаровується тоненькими плівочками. Нижні більш товстіші частини стовбура покриті товстою корою, яка має рельєфну форму та розбита тріщинами на частини. Така кора має червонувато темно-бурий колір [9].

Розглядаючи поширення *Pinus sylvestris* у південній частині ареала на території України, слід відмітити що тут вона зустрічається ізольованими острівцями, розкиданими подекуди один від одного на досить значні відстані.



Маючи такий великий за площею ареал з найрізноманітнішими умовами середовища *Pinus sylvestris*, природно, формує різні географічні форми.

### 2.3. Методика проведення досліджень.

Визначення електрофізіологічних показників дерев *Pinus sylvestris* проводили за методикою Г.Т. Криницького [23].



Рис. 2.1. Зовнішній вигляд комбінованого приладу Ф4320.

Для визначення інтенсивності процесів життєдіяльності дерев *Pinus sylvestris* різних категорій стану використали діелектричні показники

(поляризаційна ємність та імпеданс) прикамбіальних тканин лубу як критерій стійкості деревних рослин до дії несприятливих чинників навколишнього середовища [22]. Ними можуть бути як природні так і антропогенні чинники (низькі температури, посухи, використання отрутохімікатів, дія шкочинних організмів, загазованість повітря тощо). Вимірювання проводили приладом комбінованим Ф4320 (рис. 2.1.).

Він дозволяє на частоті 1000 Гц вимірювати поляризаційну ємність та активний опір комплексного опору ємнісного характеру за паралельною схемою заміщення. Прилад використовують для роботи за температури від +10 до +35°C та відносної вологості повітря до 80%.

Прилад використовує джерело постійного струму 7-9 В.

Для зняття діелектричних показників використовують спеціальний щуп. Це два електроди у вигляді голок, виготовлених з інертних металів, які розташовані на відстані 2 см один від одного (рис. 2.2.).



Рис. 2.1. Зовнішній вигляд щупа для комбінованого приладу Ф4320.

Зазвичай електроди вводять на 1 см у тканини на висоті стовбура 1,3 м. Бажано при проведенні досліджень вимірювання проводити у всіх модельних дерев з південної сторони для певної уніфікації отриманих результатів. Як ідеальний варіант проведення вимірювань з кожної з чотирьох сторін з наступним визначенням середніх показників. Проте такі вимірювання збільшують час проведення досліджень, щонайменше у чотири рази, хоч і відрізняються більшою точністю.

Статистичну обробку здійснили за Б.А. Доспеховим [12] з використанням пакету програм “*Statistica 10*”.

Визначення категорій санітарного стану дерев *Pinus sylvestris* проводили за загальноприйнятими у лісівничій науці методами згідно «Санітарних правил в лісах України» [39]. Основні критерії визначення категорій санітарного стану наведено у Додатку А.

Для вивчення життєвого стану видів роду *Ulmus* L. наразі І.М. Скольським [42, 43] розроблена шкала категорій життєздатності. Автор виділив шість категорій життєвого стану *Ulmus* L.: цілком здорові, відносно здорові, слабовсихаючі, середньовсихаючі, сильновсихаючі та засохлі особини. Проте для дерев *Pinus sylvestris* такі розробки поки відсутні, тому ми застосували загальноприйняті критерії категорій стану для хвойних дерев [39].

### РОЗДІЛ 3

## ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

### 3.1. Визначення діелектричних показників.

Визначення поляризаційної ємності та імпеданса дерев *Pinus sylvestris* проводили упродовж періоду вегетації рослин 2020 року у різні терміни, а саме: на початку вегетації (весняний період), у період активної вегетації (літній період) та у період переходу до стану спокою (осінній період). Дослідження діелектричних показників проводили на території Житомирського лісництва ДП «Пулинське лісове господарство АПК» в урочищі «Поповий ліс». Це виділ 2 кварталу 81 (рис 3.1.) [2, 3].

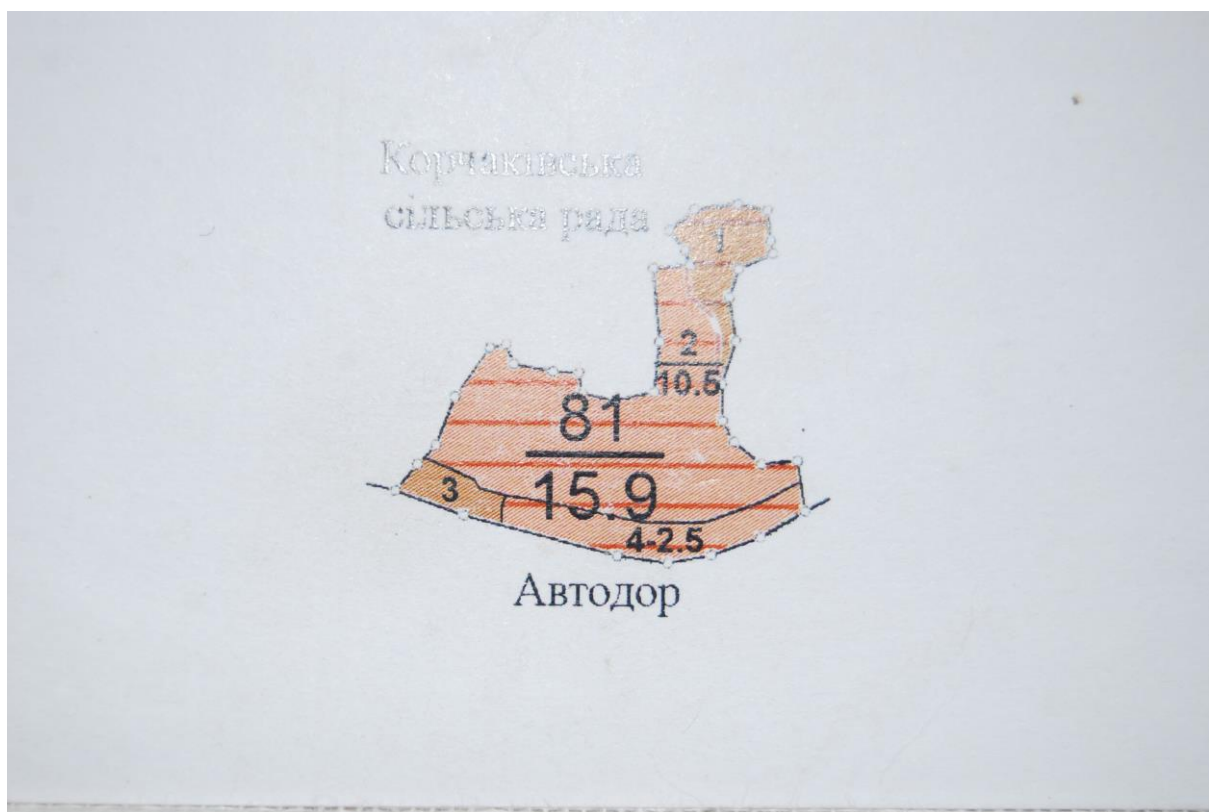


Рис. 2.1. Схема розташування урочища «Поповий ліс».

Чисте штучне соснове насадження (10Сз) віком 60 років зростає за першим класом бонітету в умовах свіжого дубово-соснового субору (В<sub>2</sub>-дС) на площі 10,5 га. Середня висота становить 20 м, а середній діаметр 22 см. У

межах виділу підлісок представлений ліщиною звичайною (*Corylus avellana* L.) та крушиною ламкою (*Frangula alnus* Mill.). Зімкнутість підліску становить 0,4. На території досліджень ми відбирали по 10 дерев *Pinus sylvestris* різних категорій стану згідно «Санітарних правил в лісах України» [39]. Така кількість модельних дерев, на нашу думку, адекватно відображає особливості та інтенсивність проходження процесів життєдіяльності у кожній з вибраних категорій санітарного стану. Провівши рекогносцирування ми не виявили на території лісотаксаційного виділу дерев I категорії стану. Дерев, які б відповідали критеріям першої категорії, а саме мали густу крону, хвою зелену, сріблясту, мали б приріст поточного року нормального розміру для цих умов місцезростання та не мали зовнішніх видимих ознак пошкодження нами не відмічено. Тому дослідження електрофізіологічних показників проводили для дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорій стану (фото 3.1.).



Фото 3.1. Соснове насадження на тимчасовій пробній площі

У результаті проведених вимірювань нами отримані показники представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

**Діелектричні показники сосни звичайної в умовах  
Житомирського лісництва**

Категорії стану	C, nF		R, кОм	
	$M^{\pm m}$	V, %	$M^{\pm m}$	V, %
	<i>Весняний період 2020 року</i>			
II	6,53 <sup>±0,92</sup>	16,14	26,20 <sup>±3,78</sup>	14,43
III	5,13 <sup>±0,88</sup>	17,09	38,80 <sup>±8,51</sup>	21,93
IV	4,87 <sup>±1,27</sup>	26,13	44,70 <sup>±15,37</sup>	34,38
V	2,12 <sup>±0,88</sup>	41,76	118,20 <sup>±53,05</sup>	44,44
VI	1,19 <sup>±0,20</sup>	16,23	10277,00 <sup>±8963,23</sup>	87,21
	<i>Літній період 2020 року</i>			
II	18,65 <sup>±1,16</sup>	24,51	10,40 <sup>±0,77</sup>	23,53
III	14,42 <sup>±1,06</sup>	23,14	15,70 <sup>±1,58</sup>	31,82
IV	7,21 <sup>±0,39</sup>	17,01	25,65 <sup>±1,18</sup>	14,58
V	1,85 <sup>±0,18</sup>	30,24	136,00 <sup>±12,40</sup>	28,83
VI	1,13 <sup>±0,02</sup>	6,98	12310,00 <sup>±2718,72</sup>	69,84
	<i>Осінній період 2020 року</i>			
II	7,40 <sup>±0,19</sup>	8,31	24,80 <sup>±0,78</sup>	9,93
III	5,43 <sup>±0,20</sup>	11,38	39,80 <sup>±2,46</sup>	19,56
IV	4,73 <sup>±0,14</sup>	9,51	49,10 <sup>±4,45</sup>	28,67
V	1,81 <sup>±0,17</sup>	29,67	134,10 <sup>±11,56</sup>	27,29
VI	1,14 <sup>±0,03</sup>	7,10	11107,00 <sup>±2672,24</sup>	76,08

Представлені показники, на наш погляд дають чітке уявлення про інтенсивність проходження процесів життєдіяльності дерев різних категорій стану. Це можна виявити на основі співставлення динаміки двох діелектричних показників, а саме імпеданса та поляризаційної ємності.

Нижче розглянемо особливості зміни показників за періодами вегетації та у розрізі категорій стану дерев.

### 3.2. Весняний період

У межах дослідної ділянки у весняний період визначили показники поляризаційної ємності дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану. Нами отримано наступні дані: категорія стану II –  $6,53^{\pm 0,92}$  nF, III –  $5,13^{\pm 0,88}$  nF, IV –  $4,87^{\pm 1,27}$  nF, V –  $2,12^{\pm 0,88}$  nF, VI –  $1,19^{\pm 0,20}$  nF (див. табл. 3.1). Показники поляризаційної ємності різних категорій стану достовірно відрізняють між собою. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу існує достовірна різниця, відповідно між II – III ( $F = 12,08 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ) категоріями стану, IV – V ( $F = 31,62 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ), V – VI ( $F = 10,46 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ). Між показниками III та IV категорії стану не виявлено достовірної різниці ( $F = 0,28 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ), проте вона існує у парі II – IV ( $F = 11,14 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ).

Ми встановили показники імпеданса для дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану. Для дерев II категорії стану він становив –  $26,20^{\pm 3,78}$  кОм, III –  $38,80^{\pm 8,51}$  кОм, IV –  $44,70^{\pm 15,37}$  кОм, V –  $118,20^{\pm 53,05}$  кОм, VI –  $10277,00^{\pm 8963,23}$  кОм (див. табл. 3.1). Коефіцієнти варіації високі, особливо для VI категорії стану (87,21%). Для показників імпеданса II-IV категорій стану він становить 14,43-34,38%. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу існує достовірна різниця, відповідно між II – III ( $F = 18,31 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ) категоріями стану, IV – V ( $F = 17,71 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ), V – VI ( $F = 12,85 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ). Як і для поляризаційної ємності для імпеданса не встановлено достовірної різниці для показників III та IV категорії стану ( $F = 1,13 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ).

Загалом отримані нами результати показують, що із погіршенням санітарного стану дерев у межах одного сезону показник поляризаційної ємності поступово знижується, натомість показник імпедансу у II – IV категоріях зростає поступово, а у V – VI – стрибкоподібно. Так у порівнянні з четвертою категорією показник імпедансу п'ятої зріс у 2,6 рази, а в свою чергу показник шостої категорії у порівнянні з п'ятою зріс у 90,5 разів.

Поясненням цього може бути, що п'ята і шоста категорії стану це вже сухостій, відповідно свіжий та старий.

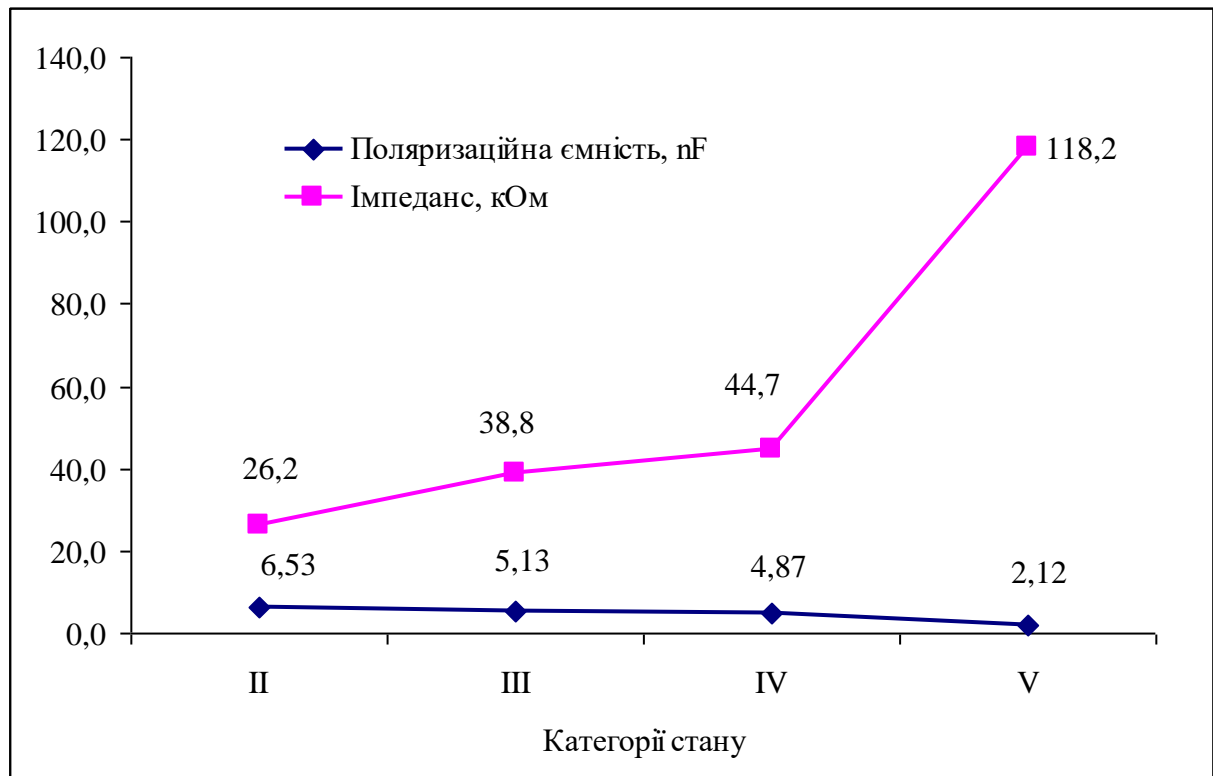


Рис. 3.1. Зміна діелектричних показників *Pinus sylvestris* II-V категорії стану у весняний період.

З рисунку видно, що у мертвих тканин (сухостій) за відсутності руху поживних речовин по провідній системі опір тканин (імпеданс) зростає у рази, що може слугувати індикатором стану деревних рослин загалом.

### 3.3. Літній період

У період активної вегетації в межах пробної площі визначили показники поляризаційної ємності дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану. Нами отримано наступні дані: категорія стану II –  $18,65^{\pm 1,16}$  нФ, III –  $14,42^{\pm 1,06}$  нФ, IV –  $7,21^{\pm 0,39}$  нФ, V –  $1,85^{\pm 0,18}$  нФ, VI –  $1,13^{\pm 0,02}$  нФ. Показники поляризаційної ємності різних категорій стану достовірно відрізняють між собою. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу існує



достовірна різниця, відповідно між II – III ( $F = 7,28 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ) категоріями стану, III – IV ( $F = 41,11 \gg F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ), IV – V ( $F = 158,6 \gg F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ), V – VI ( $F = 16,09 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ).

Ми встановили показники імпеданса для дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану. Для дерев II категорії стану він становив  $10,40^{\pm 0,77}$  кОм, III –  $15,70^{\pm 1,58}$  кОм, IV –  $25,65^{\pm 1,18}$  кОм, V –  $136,00^{\pm 12,40}$  кОм, VI –  $12310,00^{\pm 2718,72}$  кОм. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу існує достовірна різниця, відповідно між II – III ( $F = 9,8 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ) категоріями стану, III – IV ( $F = 25,41 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ), IV – V ( $F = 78,47 \gg F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ), V – VI ( $F = 20,05 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ).

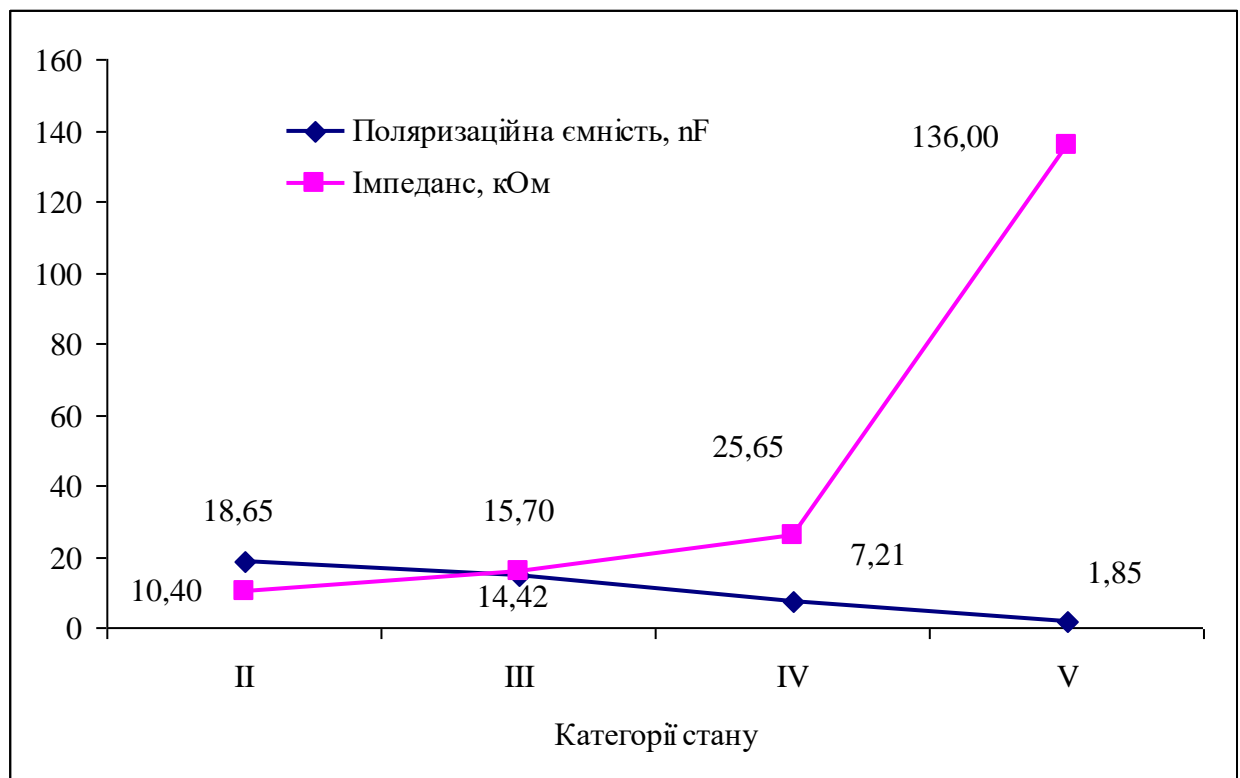


Рис. 3.2. Зміна діелектричних показників *Pinus sylvestris* II-V категорії стану у літній період.

Загалом коефіцієнти варіації середні. Вирізняється лише за показниками VI категорія стану, де коефіцієнт варіації для поляризаційної ємності найнижчий (7,0%), а для імпеданса найвищий (69,8%). Для

показників імпеданса II – V категорій стану він становить 14,6-31,8%, а поляризаційної ємності – 17,0-30,2%.

Під час активної вегетації (у літній період) ми спостерігаємо зростання показників поляризаційної ємності для дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану. Натомість у сухостійних дерев (V – VI категорія стану) цей показник навіть нищий за весняні відмітки. Загалом і показники імпедансу для дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану у літній період відповідають загальному тренду зниження у порівнянні з весняними. Проте показники п'ятої та шостої категорії за даним показником також як і навесні мають занадто високі рівні.

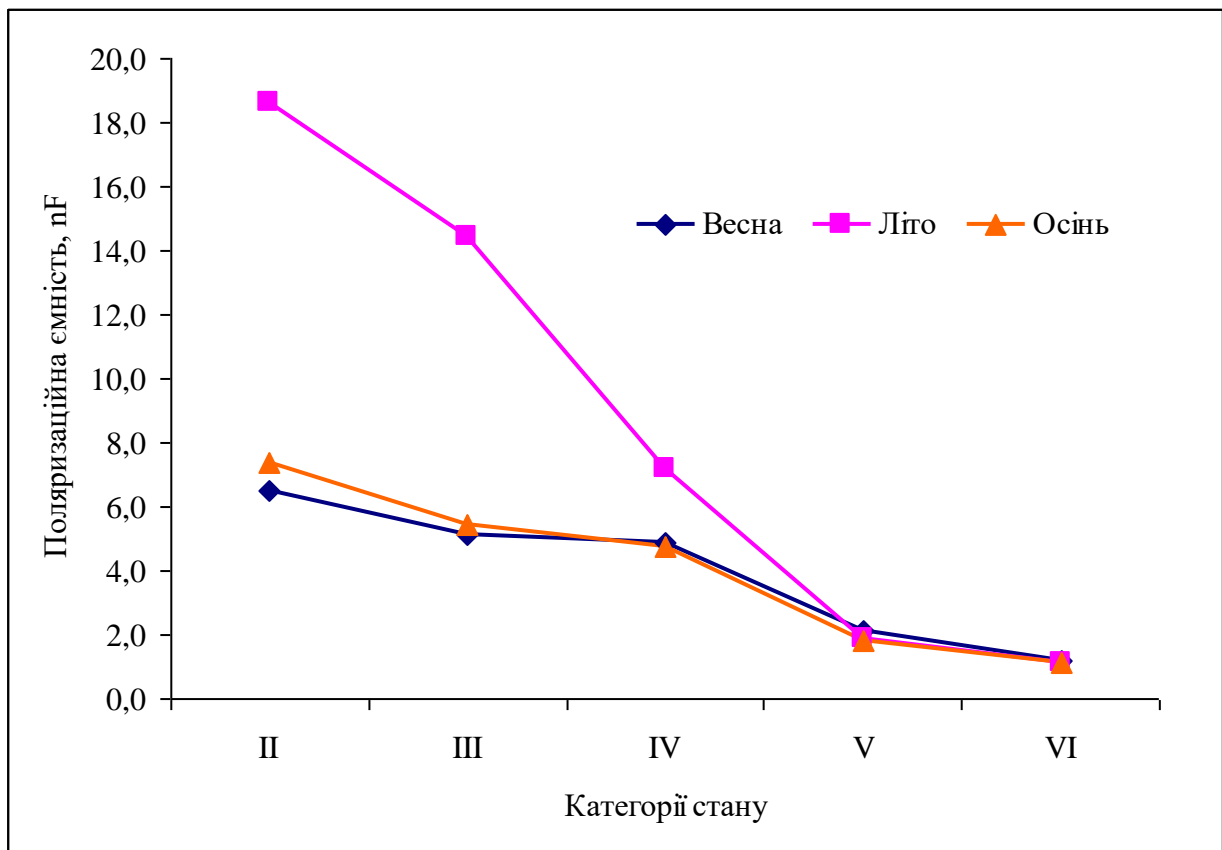


Рис. 3.3. Зміна поляризаційної ємності дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорій стану упродовж вегетаційного періоду.

Як бачимо з рис 3.3. сезонні зміни діелектричних показників і, зокрема, поляризаційної ємності притаманні лише живій деревині. Сухостійні дерева уже не є біологічною системою, яка б могла реагувати на зміну сезонів року інтенсивністю проходження процесів життєдіяльності.

### 3.4. Осінній період

Дослідження проведені в осінній період показують поступове зниження інтенсивності фізіологічних процесів у *Pinus sylvestris*, про що свідчать встановлені нами діелектричні показники. Так поляризаційна ємності дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану у вересні становила для категорії стану II –  $7,40^{\pm 0,19}$  nF, III –  $5,43^{\pm 0,20}$  nF, IV –  $4,73^{\pm 0,14}$  nF, V –  $1,81^{\pm 0,17}$  nF, VI –  $1,14^{\pm 0,03}$  nF. Показники поляризаційної ємності різних категорій стану достовірно відрізняють між собою. Ми встановили за результатами однофакторного дисперсійного аналізу існує достовірна різниця, відповідно між II – III ( $F = 51,05 \gg F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ) категоріями стану, III – IV ( $F = 8,38 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ), IV – V ( $F = 172,6 \gg F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ), V – VI ( $F = 15,36 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ) (рис. 3.4).

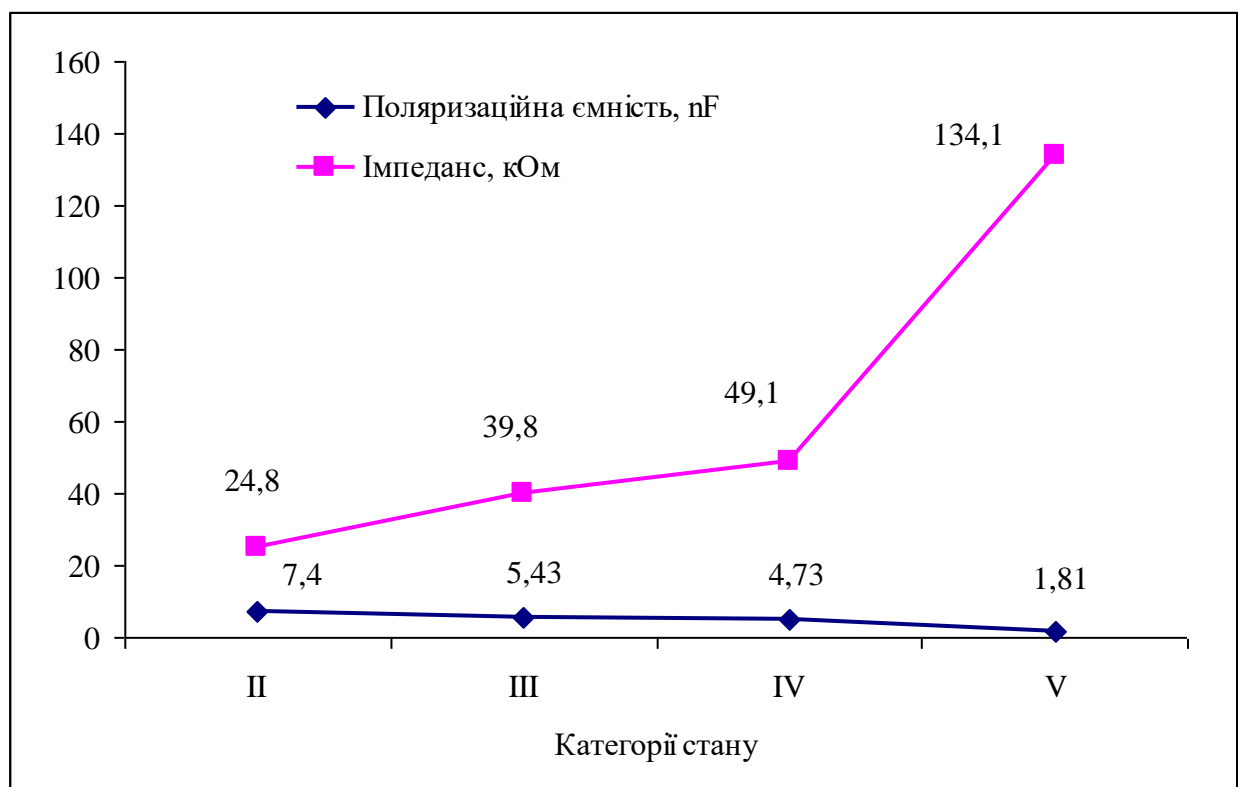


Рис. 3.4. Зміна діелектричних показників *Pinus sylvestris* II-V категорії стану у осінній період.

Виміряні нами показники імпеданса для дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану показали наступні результати, а саме: для дерев II категорії стану він становив  $24,80^{\pm 0,78}$  кОм, III –  $39,80^{\pm 2,46}$  кОм, IV –  $49,10^{\pm 4,45}$  кОм, V –  $134,10^{\pm 11,56}$  кОм, VI –  $11107,00^{\pm 2672,24}$  кОм. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу існує достовірна різниця, відповідно між II – III ( $F = 33,7 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ) категоріями стану, IV – V ( $F = 46,93 \gg F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ), V – VI ( $F = 16,68 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ). Для імпеданса не встановлено достовірної різниці для показників III та IV категорії стану ( $F = 3,34 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$ ).

Тендеційно графіки зміни поляризаційної ємності та імпедансу у осінній період подібні до аналогічних у весняний період. Це може свідчити, що інтенсивність процесів життєдіяльності у березні та вересні на пробні площі ідентична.

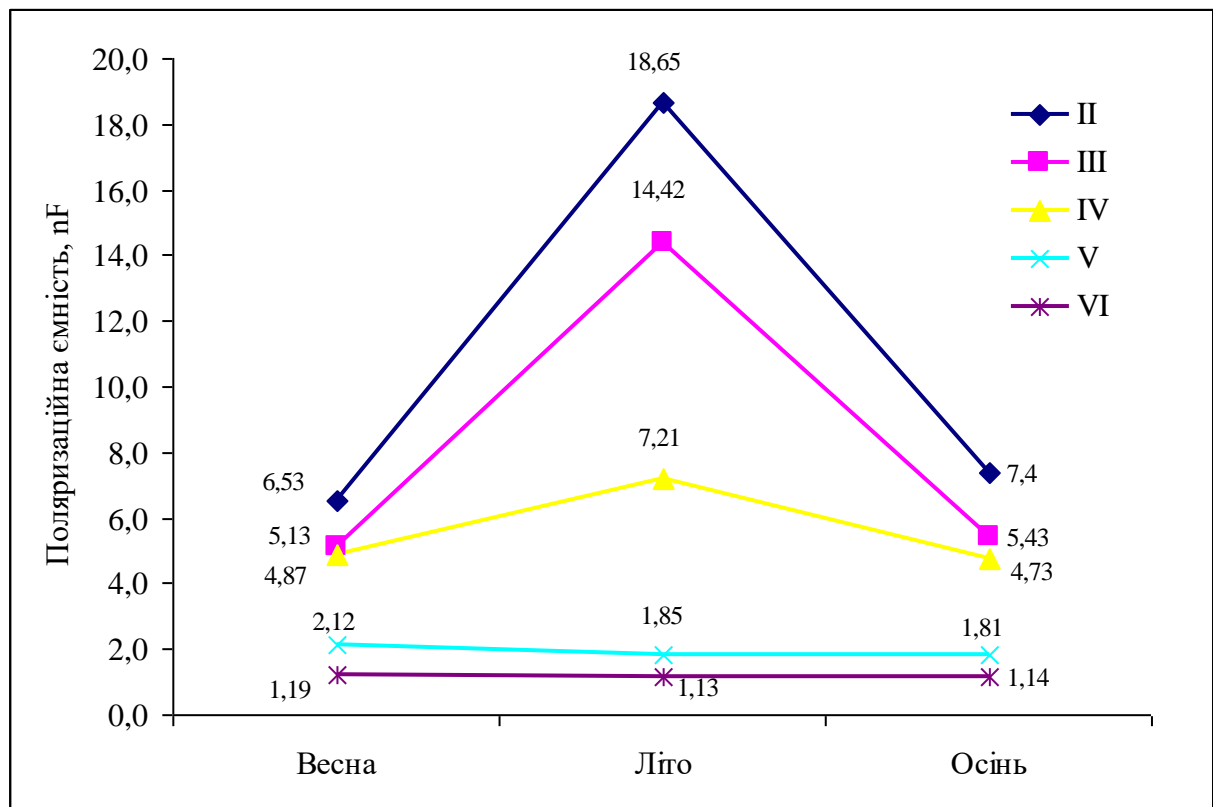


Рис. 3.5. Зміна поляризаційної ємності дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорій стану за періодами.

Загалом коефіцієнти варіації низькі та середні. Вирізняється лише за показниками VI категорія стану, де коефіцієнт варіації як і в інші пори року для поляризаційної ємності найнижчий (7,10%), а для імпеданса найвищий (76,08%). Для показників імпеданса в осінній період для II – V категорій стану він становить 9,93-28,67%, а поляризаційної ємності – 9,51-29,67%.

Для дерев *Pinus sylvestris* II-IV категорії санітарного стану характерна упродовж сезону вегетації чітка динаміка показників поляризаційної ємності. З початком вегетації показники поступово зростають і відзначаються максимальними показниками у літній період. З переходом до осені, коли фізіологічні процеси починають сповільнюватися знижуються і показники поляризаційної ємності. Цікаво, що чим у кращому стані дерево, тим більші коливання поляризаційної ємності упродовж періоду вегетації. Натомість для сухостою (дерев V – VI категорії санітарного стану) показники не змінюються.

Аналогічна ситуація складається і для динаміки показників імпеданса. З початком вегетації показники імпеданса поступово падають до найнижчого рівня у період активної вегетації. З переходом до стану спокою, в осінній період, фізіологічні процеси починають сповільнюватися, що зумовлює зростання активного опору прикамбіальних тканин рослини. Для дерев V – VI категорії санітарного стану показники імпеданса упродовж року не змінюються і знаходяться на стабільно високому рівні.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

У роботі проведено вивчення особливостей діагностики життєвого стану дерев *Pinus sylvestris* електрофізіологічними методами в умовах Житомирського лісництва ДП «Пулинський лісгосп АПК». Результати проведених нами досліджень дозволяють зробити наступні висновки та узагальнення.

1. Показники поляризаційної ємності дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану упродовж року мали наступні показники: весняний період – категорія стану II –  $6,53^{\pm 0,92}$  nF, III –  $5,13^{\pm 0,88}$  nF, IV –  $4,87^{\pm 1,27}$  nF, V –  $2,12^{\pm 0,88}$  nF, VI –  $1,19^{\pm 0,20}$  nF; літній період – категорія стану II –  $18,65^{\pm 1,16}$  nF, III –  $14,42^{\pm 1,06}$  nF, IV –  $7,21^{\pm 0,39}$  nF, V –  $1,85^{\pm 0,18}$  nF, VI –  $1,13^{\pm 0,02}$  nF; осінній період – категорії стану II –  $7,40^{\pm 0,19}$  nF, III –  $5,43^{\pm 0,20}$  nF, IV –  $4,73^{\pm 0,14}$  nF, V –  $1,81^{\pm 0,17}$  nF, VI –  $1,14^{\pm 0,03}$  nF.

2. Активний опір (імпеданс) дерев *Pinus sylvestris* II-VI категорії стану упродовж року мали наступні показники: весняний період – категорія стану II –  $26,20^{\pm 3,78}$  кОм, III –  $38,80^{\pm 8,51}$  кОм, IV –  $44,70^{\pm 15,37}$  кОм, V –  $118,20^{\pm 53,05}$  кОм, VI –  $10277,00^{\pm 8963,23}$  кОм; літній період – II категорія стану –  $10,40^{\pm 0,77}$  кОм, III –  $15,70^{\pm 1,58}$  кОм, IV –  $25,65^{\pm 1,18}$  кОм, V –  $136,00^{\pm 12,40}$  кОм, VI –  $12310,00^{\pm 2718,72}$  кОм; осінній період – II категорія стану –  $24,80^{\pm 0,78}$  кОм, III –  $39,80^{\pm 2,46}$  кОм, IV –  $49,10^{\pm 4,45}$  кОм, V –  $134,10^{\pm 11,56}$  кОм, VI –  $11107,00^{\pm 2672,24}$  кОм. II –  $7,40^{\pm 0,19}$  nF, III –  $5,43^{\pm 0,20}$  nF, IV –  $4,73^{\pm 0,14}$  nF, V –  $1,81^{\pm 0,17}$  nF, VI –  $1,14^{\pm 0,03}$  nF.

3. На основі однофакторного дисперсійного аналізу встановлено, що показники поляризаційної ємності та імпеданса різних категорій стану достовірно відрізняють між собою.

4. Для дерев *Pinus sylvestris* II-IV категорії санітарного стану характерна динаміка показників поляризаційної ємності за порами року, яка у графічному зображенні нагадує параболу з низхідними кінцями. Встановлено, що ступінь стану дерев, корелює з величиною коливань поляризаційної ємності упродовж періоду вегетації. Натомість динаміка

показників імпеданса обернена до поляризаційної ємності. Найнижчі показники спостерігаються у період активної вегетації.

5. Для дерев V – VI категорії санітарного стану (сухостій) показники імпеданса та поляризаційної ємності упродовж року не змінюються і знаходяться на стабільному рівні.

6. Результати досліджень свідчать, що зміна діелектричних показників деревних рослин під дією негативних чинників служить одним з адекватних підходів до діагностики станів лісових екосистем та відображає загалом життєвий стан насаджень *Pinus sylvestris* і може бути застосована для швидкої індикації категорій санітарного стану дерев.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР / Под ред. А. С. Харченка. Москва, 1978. 184 с.
2. Бабич М.М. Діелектричні показники насаджень сосни звичайної в умовах ДП «Пулинське ЛГ АПК». *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. 10-11.
3. Бабич М.М. Електрофізіологічні показники насаджень сосни звичайної у літній період в умовах ДП «Пулинське лісове господарство АПК». *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. 32-34.
4. Балханов В.К., Адвокатов В.Р., Башкуев Ю.Б. Частотные и пространственные характеристики электрофизических параметров ствола живого дерева. *Журнал технической физики*, 2010. Т. 80. Вып. 2. С. 146-148.
5. Биология. Большой энциклопедический словарь. Под ред. М.С. Гилярова. Москва: Больш. Рос. энциклопедия, 1999. 864 с.
6. Генсирук С.А. Комплексное лесохозяйственное районирование Украины и Молдавии. Київ: Наук. думка, 1981. 358с.
7. Генсирук С. А. Леса Украины. М.: Лесн. пром., 1975. 280 с.
8. Гуменюк І. Р., Заїка В. К., Бондаренко В. Д. Стан граба звичайного в лісостанах заповідника «Медобори». *Науковий вісник НУБІП України. Сер.: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2012, вип. 171(1). С. 57–60.
9. Дендрология с основами лесной геоботаники. Под ред В.Н. Сукачева. Ленинград: Гослестехиздат, 1938. 576 с.



10. 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.
11. Дерех О. І. Діелектричні показники дуба і бука на ділянках різних стадій дигресії зеленої зони Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014, т. 24, № 8. С. 119-124.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
13. Заячук В.Я. Дендрологія. Львів: СПОЛОМ, 2014. 646 с.
14. Заїка В. К. Діелектричні показники сосни звичайної на радіаційно забруднених територіях. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2004, т. 14, № 1. С. 12-15.
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. Карасёв В.Н., Карасёва М.А. Эколого-физиологическая диагностика жизнеспособности деревьев хвойных пород. *Лесной журнал*, 2004. № 4. С. 27-32.
17. Карпин Н. І., Заїка В. К. Діелектричні показники лип серцелистої та широколистої в умовах міста Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017, т. 27, № 1. С. 33–37.
18. Керімов Е. І., Заїка В. К. Діелектричні показники деревних видів у деревостанах за участю Модрини європейської. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018, т. 28, № 8. С. 23–27.
19. Краткий агроклиматический справочник Украины. Под ред. К.Т. Логвинова. Л.: Гидрометеиздат, 1976. С. 15-105.
20. Кратюк О. Л. Особливості впливу напіввільного утримання мисливських тварин на діелектричні показники сосни звичайної. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019, т. 29, № 8. С. 43–45.

21. Кратюк О. Л. Сезонна зміна діелектричних показників сосни звичайної в умовах напіввільного утримання мисливських тварин. *Екологічні науки*. 2019, т. 27, № 4. С. 192–196.
22. 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.
23. 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.
24. Криницький Г.Т. Електрофізіологічні дослідження деревних рослин в Україні. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть*. 2001, т. 2. С. 233–237.
25. Криницький Г. Т., Галушка В. П. Електрофізіологічна реакція сосни звичайної на добування живиці. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2005, т. 15, №2. С. 8–13.
26. Криницький Г. Т., Заїка В. К. Електрофізіологічна реакція культур сосни звичайної на високі рівні хронічного радіаційного опромінення. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2004, т. 14, №5. С. 8–14.
27. Криницький Г. Т., Скольський І. М. Використання діелектричних показників для визначення життєвого стану в'яза шорсткого. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2015, т. 13. С. 83-88.
28. Кузик А.Д. Вплив низової пожежі на насадження сосни звичайної. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2012, т. 22, №7. С. 19–26.
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. Экологическая оценка влияния влажности почвы на сосновые леса Украинского Полесья. Автореф. дис. д.б.н. Минск, 1975. 49 с.

31. Литвак П.В. Лесные экосистемы Полесья Украины. Житомир: Полісся, 2001. 340 с.
32. Маринич А. М., Пащенко В. М., Шищенко П. Г. Природа Украинской ССР. Ландшафты и физико-географическое районирование. К. : Наук. думка, 1985. 224 с.
33. Моторкин А. А. Совершенствование методов отбора деревьев хвойных пород при формировании насаждений: автореф. дис... к. с.-х. н. Йошкар-Ола, 2009. 23 с.
34. Овсянникова Н. В., Феклистов П. А., Волкова Н. В., Мелехов В. И., Тараканов А. М., Мерзленко М. Д. Температура древесины ели обыкновенной. *Лесной журнал*, 2013. № 1. С. 38-42.
35. Одум Ю. Основы экологии. [пер. с англ. под ред. Н. П. Наумова]. Москва: Мир, 1975. 740 с.
36. Основы лесной биogeоценологии / Под ред. В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса. Москва: Наука, 1964. 574 с.
37. Пастернак П. С., Киселевский Р. Г., Федец И. Ф., Медведев Л. А. Лесохозяйственное районирование Украинской ССР. *Лесоводство и агролесомелиорация*. 1980. Вып. 56. С. 3-16.
38. Приходько Г.Ф. Климат Украины. - Л. : Изд-во ГИМИЗ, 1967. – 413 с.
39. 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> (дата звернення: 20.09.2020).
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. Скольський І.М. Ріст та життєздатність в'яза шорсткого у свіжих дібровах Природного Заповідника «Медобори». *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2008, т. 18.№6. –С. 62-66.
43. Скольський І.М. Ріст та життєздатність в'яза шорсткого у вологих грудях Опілля. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2008, т.18. №7. С. 104-109.
44. Суворов В.В., Воронова И.Н. Ботаника с основами геоботаники. Ленинград: Колос, 1979. 560 с.
45. Суховольский В.Г. Метод измерения биоэлектрических потенциалов древесных растений. *Физиология растений*, 1979. Т. 26. С. 877-879.
46. Ткачук В.І. Проблеми вирощування сосни звичайної на Правобережному Поліссі. Житомир: Волинь, 2004. 464 с.
47. Шилов И.А. Экология. Москва: Высшая школа, 2003. 512 с.