

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

СЕРГІЙЧУК БОГДАН ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 630*521.1(477.42)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО СТАНУ ДЕРЕВ
СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В УМОВАХ
ТРИГІРСЬКОГО ЛІСНИЦТВА

ФІЛІЇ «КОРОСТЕНСЬКЕ ЛІСОМИСЛИВСЬКЕ 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

_____ Б.В. Сергійчук

Керівник роботи

Кратюк Олександр Леонідович
доктор біологічних наук, доцент

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 Сергійчук Богдан Віталійович захистив кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою

за шкалою ECTS

за національною шкалою

Секретар ЕК

АНОТАЦІЯ

Сергійчук Б.В. Особливості визначення життєвого стану дерев сосни звичайної в умовах Тригірського лісництва Філії «Коростенське лісомисливське господарство». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 205 – лісове господарство. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

У магістерській роботі проведено аналіз поляризаційної ємності та імпеданса дерев сосни звичайної різних категорій стану. Виявлено особливості динаміки діелектричних показників сосни звичайної різних категорій стану упродовж року на території Філії «Коростенське лісомисливське господарство». Підтверджено, що для дерев сосни звичайної II-IV категорій стану характерна сезонна зміна показників поляризаційної ємності, яка при графічному зображенні нагадує параболу зі спадаючими кінцями. Доведено, що категорії стану дерев корелює з величиною та розміром коливань поляризаційної ємності впродовж вегетаційного періоду. Значення показників імпедансу мають зворотну залежність по відношенню до поляризаційної ємності. Незалежно від категорії стану максимальні показники поляризаційної ємності та мінімальні показники імпедансу для II-IV категорій стану спостерігаються у період активного росту. На основі однофакторного дисперсійного аналізу, встановлено, що значення імпедансу та поляризаційної ємності достовірно відрізняються у дерев сосни звичайної різних категорій стану.

Ключові слова: поляризационная емкость; імпеданс; життєвий стан; сосна звичайна, Філія «Коростенське лісомисливське господарство».

ANNOTATION

Serhiychuk B.V. Peculiarities of determining the vital state of Scots pine trees in the conditions of Tryhirske forestry of the Branch «Korosten Forestry and Hunting Farm» – Qualifying work on the rights of the manuscript.

Qualification work for the master's degree in specialty 205 – Forestry. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The master's thesis analyzes the polarization capacitance and impedance of Scots pine trees of different categories of condition. The peculiarities of the dynamics of dielectric parameters of Scots pine of different categories of condition during the year on the territory of the Branch «Korosten Forestry and Hunting Farm» were revealed. It was confirmed that Scots pine trees of II-IV condition categories are characterised by seasonal changes in polarisation capacity, which, when represented graphically, resemble a parabola with decreasing ends. It has been proved that the categories of tree condition correlate with the magnitude and size of fluctuations in polarisation capacity during the growing season. The values of impedance indicators have an inverse relationship with the polarisation capacity. Regardless of the category of condition, the maximum values of polarisation capacity and the minimum values of impedance for the II-IV categories of condition are observed during the period of active growth. On the basis of one-factor analysis of variance, it was found that the values of impedance and polarisation capacity differ significantly in Scots pine trees of different categories of condition.

Key words: capacitance polarization, impedance, forest type, Scots pine, Branch «Korosten Forestry and Hunting Farm».

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ	9
РОЗДІЛ 2. РАЙОН, ОБ’ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	15
2.1. Характеристика району досліджень	15
2.2. Характеристика об’єкта дослідження	16
2.3. Методологія дослідження	18
РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО СТАНУ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ	21
3.1. Вимірювання діелектричних показників	21
3.2. Характеристика діелектричних показників упродовж вегетаційного періоду	24
3.2.2. Весняний період	24
3.2.3. Літній період	25
3.2.4. Осінній період	27
3.3. Загальні тенденції зміни діелектричних показників	28
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33
ДОДАТКИ	39

ВСТУП

Актуальність теми. Деградація лісів України, зокрема соснових, що спостерігається останнім часом, зумовлює необхідність удосконалення існуючих методик та впровадження нових підходів до оцінки стану дерев. Існує нагальна потреба у розробці експрес-методів для оперативної діагностики погіршення стану лісів. Жоден з природних патогенів не діє миттєво, а це означає, що відхилення від нормального перебігу біологічних процесів можна виявити на ранніх стадіях. Однією з перших ознак зниження життєдіяльності є зменшення швидкості транспорту поживних речовин. Це можна виявити за допомогою оцінки діелектричних властивостей, що в кінцевому підсумку дозволяє пом'якшити або сповільнити шкідливі процеси в фізіології рослини.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи було вивчення особливостей моніторингу та методів діагностики життєвого стану дерев сосни звичайної за допомогою діелектричних показників в умовах Тригірського лісництва Філії «Коростенське лісомисливське господарство».

Для досягнення поставленої мети передбачалось виконання наступних завдань:

1. Провести лісівничо-таксаційну характеристику сосновим насадженням та виявити дерева різних категорій стану згідно нормативним документам.
2. Встановити зміни діелектричних показників дерев сосни звичайної різних ступенів санітарного стану упродовж року.
3. Виявити особливості зміни імпеданса та поляризаційної ємності у дерев сосни звичайної I-VI категорії стану.

Об'єкт дослідження – процес росту чистих деревостанів сосни звичайної на території Центрального Полісся.

Предмет дослідження – є закономірності зміни електрофізіологічних показників (імпеданс та поляризаційна ємність) дерев сосни звичайної різних категорій стану упродовж вегетаційного періоду.

Методи дослідження: у дослідженнях використали, лісівничо-таксаційні методи для характеристики лісових насаджень, електрофізіологічні – для визначення діелектричних параметрів насаджень сосни звичайної, екологічні – для виявлення впливу несприятливих чинників, математико-статистичні методи для статистичної обробки отриманих матеріалів.

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 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.

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.

Сергійчук Б.В. Показники імпедансу дерев сосни звичайної в умовах Тригірського лісництва Філії «Коростенське лісомисливське господарство» (весняний аспект). *Ліс, наука, молодь*: матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Житомир, 23 листопада 2023 р.). Житомир, 2023. С. 207.

Практичне значення. Вперше для соснових деревостанів Тригірського лісництва Філії «Коростенське лісомисливське господарство» виявлено

зв'язок діелектричних параметрів дерев сосни звичайної та категорій санітарного стану упродовж року.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота викладена на 38 сторінках друкованого тексту і складається з вступу, трьох розділів, висновків і рекомендацій, списку використаних джерел (містить 47 найменувань) та додатків.

РОЗДІЛ 1

АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Деградація лісів України, зокрема соснових, що спостерігається останнім часом, зумовлює необхідність удосконалення існуючих методик та впровадження нових підходів до оцінки стану лісових насаджень [45]. Наразі існує нагальна потреба у розробці, зокрема, експрес-методів для оперативної діагностики погіршення стану лісових біогеоценозів. Жоден з природних патогенів не діє миттєво, а це означає, що відхилення від нормального перебігу фізіологічних процесів можна виявити на ранніх стадіях ураження. Однією з перших ознак зменшення біологічної стійкості є уповільнення швидкості транспорту поживних речовин. Такі зміни доволі легко можна виявити за допомогою оцінки діелектричних показників, що в кінцевому підсумку дозволяє, або запобігти розвитку патологічних процесів, або ж, принаймні, пом'якшити або уповільнити їх розвиток в організмі рослини. Моніторинг стану лісових насаджень є важливою передумовою збереження лісових біогеоценозів та проактивного реагування на потенційні загрози. Використання саме діелектричних показників, зокрема, імпеданса та поляризаційної ємності, які відображають біологічний стан рослин та інтенсивність перебігу в них фізіолого-біохімічних процесів, все частіше застосовують як комплексний та доволі інформативний прогностичний метод оцінки різних умов та рівнів життєздатності деревних рослин [28].

Початок 18 століття став початком ери вивчення процесів електричної взаємодії клітин рослини [17]. Проте, до 1960-х років XX століття у практиці ведення лісового господарства надбання електрофізіології рослин не використовували [44]. З другої половини минулого століття для оцінки стану тканин рослин вчені почали застосовувати такі показники як імпеданс та поляризаційна ємність [41, 42]. Вперше діелектричні показники, а саме

імпеданс, були застосовані у лісознавстві доктором Алексом Л. Шіго (Dr. Alex L. Shigo) для діагностики наявності стовбурових гнилей. Ним було сконструйовано вимірювальний прилад (шигометр), який використовував імпульсний електричний струм для визначення показників імпедансу [46, 47]. Діелектричні параметри загалом об'єктивно відображають взаємодії ступінь взаємодії деревних порід у процесі формування лісових насаджень.

В Україні основи застосування електрофізіологічних показників для дослідження життєздатності деревних рослин закладені Г.Т. Криницьким [24]. Широке спектр застосування електрофізіологічних показників під час проведення лісівничо-екологічних та селекційно-генетичних досліджень вказує на високий ступінь потенційної універсальності [25]. Електрофізіологічними дослідженнями охоплено різні види деревних порід [7, 9, 15, 16, 30, 37], проте здебільшого об'єктом наукових пошуків є різні аспекти життєдіяльності сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.): територіальність [11, 12], вплив біотичних [8, 39, 40] та абіотичних [10, 22, 27, 29, 32] чинників, особливостей ведення лісового [1, 14, 26] та мисливського господарства [18-20] тощо.

Опинившись під дією несприятливих чинників організм сосни звичайної поступово сповільнює фізіологічні процеси, проте цього може не бути помітно візуально. В умовах лісових біогеоценозів практично всі дерева знаходяться під впливом патогенів, однак лише за певних умов та сукупності чинників запускається механізм деградації, коли ці процеси уже стають незворотними. Саме прогнозування таких умовних ліній є найбільш доцільним під час проведення електрофізіологічного моніторингу лісових екосистем. У контексті сказаного особливо цінними є дослідження Заїки В.К. [10], який проводив дослідження стану соснових біогеоценозів, розташованих на радіаційно забруднених територіях та його роботи з Дерев'янчуком Ю.Л. [8], де було описано патогенний вплив осіннього опенька (*Armillariella mellea* (Fr. ex Vahl.) Karst.) на соснові насадження. Рибак Ю.Л. досліджувала стан молодих соснових культур та їх реакцію на

пошкодження сосновим вертуном (*Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr) [39] та звичайним шютте (*Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chevall) [40]. Дослідження механічного впливу на стовбури сосни звичайної у результаті добування живиці [1] та під час лісозаготівельних робіт [21, 32], також показують на поступовий та тривалий вплив наслідків ушкоджень (механічне пошкодження з наступним ураженням комплексом патогенів) на процеси зміни біохімічних та електрофізіологічних процесів рослин. Аналізуючи загальний підсумок результатів їх досліджень можна констатувати той факт, що на початкових стадіях впливу патогенних чинників фізіологічні реакції вражених організмів достовірно не відрізняються від контрольних нормальних насаджень.

Сьогодні соснові деревостани стикаються з безліччю несприятливих чинників, джерелом яких є як природні явища, так і результат антропогенної діяльності. Швидка оцінка ризиків та їх оцінка має вирішальне значення для запобігання значним втратам для лісогосподарських підприємств. Поступове впровадження використання електрофізіологічних показників спонукає до уніфікації та стандартизації методології застосування поляризаційної ємності та імпедансу у практиці моніторингу ведення лісогосподарської діяльності. Слід наголосити, що діелектричні показники мають чітко виражену сезонну динаміку та можуть бути використані для діагностування різноманітних станів деревних рослин незалежно від видової приналежності та умов місцезростання [43].

Наразі шкала категорій життєздатності запропонована лише для видів роду *Ulmus* L. Досліджуючи санітарний стан насаджень, із застосуванням електрофізіологічних показників, виділено шість різних рівнів життєздатності: «цілком здорові», «відносно здорові», «слабовсихаючі», «середньовсихаючі», «сильновсихаючі» та «засохні» дерева [36]. Однак подібних систем категоризації, пристосованих спеціально для дерев сосни звичайної, поки що не розроблено.

Рослини зазнають складного впливу різноманітних абіотичних чинників, серед яких температура, наявність та доступність вологи мають ключове значення через їхній глибокий вплив на формування природного середовища існування. Швидкість руху води та її доступність певним чином по'язані із загальною життєздатністю дерев. Здорові стовбури дерев, завдяки швидкому потоку води та значній теплопоглинальній здатності, ефективно протидіють нагріванню, спричиненому сонячною радіацією та навколишнім повітрям, що менш виражено в ослаблених або всохлих деревах. Доведено, що серед модельних насаджень ті з них які складаються із сильно ослаблених дерев демонструють високі значення показників температури деревини, тоді як здорові дерева реєструють значно нижчі параметри температури.

Наразі візуальний відбір дерев є поширеною практикою під час проведення рубок догляду для створення високопродуктивних і стійких лісових насаджень. Хоча використання вимірювань діелектричних параметрів не набуло широкого практичного застосування в охороні лісів, було запропоновано використовувати методи оцінки стану дерев на основі морфологічних та біоелектричних показників. Згідно чого ці показники відображають рівень життєздатності деревних рослин.

Іншим цікавим методом оцінки життєздатності деревних рослин метод з біофізичним підходом, який ґрунтується на вимірюванні температури певних ділянок на стовбурі дерева. Припущення дослідників ґрунтувалося на тому, що коливання температури пов'язані з життєздатністю дерева, його водним балансом і значенням температури стовбура. Слід наголосити на браку та обмеженості існуючих фізіолого-біохімічних методів оцінки життєздатності деревних рослин. Ці методи зазвичай вважаються ненадійними та недоцільними для широкого використання через їхню трудомісткість та складнощі, пов'язані з інтерпретацією результатів вимірювань. У практичному лісовому господарстві часткові або

непереконливі результати, як правило, є незадовільними, оскільки вони не дають достовірної інформації про стан насаджень.

При створенні високопродуктивних і стійких лісових насаджень під час рубок догляду застосовують традиційні методи відбору дерев, що базуються на візуальній оцінці. Проте існує теоретична можливість використання методів оцінки, що базуються на морфологічних та біоелектричних показниках для визначення рівня життєздатності рослин. Згідно з уявленнями про деревину живого дерева, як про фізичний об'єкт, стовбур дерева складається з діелектричних циліндрів, пронизаних провідною мінералізованою рідиною, що має двонаправлений напрямок руху. У середині цієї структури спостерігається безперервна взаємодія фізико-хімічних та біологічних процесів. Перспективним, також є біофізичний підхід для оцінки життєздатності деревних порід шляхом вимірювання температури стовбура в певних точках. Цей підхід використовує тісний взаємозв'язок між здоров'ям дерев, водним балансом та температурою стовбура. Вони стверджують, що традиційні фізіологічні та біохімічні методи оцінки життєздатності деревних рослин не є стабільно надійними і зазвичай непрактичними через свою складність та особливу трудомісткість.

Вони рекомендують оцінювати життєздатність дерев за біоелектричними потенціалами в середині літа, оскільки ранньою весною спостерігається сплеск амплітуд біоелектричних потенціалів, які ще недостатньо чітко виражені. Такі параметри, як загальний вміст хлорофілу чи значення біометричних показників, дають інформацію лише через рік після пошкодження. Крім того, оцінка життєздатності за допомогою біоелектричних потенціалів та показників електричного опору в камбіальному комплексі тканин (імпеданс) часто не дає достовірної інформації через довільне розміщення електродів на рослинній тканині. Чіткої методики зняття показників не розроблено, що ставить під сумнів сумісність досліджень, навіть проведених згідно однієї методики, піднімаючи проблему верифікації отриманих результатів.

Діелектричні властивості прикамбіального комплексу тканин демонструють помітні сезонні коливання. Сезонна динаміка складових імпедансу в цьому комплексі має приблизно параболічний характер з численними локальними екстремумами. Тому дослідження діелектричних характеристик активної складової імпедансу тканин зазвичай проводять у період з середини до кінця червня. Цей часовий проміжок збігається з піком інтенсивності ростових процесів у тканинах дерев. Однак значною проблемою є значна варіабельність діелектричних параметрів вибірки. Коефіцієнт варіації діелектричних показників, навіть у поруч зростаючих дерев, може бути достатньо високим. Причина цьому – низка чинників, які впливають на модельні дерева, що робить ці показники непридатними для безпосереднього оцінювання санітарного стану та життєвої здатності дерев [23].

Вивчення змін рівня електричного опору деревних рослин є важливим аспектом, який дає уявлення про ступінь негативного впливу на деревні рослини. Під час моніторингу лісових насаджень необхідно проводити всебічні та глибокі дослідження як внутрішньої, так і зовнішньої транспірації. Ці дослідження повинні відбуватися в умовах, які регулюють ріст і розвиток, як на рівні окремих дерев, так і в межах складних лісорослинних екосистем. Такі дослідження потребують глибоких фізіологічних, біохімічних та біофізичних досліджень. Крім того, вдосконалення існуючих і розробка нових методів є важливими компонентами цих досліджень.

Таким чином, несприятливі глобальні кліматичні зміни згубно впливають на організм рослин, як наслідок, зменшується біорізноманіття рослин і знижується продуктивність біогеоценозів.

РОЗДІЛ 2

ТЕРИТОРІЯ, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика району досліджень

У 2022 році було створено філію «Коростенське лісомисливське господарство» Державного підприємства «Ліси України» шляхом злиття двох підприємств: Державного підприємства «Житомирське лісове господарство» та Державного підприємства «Коростенське лісомисливське господарство». Загальна площа цього лісомисливського господарства тепер становить близько 71,3 тис. га і включає тринадцять окремих лісництв. Одне з них, Тригирське лісництво, яке розташоване в межах Житомирського адміністративного району та охоплює загальну площу 4442,2 га, розділену на дві майстерські ділянки та вісім обходів [33].

За загальноприйнятим в Україні лісорослинним районуванням, розробленим С.А. Генсіруком [2, 3], територія лісництва відноситься до південної частини Українського Полісся. Воно входить до складу Центрально-Поліського округу в межах Поліського лісогосподарського району. Комплексне фізико-географічне районування вказує, що територія Тригирського лісництва знаходиться на південній межі зони мішаних лісів Українського Полісся, розташованої в межах Східноєвропейської рівнини та лісостеповою зоною. Ця межа умовно проходить по річці Тетерів. Таке розташування на межі лісостепової зони суттєво впливає на характер аборигенної рослинності, переважаючі типи і підтипи ґрунтів та кліматичні характеристики [4-6].

Клімат характеризується як помірно континентальний та сприятливий для росту основних лісотвірних порід та більшості чагарників. Наразі відбувається ксерофікація кліматичних показників. Кількість опадів скорочується та відбувається їх перерозподіл по періодам року. Для літа стають характерними тривалі бездощові періоди, що можуть перерости в

посухи. Літо в цьому регіоні зазвичай спекотне. Однак в останні роки спостерігається тенденція до недостатньої кількості опадів, а періодичні посухи трапляються циклічно кожні 5-10 років. Для нього характерні м'які зими, які, як правило, малосніжні і короткі, з періодичними заморозками. У цьому кліматі також періодично трапляються пізні весняні та ранні осінні заморозки [4-6].

Ландшафт включає невеликі пагорби та западини, що утворилися внаслідок льодовикових та післяльодовикових процесів. Характерні виходи кристалічних порід по берегах річок. Основні лісові масиви лісництва розташовані на другій надзаплавній терасі річки Тетерів [33].

Домінуючою породою, що формує структуру лісів Тригирського лісництва є сосна звичайна (*Pinus sylvestris*). Крім того, значні площі належать насадженням дуба звичайного (*Quercus robur*), берези повислої (*Betula pendula*) та вільхи чорної (*Alnus glutinosa*). Окрім цих основних лісоутворюючих порід, тут також ростуть ясен звичайний (*Ulmus laevis*), дуб червоний (*Quercus borealis*), клен гостролистий (*Acer platanoides*) та липа серцелиста (*Tilia cordata*). Уздовж доріг присутня акація біла, яка є небажаною деревною породою. Середній вік деревостанів у лісництві становить приблизно 53 роки, а середня повнота деревостанів дорівнює 0,7. Переважаючі типи лісу відносяться до свіжих (В2-дС) та вологих (В3-дС) дубово-соснових суборів, що охоплюють близько 80,0% території. Також є свіжі грабово-дубово-соснові (С2-гдС) субгруді, що займають 4,0% площі. Найпоширенішими ґрунтами на цій території є слабо- та помірно опідзолені ґрунти з переважанням піщаних структур та поодинокими випадками супіщаного складу [33].

2.2. Характеристика об'єкта дослідження

До роду Сосна (*Pinus* L.) належить близько 100 видів, з яких лише шість є рідними для України. Сосна звичайна (*Pinus sylvestris*) належить до

підроду *Diploxylon Koehne* [13]. Це дерево відноситься до твердих порід, що характеризуються характерною кроною. Сосна звичайна демонструє швидкий ріст упродовж початкових етапів раннього онтогенезу, поступаючись серед хвойних порід лише модрині. На трофічно багатих ґрунтах вона досягає максимального росту, як правило, у віці від п'ятнадцяти до двадцяти років, тоді як у менш родючих біотопах це відбувається приблизно у віці двадцяти п'яти років. Проте після досягнення 40-50 річного віку швидкість росту сосни звичайної сповільнюється. У цей період ялина європейська, яка спочатку відстає у рості, починає поступово наздоганяти сосну, зрештою досягаючи паритетних висот до 60-70 років. У 100-річному віці сосна звичайна в оптимальних умовах може досягати висоти до тридцяти метрів. Зазвичай, у сприятливих місцях зростання висота стовбура досягає 30-35 метрів. Деревя сосни звичайної можуть жити приблизно від 300 до 350 років, а в деяких випадках задокументовано навіть старіші особини [31].

Стовбур дерева вирізняється послідовними мутовчастими розгалуженнями. Таким чином, у молодому віці, поки нижні гілки повністю не засохли, можна визначити вік дерева, підрахувавши ці мутовки. Пагони сосни ростуть моноподіально, а характерною особливістю є розташування хвоїнок (шпильок) попарно, по спіралі вздовж поверхні пагона і розходяться на всі боки. Хвоя зазвичай має довжину від 20 до 60 мм, плоско-опуклу, жорстку, вузьколінійну, загострену та дрібнозазубрену по краях. На дорослих деревах хвоя зазвичай зберігається протягом двох, а іноді трьох років [13].

На різних ділянках стовбура кора сосни звичайної має чітко виражені кольорові варіації. Молоді гілки прикрашені сіруватою або сірувато-коричневою корою. На відміну від них, старіші гілки та верхня частина стовбура мають жовтувато-червонувату кору, яка має тенденцію відшаровуватися тонкими пластами. Однак нижні та товстіші сегменти стовбура вкриті міцною корою з рельєфною текстурою, часто порізаною тріщинами. Ця кора може мати відтінок від червонуватого до темно-коричневого [13].

Враховуючи поширення сосни звичайної в межах південної частини її ареалу в Україні, важливо зазначити, що її присутність відбувається ізольованими скупченнями, іноді широко розкиданими і розділеними значними відстанями. Зважаючи на широкий географічний ареал, що охоплює різноманітні природні умови, сосна звичайна природним чином утворює велику кількість різноманітних географічних форм [38].

2.3. Методологія дослідження

Для визначення інтенсивності процесів життєдіяльності сосни звичайної різних категорій стану (КС) використали діелектричні показники імпеданс (R) та поляризаційну ємність (C) прикамбіальних тканин лубу. Вимірювання проводили на висоті стовбура 1,3 м за методикою Г.Т. Криницького [24]. Вимірювання проводили аналоговим приладом F4320 (рис. 2.1.). Даний прилад дозволяє вимірювати поляризаційну ємність і активний опір у складі комплексного ємнісного опору, використовуючи конфігурацію паралельного заміщення, і працює на частоті 1000 Гц. Прилад призначений для використання в діапазоні температур навколишнього середовища від +10 до +35°C і може ефективно функціонувати в умовах відносної вологості до 80%.

Для вимірювання діелектричних властивостей використовується спеціалізований зонд, що складається з двох голкоподібних електродів, виготовлених з інертних металів. Ці електроди розташовані на відстані 2 см один від одного (як показано на рис. 2.2).

Ми відбирали по 10 модельних дерев сосни звичайної різних категорій стану згідно «Санітарних правил в лісах України» [34], що є цілком достатньою кількістю для відображення особливостей та інтенсивності проходження процесів життєдіяльності у межах кожної з вибраних категорій санітарного стану. Провівши рекогносцирувальні роботи ми не виявили

дерев I категорії стану, а тому дослідження діелектричних показників проводили для дерев II-VI категорій стану.



Рис. 2.1. Аналоговий комбінований прилад F4320.

Звичайно електроди вводяться в тканину на глибину 1 см при стандартизованій висоті стовбура 1,3 м. Для узгодженості результатів бажано проводити вимірювання з південного боку модельних дерев. В ідеалі слід проводити вимірювання з усіх чотирьох сторін, а потім обчислювати середні значення. Однак такий комплексний підхід збільшив би тривалість дослідження щонайменше в чотири рази, хоча й дозволив би отримати точніші дані.



Рис. 2.2. Зонд для аналогового комбінованого приладу F4320.

Категорювання санітарного стану насаджень сосни звичайної проводили за загальноприйнятими в лісівничій науці методиками, дотримуючись рекомендацій, викладених у «Санітарних правилах в лісах України» [34]. Основні критерії, за якими визначалися категорії санітарного стану, наведені в Додатку А.

РОЗДІЛ 3

ЗАСТОСУВАННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО СТАНУ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

3.1. Вимірювання діелектричних показників

Оцінка поляризаційної ємності та імпедансу дерев сосни звичайної проводили тричі упродовж вегетаційного періоду 2023 року: початок вегетації (весна), фаза активного росту (літо) та перехід до стану спокою (осінь). Вимірювання здійснювали в урочищі «Циганський ліс – 1» на території Тригірського лісництва Філії «Коростенського лісомисливського господарства» (кв. 8, вид. 9) (рис.3.1.).

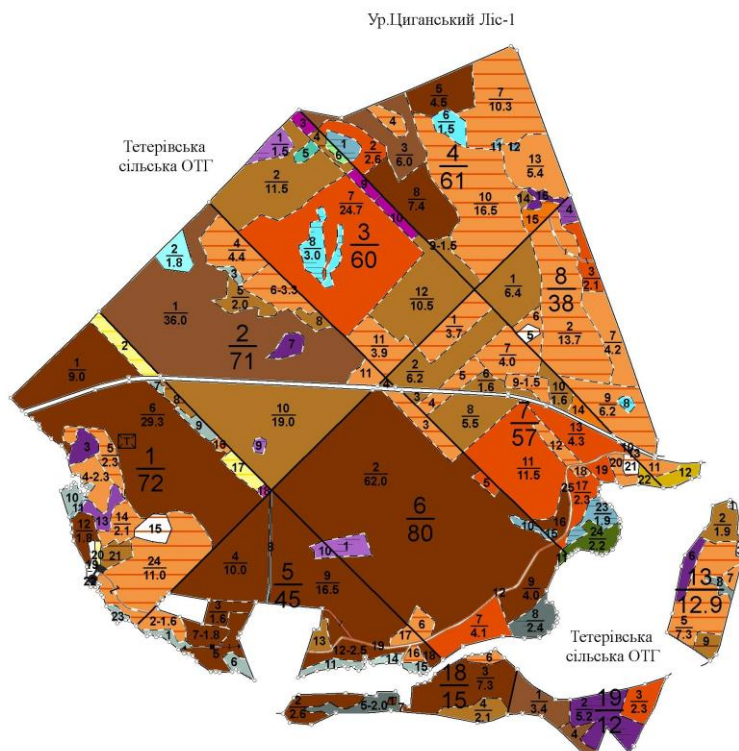


Рис. 3.1. Схема розташування урочища «Циганський ліс -1».

Це чисте пристигаюче штучне насадження сосни звичайної (10Сз) віком 63 роки, що зростає за І^b класом бонітету в умовах свіжого грабово-дубово-соснового сугруду (С₂-гдС) на площі 6,2 га. Середня висота становить 27 м, а середній діаметр 32 см. Запас становить 440 м³/га. Слід зазначити, що на цій ділянці присутній підріст граба звичайного (*Carpinus betulus* L.) двадцяти п'яти років, висотою 6,0 метрів, 6,0 тис. штук/га. Густота підліску становить 0,7. Територія відноситься до 2-го класу естетичної оцінки, 3-го класу пішохідної доступності, із загальною рекреаційною оцінкою – середньою. З точки зору стабільності, він віднесений до другого класу, що вказує на помірний рівень стійкості до змін навколишнього середовища. Крім того, цей регіон визначено як такий, що знаходиться на першій стадії деградації (рис. 3.2.).



**Рис. 3.2. Соснове насадження тимчасової пробної площі
(Тригирське лісництво, кв. 8, вид. 9)**

Визначені діелектричні показники дають цінну інформацію про життєздатність дерев різних КС. Вони можуть бути визначені шляхом вивчення взаємних коливань імпедансу та поляризаційної ємності.

Представлені нижче результати вимірювань поляризаційної ємності та імпеданса (табл. 3.1.) на території тимчасової пробної площі, дозволять виявити певні закономірності взаємозв'язку санітарного стану дерев сосни звичайної та діелектричних показників.

Таблиця 3.1.

**Діелектричні показники сосни звичайної в умовах
Тригірського лісництва Філії «Коростенське лісомисливське
господарство»**

КС	C, nF		R, кОм	
	M	V, %	M	V, %
Весняний період 2023 року				
II	7,31	18,7	28,4	17,8
III	6,12	17,9	34,9	19,5
IV	5,67	21,8	46,1	24,8
V	2,34	28,1	143,5	53,4
VI	1,11	10,8	10277,0	77,3
Літній період 2023 року				
II	21,42	27,5	11,5	21,6
III	15,62	22,2	15,6	38,1
IV	9,83	18,0	29,3	17,8
V	2,41	29,4	158,0	48,3
VI	1,12	5,1	24700,0	84,4
Осінній період 2023 року				
II	11,41	10,3	21,4	12,3
III	8,35	12,8	35,7	29,5
IV	4,43	10,1	43,0	28,7
V	2,01	39,7	147,0	25,8
VI	1,11	6,3	17800,0	86,8

3.2. Характеристика діелектричних показників упродовж вегетаційного періоду.

3.2.1. Весняний період. На експериментальній ділянці навесні ми визначили поляризаційну здатність дерев сосни звичайної для II-VI КС [35]. Отримані дані наступні: КС II – 7,31 nF, III – 6,12 nF, IV – 5,67 nF, V – 2,34 nF, VI – 1,11 nF (див. табл. 3.1). Слід зазначити, що значення поляризаційної ємності демонструють значні відмінності між окремими категоріями станів. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу були встановлені значні відмінності між КС II-III ($F = 9,02 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), IV-V ($F = 41,22 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$) та V-VI ($F = 19,64 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$). Прикметно, що між показниками III та IV КС не спостерігається достовірної різниці ($F = 4,28 < F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), але вона існує в парі КС II-IV ($F = 6,74 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$).

Для дерев II КС імпеданс становив 28,4 кОм, для III КС – 34,9 кОм, IV – 46,1 кОм, V – 143,5 кОм, а для VI – 10277,0 кОм (див. табл. 1). Важливо зазначити, що коефіцієнти варіації є значними, особливо для КС V – 53,4%, і особливо високими – для КС VI – 77,3%. Для показників імпедансу КСС II-V коефіцієнти варіації коливаються від 17,8% до 24,8%. Як і для поляризаційної ємності, результати однофакторного дисперсійного аналізу виявили значні відмінності, а саме між КС II-III ($F = 12,92 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), IV-V ($F = 49,74 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$) та V-VI ($F = 51,55 \cdot 10^{-9} > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$). Як і у випадку з поляризаційною ємністю, не спостерігається достовірної різниці у показниках імпедансу КС III і IV ($F = 4,13 < F_{0,95}(1; 19) = 4,41$).

Отже, наші результати показують, що в міру погіршення фізіологічного стану дерев упродовж одного вегетаційного періоду відбувається поступове зниження поляризаційної ємності. Натомість значення імпедансу демонструють поступове зростання в КС II-IV та більш акцентований ріст у КС V-VI. Зокрема, порівняно з четвертою категорією стану, імпеданс п'ятої

категорії зріс у 3,1 рази, а згодом імпеданс шостої категорії зріс ще більш ніж у сто разів (106,3 рази) порівняно з п'ятою категорією (рис. 3.3.). Такий феномен, ймовірно, можна пояснити тим, що п'ята та шоста КС представляють мертву деревину, хоча і на різних стадіях, причому п'ята – «свіжішу», а шоста – «старішу». У відмерлих тканинах (мертвій деревині), де відсутній транспорт поживних речовин через провідну систему, опір тканин (імпеданс) зазнає значного і багаторазового збільшення. Даний процес може бути використаний як індикатор для оцінки загального фізіологічного стану деревних рослин

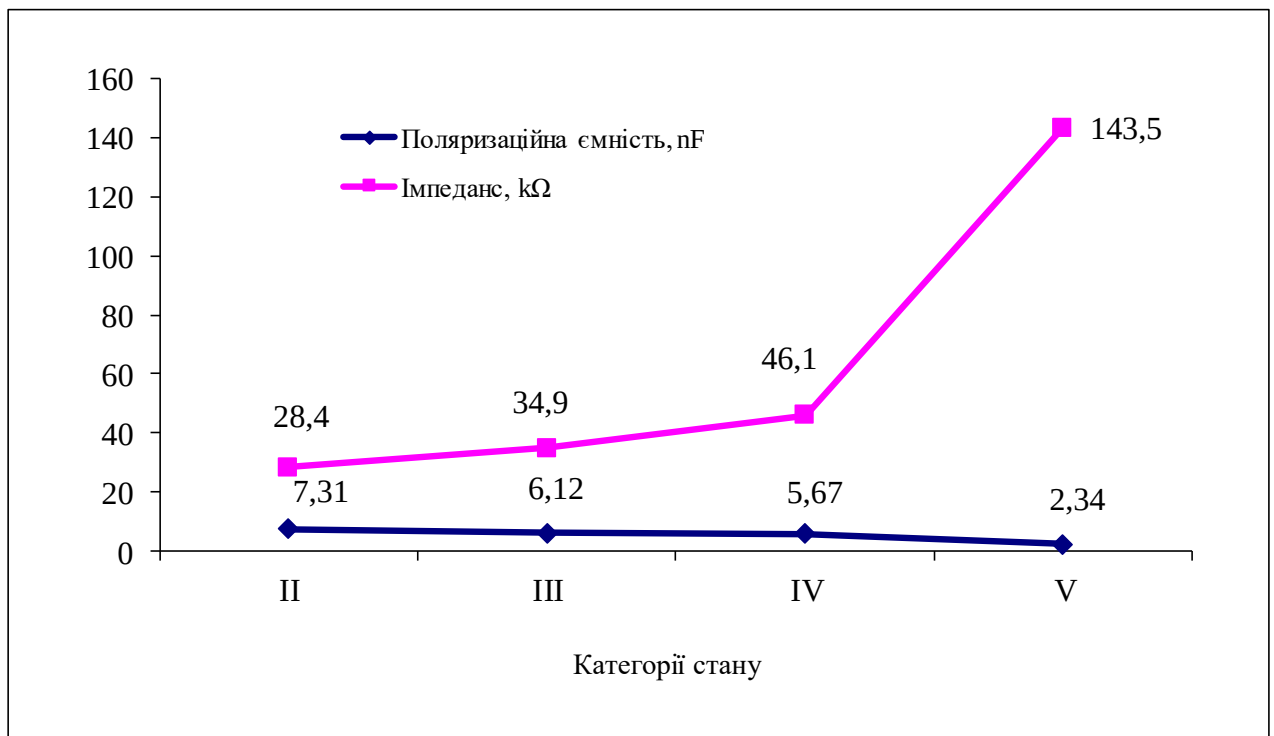


Рис. 3.3. Динаміка діелектричних показників дерев сосни звичайної II-V КС у весняний період.

3.2.2. Літній період. Упродовж літнього періоду (період активної вегетації) поляризаційна ємність дерев сосни звичайної мала наступні показники: КС II - 21,42 пФ, III – 15,62 пФ, IV – 9,83 пФ, V – 2,41 пФ та VI – 1,12 пФ. Спостерігаються значні відмінності у значеннях поляризаційної ємності між різними КС. Відповідно до результатів однофакторного дисперсійного аналізу, значущі відмінності спостерігаються між наступними

парами КС: II-III ($F = 6,32 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), III-IV ($F = 23,66 >> F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), IV-V ($F = 98,1 >> F_{0,95} (1; 19) = 4,41$) та V-VI ($F = 14,35 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$). Інший діелектричний показник мав наступні значення: для дерев КС II імпеданс становив 11,5 кОм, для III – 15,6 кОм, для IV – 29,3 кОм, для V – 158,0 кОм і для VI – 24700,0 кОм. Дисперсійний однофакторний аналіз виявив значущі відмінності між наступними парами КС: II-III ($F = 5,5 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), III-IV ($F = 34,52 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), IV-V ($F_{0,95} = 91,22 >> F_{0,95} (1; 19) = 4,41$) і V-VI ($F = 123,18 \cdot 10^{-8} > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$) (див. табл. 3.1).

В цілому, коефіцієнти варіації знаходяться в межах середнього діапазону. Помітна різниця спостерігається у КС VI, де коефіцієнт варіації для поляризаційної ємності є найнижчим (5,1%), а для імпедансу - найвищим (84,4%). Для значень імпедансу для КС II-V коефіцієнти варіації коливаються від 17,8% до 48,3%, тоді як для поляризаційної ємності – від 18,0% до 29,4%.

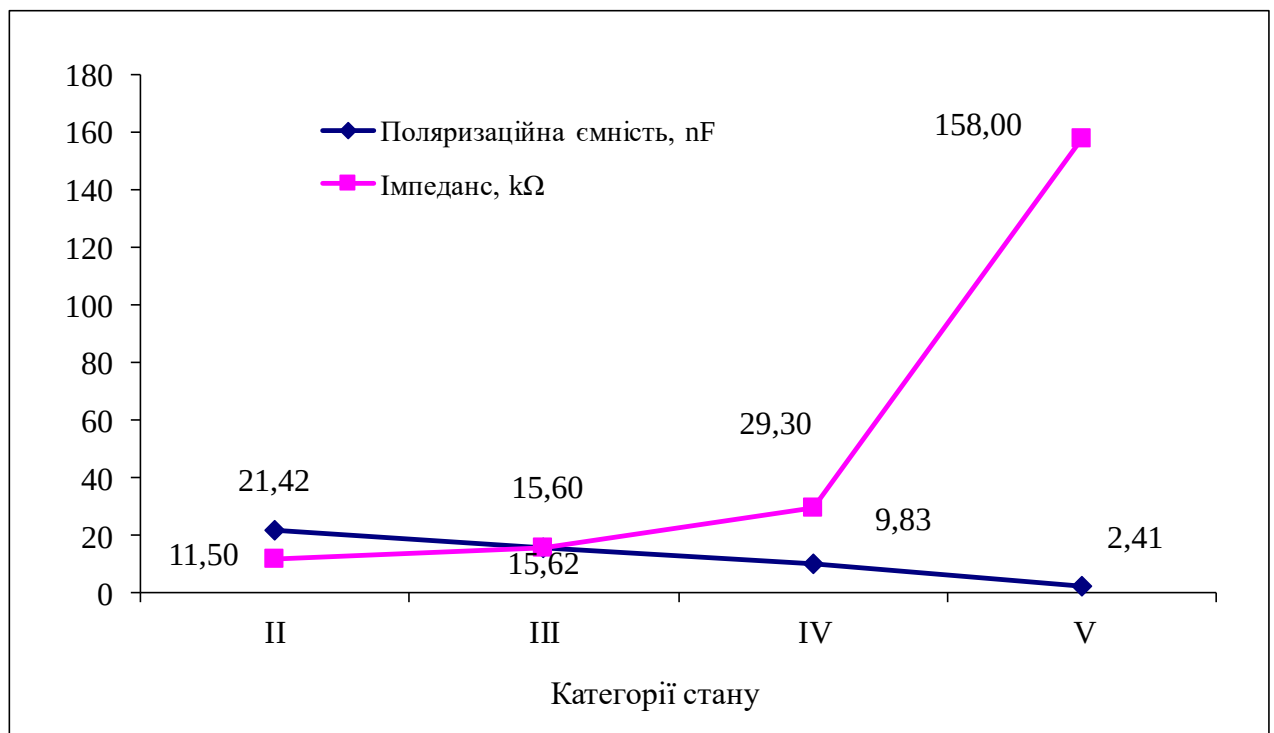


Рис. 3.4. Динаміка діелектричних показників дерев сосни звичайної II-V КС у літній період.

У період активного росту (літо) спостерігається збільшення поляризаційної ємності для дерев сосни звичайної в КС II-VI. Однак для

дерев, віднесених до категорії сухостою (КС V-VI), цей показник є навіть нижчим, ніж навесні. Загалом, значення імпедансу для дерев сосни звичайної в КС II-VI влітку відповідають загальній тенденції до зменшення порівняно з весною (рис. 3.4.). Проте значення для п'ятої та шостої КС в цьому відношенні є надзвичайно високими, як і навесні.

3.2.3. Осінній період. Осінні дослідження продемонстрували поступове зниження інтенсивності фізіологічних процесів у дерев сосни звичайної. Показники поляризаційної ємності для дерев сосни звичайної КС II-VI була наступною: 11,41 nF для КС II, 8,35 nF для КС III, 4,33 nF для КС IV, 2,01 nF для КС V і 1,11 nF для КС VI (рис. 3.5).

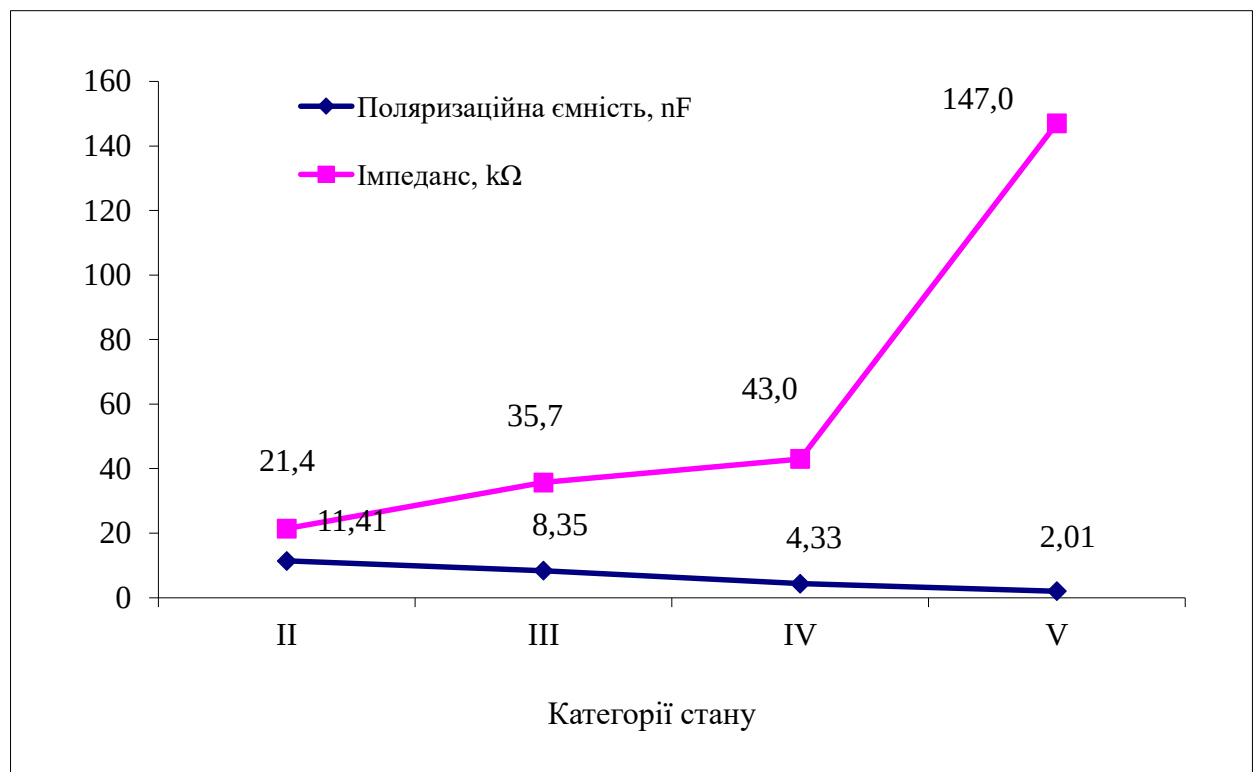


Рис. 3.5. Динаміка діелектричних показників дерев сосни звичайної II-V КСС в осінній період.

Існують значні відмінності у значеннях поляризаційної ємності між різними категоріями стану, особливо між КС II і III ($F = 21,16 \gg F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), III-IV ($F = 18,44 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), IV-V ($F = 22,1 \gg F_{0,95}(1; 19) = 4,41$) та V-VI ($F = 17,77 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$).

Вимірювання значень імпедансу для дерев сосни звичайної в категоріях стану II-VI дало наступні результати: для КС II він становив 21,4 кОм, для III – 35,7 кОм, IV – 43,0 кОм, V – 147,0 кОм, VI – 17800,0 кОм. Достовірна різниця існує між КС II-III ($F = 13,8 > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), IV-V ($F = 58,13 \gg F_{0,95} (1; 19) = 4,41$) та V-VI ($F = 180,11 \cdot 10^{-8} > F_{0,95} (1; 19) = 4,41$). Проте для III і IV КС достовірної різниці в показниках імпеданса згідно однофакторного дисперсійного аналізу не існує ($F = 4,33 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$).

Переважаючі коефіцієнти варіації є помірними або низькими, за винятком КС VI, де, як і в інші сезони, він є найнижчим для поляризаційної ємності (6,3%) та найвищим для імпедансу (86,8%). Для значень імпедансу восени діапазон для КС II-V становить 12,3-29,5%, а для поляризаційної ємності - 10,1-39,7%.

Загалом графіки трендів, що відображають зміни поляризаційної ємності та імпедансу в осінній період, дуже схожі на ті, що спостерігалися у весняний період. Це свідчить про те, що рівні життєздатності на досліджуваних територіях у березні та вересні демонструють подібну картину.

3.3. Загальні тенденції зміни діелектричних показників

Сезонні коливання діелектричних дерев сосни звичайної, передусім поляризаційної ємності, є характерною особливістю виключно живої деревини. Загиблі дерева більше не є цілісною біологічною системою, здатною системно реагувати на сезонні коливання змін навколишнього природного середовища шляхом регулювання інтенсивності своїх життєвих фізіологічних процесів. Тому не залежно від періоду вегетації показники поляризаційної ємності для КС V та VI ідентичні (рис. 3.6.). Із діаграми ми бачимо чітку залежність між санітарним станом дерев сосни звичайної та величиною коливання поляризаційної ємності. У фізіологічно здорових

насадженнях існує велика достовірна різниця діелектричних показників між порами року. Навіть у весняний період, коли ще фізіологічні процеси тільки пришвидшують свою активність показники поляризаційної ємності у дерев II та III КС значно вищі аніж у дерев сосни звичайної КС VI- V у літній період – період найбільшої інтенсивності фізіологічних процесів.

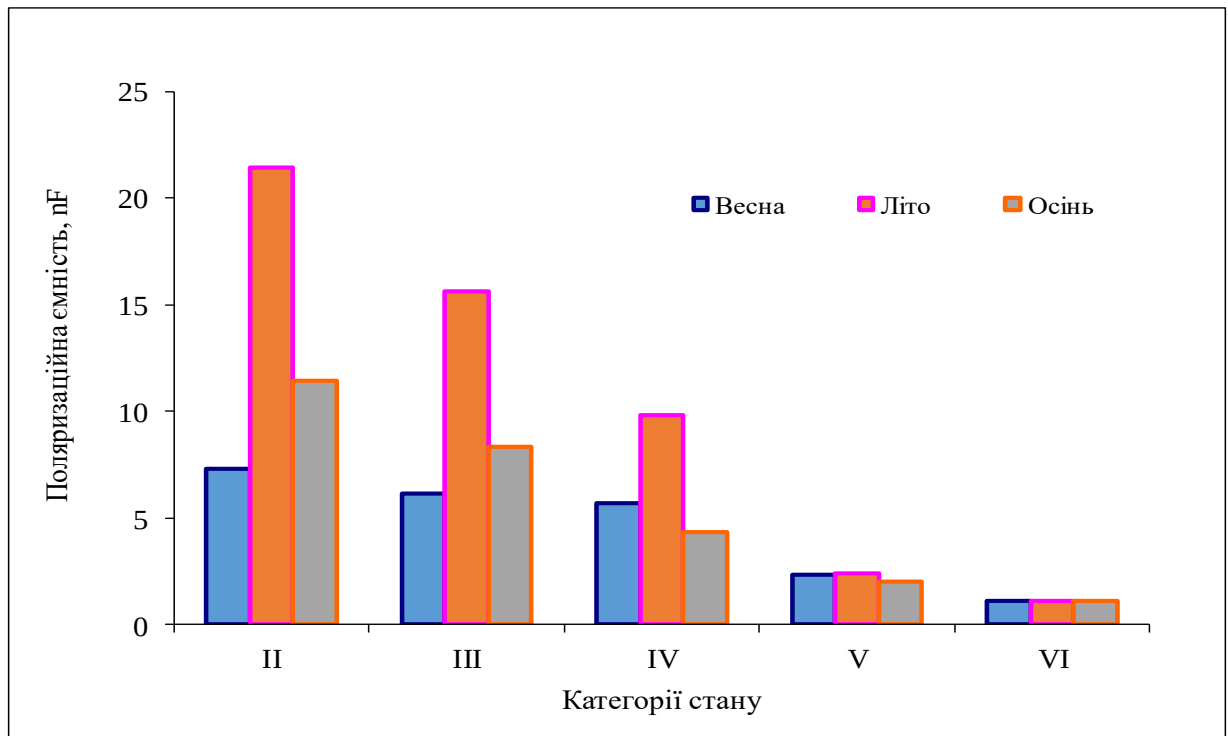


Рис. 3.6. Зміна показників поляризаційної ємності дерев сосни звичайної за категоріями стану упродовж періодів вегетації.

Сосна звичайна у КС II-IV демонструє чітку закономірність у зміні показників поляризаційної ємності упродовж вегетаційного періоду. Показники поступово зростають з початком сезону і досягають свого піку влітку. Восени відбувається уповільнення фізіологічних процесів, отже і показники поляризаційної ємності також знижуються. Важливо, що більш здорові дерева демонструють більш помітні коливання поляризаційної ємності протягом вегетаційного періоду. І навпаки, у випадку мертвої деревини (дерева V-VI КС) показники залишаються стабільними упродовж усього року (рис. 3.7.).

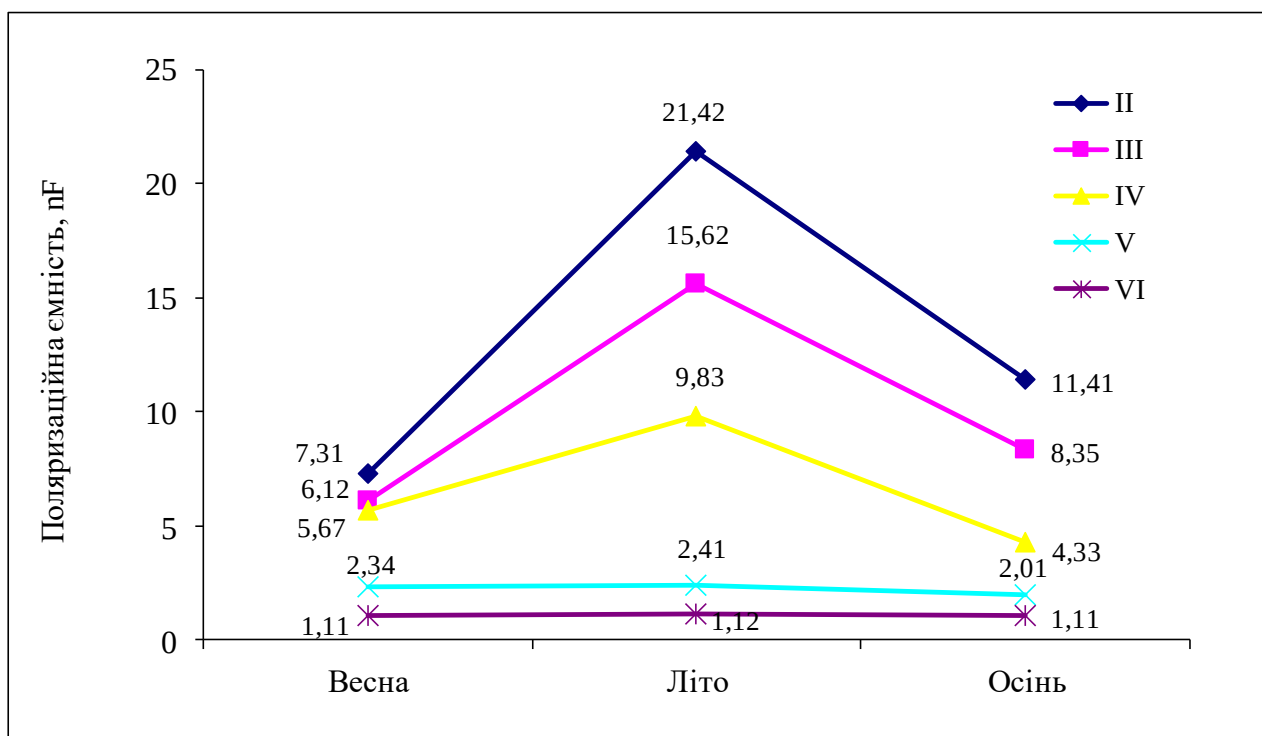


Рис. 3.7. Зміна показників поляризаційної ємності дерев сосни звичайної за категоріями стану (II–VI) упродовж року.

Аналогічна картина спостерігається і в динаміці значень імпедансу. На початку вегетаційного періоду значення імпедансу поступово зменшуються, досягаючи свого мінімуму в період активного росту. З наближенням осені та уповільненням фізіологічних процесів відбувається збільшення активного опору прикамбіальних тканин лубу. Водночас для дерев V–VI категорій санітарного стану значення імпедансу залишаються постійними впродовж року і перебувають на стабільно високому рівні.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Дослідження присвячене вивченню особливостей оцінки життєздатності дерев сосни звичайної електрофізіологічними методами в умовах Тригірського лісництва Філії «Коростенське лісомисливське господарство». Отримані результати дозволили зробити наступні висновки та узагальнення:

Для дерев сосни звичайної II-IV категорій стану характерна сезонна динаміка показників поляризаційної ємності, яка при графічному зображенні нагадує параболу зі спадаючими кінцями. Необхідно зазначити, що категорії санітарного стану дерев корелює з величиною коливань поляризаційної ємності впродовж вегетаційного періоду. І навпаки, значення імпедансу мають зворотну залежність від поляризаційної ємності. Найменші значення імпедансу спостерігаються в період активного росту.

Для дерев сосни звичайної II-VI категорій стану показники поляризаційної ємності упродовж вегетаційного періоду становили: навесні – II категорія стану – 7,31 nF, III – 6,12 nF, IV – 5,67 nF, V – 2,34 nF, VI – 1,11 nF; влітку – II – 21,42 nF, III – 15,62 nF, IV – 9,83 nF, V – 2,41 nF, VI – 1,12 nF; восени – II – 11,41 nF, III – 8,35 nF, IV – 4,43 nF, V – 2,01 nF, VI – 1,11 nF. Значення показників активного опору (імпедансу) дерев сосни звичайної II-VI категорій стану змінювалися протягом року з такою динамікою: навесні – II – 28,4 кОм, III – 34,9 кОм, IV – 46,1 кОм, V – 143,5 кОм, VI – 10277,0 кОм; влітку – 11,5 кОм, III – 15,6 кОм, IV – 29,3 кОм, V – 158,0 кОм, VI – 24700,0 кОм; восени – 21,4 кОм, III – 35,7 кОм, IV – 43,0 кОм, V – 147,0 кОм, VI – 17800,0 кОм.

Дерева, класифіковані за санітарним станом як V та VI категорії, тобто сухостійні, демонструють мінімальні коливання імпедансу та поляризаційної ємності упродовж року, підтримуючи їх на постійному рівні.

Доведено, що категорії стану дерев корелює з величиною та розміром коливань поляризаційної ємності впродовж вегетаційного періоду. Значення

показників імпедансу мають зворотну залежність по відношенню до поляризаційної ємності. Незалежно від категорії стану максимальні показники поляризаційної ємності та мінімальні показники імпедансу для II-IV категорій стану спостерігаються у період активного росту.

На основі однофакторного дисперсійного аналізу, встановлено, що значення імпедансу та поляризаційної ємності достовірно відрізняються у дерев сосни звичайної різних категорій стану.

Отримані результати підкреслюють, що зміни діелектричних параметрів деревних рослин у відповідь на дію несприятливих чинників є дієвим засобом діагностики стану лісових екосистем. Дані зміни виступають індикатором загальної життєздатності насаджень сосни звичайної і можуть бути ефективно використані для оперативної оцінки санітарного стану деревостанів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Галушка В. П., Заїка В. К., Криницький Г. Т. Електрофізіологічні параметри півсібсових потомств сосни звичайної різної тривалості підсочки. *Науковий вісник НАУ*. 1999. Вип. 17. С. 133–138.
2. Генсірук С. А. Ліси України : монографія. Львів : Українські технології, 2002. 496 с.
3. Генсірук С.А., Нижник М.С. Географія лісових ресурсів України : монографія. Львів: УДЛТУ, 1995. 123 с.
4. Географічна енциклопедія України: в 3-х т. / Ред-кол. : ...О. М. Маринич (відповід. ред.) та ін. Київ: Українська радянська енциклопедія ім. М.П. Бажана, 1989. Т. 1: А-Ж. 416 с.
5. Географічна енциклопедія України: в 3-х т. / Ред-кол.: ...О. М. Маринич (відповід. ред.) та ін. Київ: Українська радянська енциклопедія ім. М.П. Бажана, 1990. Т. 2: З-О. 480 с.
6. Генсірук С. А. Ліси України : монографія. Львів : Українські технології, 2002. 496 с.
7. Гуменюк І. Р., Заїка В. К., Бондаренко В. Д. Стан граба звичайного в лісостанах заповідника «Медобори». *Науковий вісник НУБІП України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2012. Вип. 171(1). С. 57–60.
8. 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.
9. 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.
10. Заїка В.К. Діелектричні показники сосни звичайної на радіаційно забруднених територіях. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2004. Т.14, № 1. С. 12–15.
11. Заїка В. К., Криницький Г. Т., Іваницький Р. С. Природне залісення

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.

12. 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.

13. Заячук В.Я. Дендрологія. Львів: СПОЛОМ, 2014. 646 с.

14. Зварич Ю. В. Вплив підсочки на електрофізіологічні показники лубу дерев сосни звичайної. *Лісівництво України в контексті світових тенденцій розвитку лісового господарства* : матеріали Міжнар. наукт.-практ. конф., присвяченої 150-річчю витоків кафедри лісівництва НЛТУ України (м. Львів, 20–23 вересня 2006 р.). Львів, 2006. С. 37–38.

15. 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.

16. 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.

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. 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.

19. Кратюк О.Л. Сезонна зміна діелектричних показників сосни звичайної в умовах напіввільного утримання мисливських тварин. *Екологічні науки*. 2019. № 4(27). С. 192–196.

20. 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.

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

22. Кратюк О.Л., Кордиш В.О., Осипчук В.М. Зміна діелектричних показників сосни звичайної у постпірогенний період. *Вісник Малинського фахового коледжу*. 2022. Вип. 1. С. 123–136.

23. 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.

24. 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.

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., Галушка В. П. Електрофізіологічна реакція сосни звичайної на добування живиці. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2005. Т. 15, № 2. С. 8–13.

27. 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.
28. Криницький Г. Т., Скольський І. М. Використання діелектричних показників для визначення життєвого стану дерев в'яза шорсткого. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2015. Т. 13. С. 83–88.
29. Кузик А. Д. Вплив низової пожежі на насадження сосни звичайної. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2012. Т. 22, № 7. С. 19–26.
30. Лавний В. В., Криницький Г. Т. Електрофізіологічні показники підросту деревних порід. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Т. 21, № 17. С. 86–90.
31. Литвак П. В., Таргонський П. Н., Бруцький Ю. В. Скарби лісових екосистем Полісся. Житомир : Державний агроекологічний університет, 2006. 430 с.
32. 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.
33. Проект організації і розвитку лісового господарства ДП «Житомирський лісгосп» Житомирської області. Тригірське лісництво. Ірпінь. 2018. 261 с.
34. Санітарні правила в лісах України, затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 27.07.1995 р. № 555 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 09.12.2020 р. № 1224) [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-%D0%BF;#Text>
35. Сергійчук Б.В. Показники імпедансу дерев сосни звичайної в умовах Тригірського лісництва Філії «Коростенське лісомисливське господарство» (весняний аспект). *Ліс, наука, молодь: матеріали XI*

Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Житомир, 23 листопада 2023 р.). Житомир, 2023. С. 207.

36. Скольський І.М. Ріст та життєздатність в'яза шорсткого у свіжих дібровах природного заповідника «Медобори». *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. Т. 18, №6. С. 62–66.

37. Скольський І.М. Ріст та життєздатність в'яза шорсткого у вологих грудах Опілля. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. Т. 18, №7. С. 104–109.

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

39. 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.

40. 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.

41. Fensom D. S. The bioelectrical potentials of plants and their functional significance. *Can. J. Bot.* 1963. 41. P. 831–851.

42. Fensom D. S. On measuring electrical resistance in situ in higher plants. *Can. L. Plant Sci.* 1966. 46. P. 169–175.

43. Gora Evan M., Yanoviak Stephen P. Electrical properties of temperate forest trees: a review and quantitative comparison with vines. *Canadian Journal of Forest Research*. 2015. Vol. 45. P. 236–245.

44. Kratiuk O.L., Kratyuk V.L. Plant electrophysiology trends in forestry research. *Topical issues of methods of teaching natural sciences: International scientific and practical conference* (Lublin, December 27–28, 2019) Lublin, Republic of Poland : Baltija Publishing. 2019. P. 78–81.

45. Krynytskyi H. T., Chernyavskyi M. V., Krynytska O. H., Deineka A. M., Kolisnyk B. I., Tselen Ya. P. Close-to-Nature Forestry as the Basis for Sustainable Forest Management in Ukraine. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Т. 27, №8. С. 26–31.

46. Shigo Alex L., Shortle Walter C. Spruce Budworms Handbook. Shigometry – a reference guide. *United State Department of Agriculture, Forest Service*, 1985. 48 p.

47. Skutt Richard H., Shigo Alex L., Lessard Ronald A. Detection of Discolored and Decayed Wood in Living Trees Using a Pulsed Electric Current. *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. Vol. 2(1). P. 54–56.

ДОДАТКИ

Додаток А.

**Шкала категорій стану дерев
(згідно Санітарні правила в лісах України)**

Категорія стану дерев	Ознаки стану дерев	
	хвойних	листяних
I – без ознак ослаблення	крона густа, хвоя (листя) ознак зелена, срібляста, приріст поточного року нормального розміру для даної породи, віку, сезону і умов місцезростання стовбури і кореневі лапи не мають зовнішніх ознак пошкодження	
II - ослаблені	крона ажурна, хвоя зелена, світлозелена або обпечена не більш як на 1/3, приріст зменшений не більш як на 1/2, всихання окремих гілок, пошкодження окремих кореневих лап, місцеве пошкодження стовбура	крона ажурна, листя рано опадає: приріст зменшений до 1/2, всихання окремих гілок, місцеве пошкодження стовбура і кореневих лап, поодинокі водяні пагони
III – дуже ослаблені	крона дуже ажурна, хвоя блідо-зелена або матова чи обпечена більш як на 1/3, приріст дуже слабкий, всихання до 2/3 крони, пошкодження кореневих лап або стовбура до 2/3 периметра, спроба заселення або місцеве заселення стовбурових шкідників, плодові тіла та інші ознаки діяльності дерево руйнівних грибів на стовбурі та кореневих лапах	крона дуже ажурна, листя дрібне, світле, рано жовтіє і опадає, приріст дуже слабкий або зовсім немає, всихає 2/3 крони пошкодження стовбура і кореневих лап на 2/3 їх периметра, соковиділення на стовбурах і скелетних гілках, прояви заселення стовбуровими шкідниками, численні водяні пагони, плодові тіла або інші ознаки діяльності дерево-руйнівних грибів на стовбурах
IV - всихаючі	крона дуже ажурна, хвоя жовтувата або жовто-зелена, осипається, приріст дуже слабкий або зовсім немає, всихання більш як 2/3 гілок, пошкодження стовбура і кореневих лап більш як 2/3 периметра, ознаки заселення стовбуровими шкідниками	всохло або всихає більш як 2/3 крони, пошкодження більш як 2/3 периметра стовбура і кореневих лап, ознаки заселення стовбуровими шкідниками, всихаючи водяні пагони
V – свіжий сухостій	хвоя сіра, жовта або червоно-бура, частково осипається, часткове опадання кори, заселені або відпрацьовані стовбуровими шкідниками	листя всохле, зів'яле або відсутнє, часткове опадання кори, заселені або відпрацьовані стовбуровими шкідниками
VI – старий сухостій	жива хвоя (листя) відсутня, кора і маленькі гілочки осипаються частково або зовсім, під корою грибниця дерево руйнівних грибів	