

УДК 630*521.1(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.32>

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО СТАНУ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВЧАЙНОЇ ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ

Кратюк О.Л. – д.б.н., доцент,

професор кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу,

Поліський національний університет

Сергійчук Б.В. – магістрант,

Поліський національний університет

Важливою передумовою збереження лісових екосистем є моніторинг стану лісових насаджень на предмет потенційних загроз. Для відображення біологічного стану деревних рослин та визначення інтенсивності перебігу в них фізіологічних процесів, все частіше застосовують діелектричні параметри (імпеданс (R) та поляризаційна ємність (C)) прикамбіальних тканин лубу, як комплексні та доволі інформативні показники оцінки різних станів життєздатності рослин. Визначено сезонні зміни електрофізіологічних показників сосни звичайної різних категорій стану упродовж вегетаційного періоду. Вимірювання проводили на висоті стовбура 1,3 м аналоговим приладом F4320 на частоті 1 кГц за методикою Г.Т. Криницького. Для дерев сосни звичайної II-VI категорій стану показники поляризаційної ємності упродовж вегетаційного періоду становили: навесні – II категорія стану – 7,31 нФ, III – 6,12 нФ, IV – 5,67 нФ, V – 2,34 нФ, VI – 1,11 нФ; влітку – II – 21,42 нФ, III – 15,62 нФ, IV – 9,83 нФ, V – 2,41 нФ, VI – 1,12 нФ; восени – II – 11,41 нФ, III – 8,35 нФ, IV – 4,43 нФ, V – 2,01 нФ, VI – 1,11 нФ. Значення показників активного опору (імпедансу) дерев сосни звичайної II-VI категорій стану змінювалися протягом року з такою динамікою: навесні – II – 28,4 кΩ, III – 34,9 кΩ, IV – 46,1 кΩ, V – 143,5 кΩ, VI – 10277,0 кΩ; влітку – 11,5 кΩ, III – 15,6 кΩ, IV – 29,3 кΩ, V – 158,0 кΩ, VI – 24700,0 кΩ; восени – 21,4 кΩ, III – 35,7 кΩ, IV – 43,0 кΩ, V – 147,0 кΩ, VI – 17800,0 кΩ. 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. Таким чином, отримані результати вказують, що зміна діелектричних показників дерев сосни звичайної, у відповід на дію несприятливих чинників, може бути використана як засіб діагностики для оперативної оцінки санітарного стану деревостанів.

Ключові слова: сосна звичайна, *Pinus sylvestris* L., поляризаційна ємність, імпеданс, категорії стану, Центральне Полісся.

Kratiuk O.L., Serhiichuk B.V. Peculiarities of determining the vital state of lodgepole Scots Pine by electrophysiological methods

An important prerequisite for the conservation of forest ecosystems is monitoring the condition of forest plantations for potential threats. To reflect the biological state of woody plants and determine the intensity of physiological processes in them, dielectric parameters (impedance (R) and polarisation capacitance (C)) of the bast tissues are increasingly used as complex and quite informative indicators of assessing different states of plant viability. The seasonal changes in electrophysiological parameters of Scots pine of different categories of condition during the growing season were determined. The measurements were carried out at a trunk height of 1.3 m using an analogue device F4320 at a frequency of 1 kHz according to the method of G. T. Krynytskyi. For Scots pine trees of II-VI condition categories, the polarization capacitance values during the growing season were as follows: in spring – II condition category – 7.31 nF, III – 6.12 nF, IV – 5.67 nF, V – 2.34 nF, VI – 1.11 nF; in summer – II – 21.42 nF, III – 15.62 nF, IV – 9.83 nF, V – 2.41 nF, VI – 1.12 nF; in autumn – II – 11.41 nF, III – 8.35 nF, IV – 4.43 nF, V – 2.01 nF,

VI – 1.11 nF. The values of active resistance (impedance) of Scots pine trees of II-VI categories of condition changed during the year with the following dynamics in spring – II – 28.4 k Ω , III – 34.9 k Ω , IV – 46.1 k Ω , V – 143.5 k Ω , VI – 10277.0 k Ω ; in summer – II – 11.5 k Ω , III – 15.6 k Ω , IV – 29.3 k Ω , V – 158.0 k Ω , VI – 24700.0 k Ω ; in autumn – II – 21.4 k Ω , III – 35.7 k Ω , IV – 43.0 k Ω , V – 147.0 k Ω , VI – 17800.0 k Ω . 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. Thus, the results obtained indicate that changes in the dielectric properties of Scots pine trees in response to adverse factors can be used as a diagnostic tool for rapid assessment of the sanitary condition of stands.

Key words: Scots pine, *Pinus sylvestris* L., polarisation capacity, impedance, condition categories, Central Polissia.

Постановка проблеми. Деградація лісів України, зокрема соснових, що спостерігається останнім часом, зумовлює необхідність удосконалення існуючих методик та впровадження нових підходів до оцінки стану лісових насаджень [29]. 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 [17].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До 1960-х років XX століття у практиці ведення лісового господарства надбання електрофізіології рослин не використовували [28]. З другої половини минулого століття для оцінки стану тканин рослин вчені почали застосовувати такі показники як імпеданс та поляризаційна ємність [25, 26]. 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 [30, 31]. 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 [13]. Широке спектру застосування електрофізіологічних показників під час проведення лісовничо-екологічних та селекційно-генетичних досліджень вказує на високий ступінь потенційної універсальності [14]. Електрофізіологічними дослідженнями

охоплено різні види деревних порід [2, 4, 9, 19, 22], проте здебільшого об'єктом наукових пошуків є різні аспекти життєдіяльності сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.): територіальність [6, 7], вплив біотичних [3, 23, 24] та абіотичних [5, 16, 18] чинників, особливостей ведення лісового [1, 8, 15] та мисливського господарства [10-12] тощо.

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 [27].

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 [21]. Однак подібних систем категоризації, пристосованих спеціально для дерев сосни звичайної, поки що не розроблено.

Постановка завдання. визначити сезонні зміни діелектричних показників сосни звичайної різних категорій стану упродовж вегетаційного періоду.

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.

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 аналоговим приладом F4320 на частоті 1 кГц за методикою Г.Т. Криницького [13].

Ми відбирали по 10 модельних дерев сосни звичайної різних категорій стану згідно «Санітарних правил в лісах України» [20], 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.

Виклад основного матеріалу дослідження. 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) (табл. 1). Вимірювання здійснювали в урочищі «Циганський ліс – 1» на території Тригірського лісництва Філії «Коростенського лісомисливського господарства» (кв. 8, вид. 9). Це чисте штучне соснове насадження (10Сз) віком 63 роки, що зростає за I^b класом бонітету в умовах свіжого грабово-дубово-соснового сугруду (C₂-гдС) на площі 6,2 га. Середня висота становить 27 м, а середній діаметр 32 см. Визначені діелектричні показники дають цінну інформацію про життєздатність дерев різних КС. Вони можуть бути визначені шляхом вивчення взаємних коливань імпедансу та поляризаційної ємності.

Таблиця 1
Діелектричні показники сосни звичайної в умовах Тригірського лісництва
Філії «Коростенське лісомисливське господарство»

КС	С, nF		R, kΩ	
	М	V, %	М	V, %
<i>Весняний період 2023 року</i>				
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
<i>Літній період 2023 року</i>				
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
<i>Осінній період 2023 року</i>				
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

На експериментальній ділянці навесні ми визначили поляризаційну здатність дерев сосни звичайної для II-VI КС. 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. 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 ($F_{\text{факт}} = 9,02 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), IV-V ($F_{\text{факт}} = 41,22 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$) та V-VI ($F_{\text{факт}} = 19,64 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$). Прикметно, що між показниками III та IV КС не спостерігається достовірної різниці ($F_{\text{факт}} = 4,28 < F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), але вона існує в парі КС II-IV ($F_{\text{факт}} = 6,74 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$).

Для дерев II КС імпеданс становив 28,4 kΩ, для III КС – 34,9 kΩ, IV – 46,1 kΩ, V – 143,5 kΩ, а для VI – 10277,0 kΩ (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 КС 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 ($F_{\text{факт}} = 12,92 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), IV-V ($F_{\text{факт}} = 49,74 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$) та V-VI ($F_{\text{факт}} = 51,55 \cdot 10^{-9} > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$). Як і у випадку з поляризаційною ємністю, не спостерігається достовірної різниці у показниках імпедансу КС III і IV ($F_{\text{факт}} = 4,13 < F_{0,95}(1; 19) = 4,41$).

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. 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.

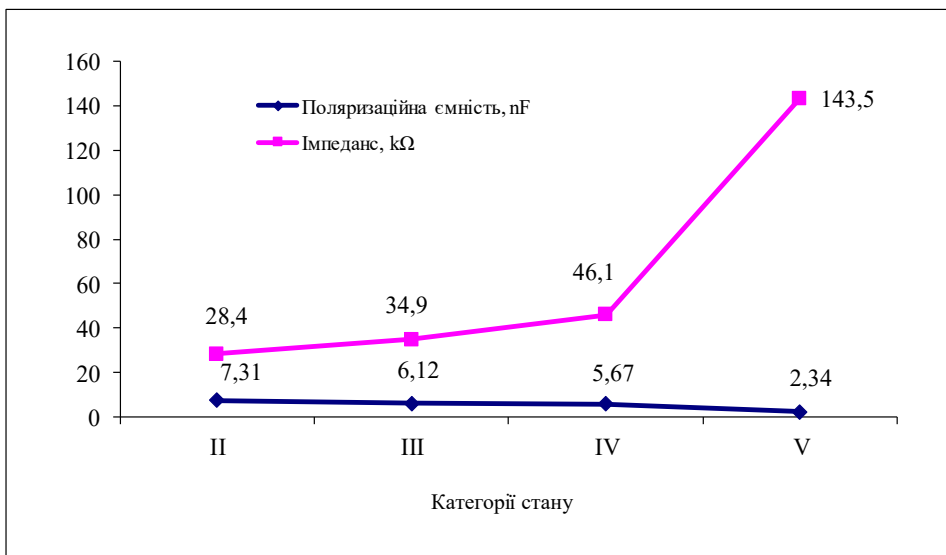


Рис. 1. Динаміка діелектричних показників дерев сосни звичайної II-V КС у весняний період

Упродовж літнього періоду (період активної вегетації) поляризаційна ємність дерев сосни звичайної мала наступні показники: КС II – 21,42 нФ, III – 15,62 нФ, IV – 9,83 нФ, V – 2,41 нФ та VI – 1,12 нФ. 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 ($F_{\text{факт}} = 6,32 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), III-IV ($F_{\text{факт}} = 23,66 \gg F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), IV-V ($F_{\text{факт}} = 98,1 \gg F_{0,95}(1; 19) = 4,41$) та V-VI ($F_{\text{факт}} = 14,35 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$). 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 ($F_{\text{факт}} = 5,5 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), III-IV ($F_{\text{факт}} = 34,52 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), IV-V ($F_{\text{факт}} = 91,22 \gg F_{0,95}(1; 19) = 4,41$) і V-VI ($F_{\text{факт}} = 123,18 \cdot 10^{-8} > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$) (див. табл. 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%.

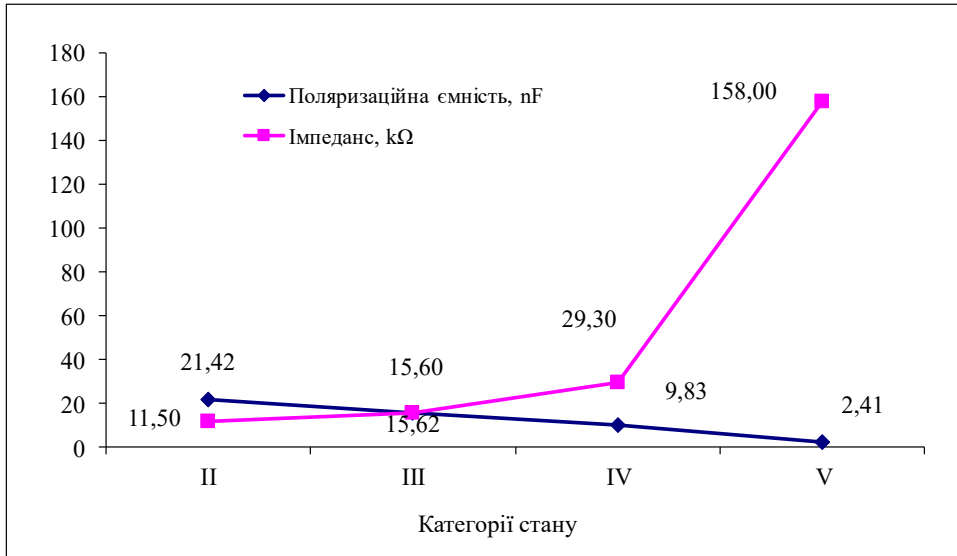


Рис. 2. Динаміка діелектричних показників дерев сосни звичайної II-V КС у літній період

У період активного росту (літо) спостерігається збільшення поляризаційної ємності для дерев сосни звичайної в КС II-VI. Однак для дерев, віднесених до категорії сухоостою (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. 2.). Проте значення для п'ятої та шостої КС в цьому відношенні є надзвичайно високими, як і навесні.

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

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 ($F_{\text{факт}} = 13,8 > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$), IV-V ($F_{\text{факт}} = 58,13 \gg F_{0,95}(1; 19) = 4,41$) та V-VI ($F_{\text{факт}} = 180,11 \cdot 10^{-8} > F_{0,95}(1; 19) = 4,41$). Проте для III і IV КС достовірної різниці в показниках імпедансу згідно однофакторного дисперсійного аналізу не існує ($F_{\text{факт}} = 4,33 < F_{0,95}(1; 19) = 4,41$).

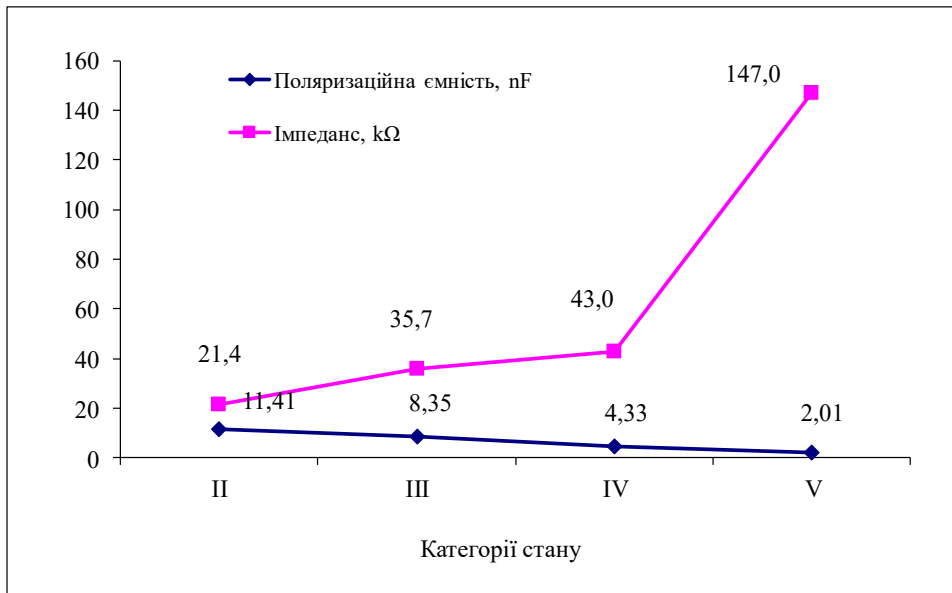


Рис. 3. Динаміка діелектричних показників дерев сосни звичайної II-V КС в осінній період

Переважно 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.

Сезонні коливання діелектричних характеристик, передусім поляризаційної ємності, є характерною особливістю виключно живої деревини. Загиблі дерева більше не є біологічною системою, здатною реагувати на сезонні коливання шляхом зміни інтенсивності своїх життєвих процесів. Тому не залежно від періоду вегетації показники поляризаційної ємності для КС V та VI ідентичні (рис. 4).

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. 5).

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.

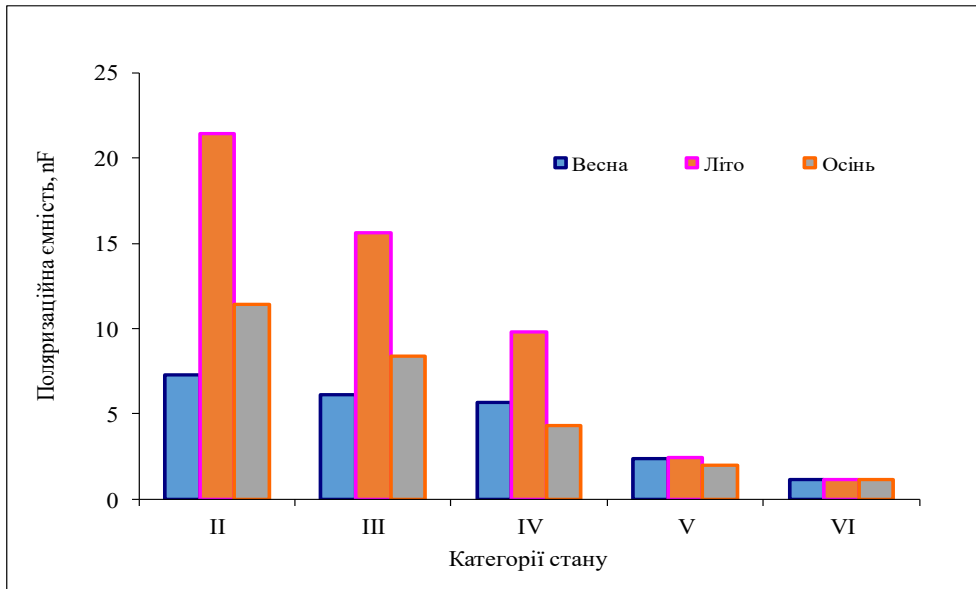


Рис. 4. Зміна показників поляризаційної ємності дерев сосни звичайної за категоріями стану упродовж періодів вегетації

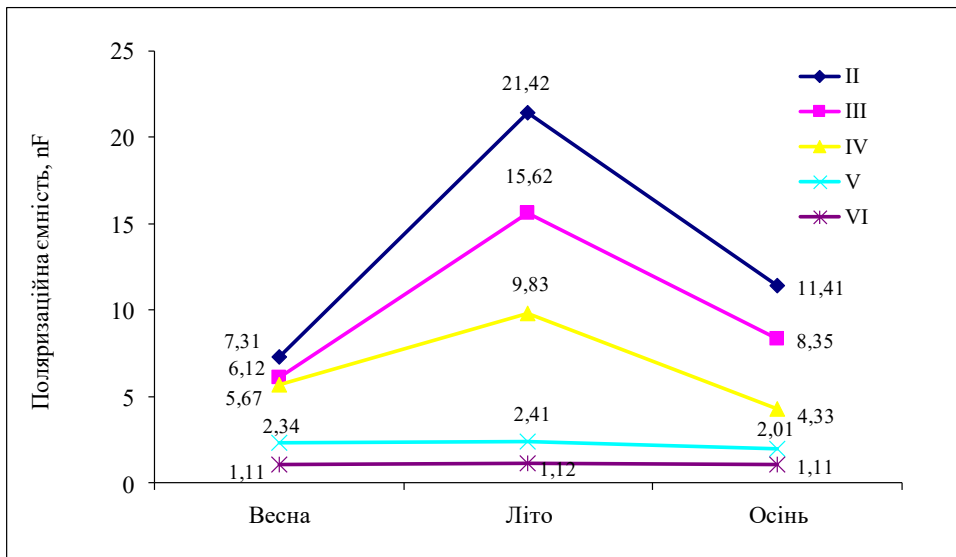


Рис. 5. Зміна показників поляризаційної ємності дерев сосни звичайної за категоріями стану (II-VI) упродовж року

Висновки. 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.

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.

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 ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Галушка В. П., Заїка В. К., Криницький Г. Т. Електрофізіологічні параметри півсїбсових потомств сосни звичайної різної тривалості підсочки. *Науковий вісник НАУ*. 1999. Вип. 17. С. 133–138.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Заїка В.К. Діелектричні показники сосни звичайної на радіаційно забруднених територіях. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2004. Т.14, № 1. С. 12–15.
6. Заїка В. К., Криницький Г. Т., Іваницький Р. С. Природне заліснення та лісівничо-екологічні і морфофізіологічні особливості лісостанів на покинутих сільськогосподарських землях Північно-західного Поділля. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2013. Т. 11. С. 41–50.
7. 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.
8. 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.
9. Керімов Е. І., Заїка В. К. Діелектричні показники деревних видів у деревостанах за участю Модрина європейської. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 8. С. 23–27.
10. 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.
11. Кратюк О.Л. Сезонна зміна діелектричних показників сосни звичайної в умовах напіввільного утримання мисливських тварин. *Екологічні науки*. 2019. № 4(27). С. 192–196.

12. 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.
 13. 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.
 14. Криницький Г. Т. Електрофізіологічні дослідження деревних рослин в Україні. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть*. 2001. Т. 2. С. 233–237.
 15. Криницький Г. Т., Галушка В. П. Електрофізіологічна реакція сосни звичайної на добування живиці. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2005. Т. 15, № 2. С. 8–13.
 16. 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.
 17. 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.
 18. Кузик А. Д. Вплив низової пожежі на насадження сосни звичайної. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2012. Т. 22, № 7. С. 19–26.
 19. Лавний В. В., Криницький Г. Т. Електрофізіологічні показники підросту деревних порід. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Т. 21, № 17. С. 86–90.
 20. 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>
 21. 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.
 22. Скольський І.М. Ріст та життєздатність в'яза шорсткого у вологих грудях Опілля. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. Т. 18, № 7. С. 104–109.
 23. 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.
 24. 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.
 25. Fensom D. S. The bioelectrical potentials of plants and their functional significance. *Can. J. Bot.* 1963. 41. P. 831–851.
 26. Fensom D. S. On measuring electrical resistance in situ in higher plants. *Can. L. Plant Sci.* 1966. 46. P. 169–175.
 27. 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.
 28. 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.
 29. Krynytskyi H. T., Chernyavskiy 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.
 30. Shigo Alex L., Shortle Walter C. Spruce Budworms Handbook. Shigometry – a reference guide. *United State Department of Agriculture, Forest Service*, 1985. 48 p.
 31. 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.
-