

О. Л. Кратюк¹, В. О. Кордиш², В. М. Осипчук²

¹ Поліський національний університет, м. Житомир, Україна,

² ДП «Лугинське лісове господарство», смт. Лугини, Україна.

ЗМІНА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ У ПОСТПРОГЕННИЙ ПЕРІОД

Досліджено зміну діелектричних показників дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), що зростають в осередку лісової пожежі на території Повчанського лісництва ДП «Лугинське лісове господарство». Вимірювання проводили у серпні 2020 після пожежі, яка сталася у травні цього ж року. Характеристика насадження: вік 55 років, склад деревостану 10Сз+Бп, клас бонітету – I, відносна повнота 0,7. Тип лісу – вологий дубово-сосновий суббір (Вз-дС). Вимірювання діелектричних показників проводили за методикою Г.Т. Криницького на стовбурі дерева на трьох висотах від поверхні ґрунту: 0,1 м, 1,3 м та 2,0 м. Середнє значення поляризаційної ємності на висоті 0,1 м становило $8,77 \pm 1,19$ нФ, на висоті 1,3 м – $7,03 \pm 0,74$ нФ, а на висоті 2,0 м – $8,41 \pm 0,83$ нФ. Загальне середнє значення для усіх модельних дерев дорівнювало $8,07 \pm 0,73$ нФ. Для поляризаційної ємності характерні високі показники коефіцієнта варіації, а саме: на висоті 0,1 м коефіцієнт варіації становить 60,68%, на висоті 1,3 м – 46,99%, на висоті 2,0 м – 44,36%. Середнє значення активного опору на висоті 0,1 м становило $67,30 \pm 17,44$ кΩ, на висоті 1,3 м – $62,83 \pm 13,46$ кΩ, а на висоті 2,0 м – $34,10 \pm 6,73$ кΩ. Загальне середнє значення дорівнювало $54,74 \pm 9,92$ кΩ. Коефіцієнти варіації для імпеданса становили: на висоті 0,1 м – 115,91%, на висоті 1,3 м – 95,85%, на висоті 2,0 м – 88,29%. Виявлено відсутність достовірної різниці показників поляризаційної ємності та імпеданса дослідних та контрольних насаджень *Pinus sylvestris*. Виділено чотири типи зміни з висотою показників поляризаційної ємності: нормальний (35,0% модельних дерев), зростаючий (30,0%), V-подібний (20,0%) та спадаючий (15,0%). За кожним з цих типів можна встановити локалізацію найбільшого впливу температури на стовбурі дерева, що відображається у зниженні показників провідності прикамбіальних тканин лубу. Виокремлення типів здійснювали за достовірністю різниці показників поляризаційної ємності у точках проведення замірів. Кожен з виділених типів має характерні особливості та потребує у перспективі детальшого аналізу.

Ключові слова: лісові пожежі; поляризаційна ємність; імпеданс; *Pinus sylvestris*.

Вступ. Лісові біогеоценози та вогонь еволюційно і функціонально пов'язані між собою. Вогонь - це руйнівний чинник, що найбільше поширений у природі. Він упродовж тривалого історичного розвитку лісових екосистем створював умови для утворення та закріплення механізмів успішного відновлення лісостанів та їх процвітання у майбутньому. Кожен лісовий регіон має свої особливі риси виникнення, поширення пожеж та ступеня їх впливу на

¹Кратюк Олександр Леонідович, д-р біол. наук, професор кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу. E-mail: deneshi_ks@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-2661-8074>;

Кордиш Вадим Олександрович, магістр. E-mail: vadimk7630@gmail.com;

Осипчук Віталій Миколайович, магістр. E-mail: vitaliy198825@ukr.net.

лісові біогеоценози. Все це суттєво впливає на ступінь пірогенного впливу на лісові насадження. Вивчення особливостей таких змін можуть стати основою прогнозування розвитку лісових біогеоценозів у постпірогенний період.

Об'єктом дослідження є деревостани сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) в осередку лісової пожежі.

Предметом дослідження є закономірності зміни діелектричних показників *Pinus sylvestris* у постпірогенний період.

Мета роботи встановити особливості впливу низової пожежі на інтенсивність проходження процесів життєдіяльності у *Pinus sylvestris* в умовах вологого дубово-соснового субору. Вперше для лісових біогеоценозів Центрального Полісся проведено аналіз діелектричних показників дерев *Pinus sylvestris* у постпірогенний період. Ми, вперше в Україні, застосували методику визначення електрофізіологічних показників на основі висотної градації поляризаційної ємності та імпеданса стовбура дерев *Pinus sylvestris* з метою виявлення закономірностей просторово-часової зміни поширення лісової пожежі. Різноманітність типів зміни діелектричних показників у межах одного осередку лісової пожежі вказує на часову та просторову неоднорідність процесів горіння в умовах соснового деревостану, що підтверджується різними висотами найбільшого температурного впливу вогню на дерева *Pinus sylvestris*. Така особливість у майбутньому може сприяти створенню 3D моделі поширення лісової низової пожежі від біотичних та абіотичних характеристик лісових насаджень.

Матеріал і методи досліджень. Дослідження проводили на території Повчанського лісництва ДП «Лугинське ЛГ». У травні 2020 року тут сталася низова пожежа. Її площа становила 46,6 га. Після ліквідації наслідків пожежі ми провели обстеження території на предмет її впливу на стан життєвості *Pinus sylvestris*. Для визначення діелектричних показників обрали 46 квартал (виділ 3) площею 8,4 га. Лише частина території виділу зазнала впливу вогню. Характеристика насадження: вік 55 років, склад деревостану 10Сз+Бп, клас бонітету – I, відносна повнота 0,7. Тип лісу – вологий дубово-сосновий субір (В₃-дС). Таким чином, у межах одного виділу, ми провели дослідження поляризаційної ємності та імпеданса дерев *Pinus sylvestris*, уражених низовою пожежею та дерев, що не зазнали впливу вогню (контрольне насадження). Дослідження проводили 21 серпня 2020 року.

Вимірювання діелектричних показників проводили за методикою Г. Т. Криницького [12], адаптовану до різних умов застосування [11]. Вимірювання проводили аналоговим приладом Ф 4320. Згідно з методикою електроди вводили на глибину 1 см у прикамбіальні тканини луба стовбура у трьох місцях, а саме: на висоті 0,1 м від поверхні ґрунту; на висоті 1,3 метра та на висоті 2,0 м. Вибір останньої висоти зумовлений наявністю нагара на деревах

Pinus sylvestris до висоти максимум близько 2,5-3,0 метрів. Ми ж повинні були визначити силу впливу вогню, тому зупинилися на висоті саме у 2,0 м.

Аналіз літературних джерел. Вивченню електрофізіологічних показників *Pinus sylvestris* різних стадій онтогенезу та їх зміни, під дією низки чинників середовища, приділяють велику увагу [4, 7-10, 13, 14]. У зв'язку з постійним зростанням кількості лісових пожеж на території України [5], проблемі вивчення постпірогенних станів лісових насаджень присвячена значна кількість наукових публікацій. Розроблена низка різноманітних моделей, де є опис окремих наслідків пожеж для лісових насаджень різних регіонів [1-3, 16].

Низові пожежі призводять до погіршення життєвого стану дерев, сповільнюють фізіологічні процеси, знижують інтенсивність плодоношення, ведуть до трансформації структури трав'яно-чагарничкової та чагарникової рослинності, через зменшення загальної чисельності видів [17] тощо.

Характерною особливістю визначення життєздатності лісових насаджень після лісових пожеж є наявність нагару (висота розповсюдження та потужність). Встановлено, що між висотою нагару та висотою полум'я лісової пожежі існує пряма залежність [6]. Таким чином, знаючи середню висоту нагару на стовбурах дерев, досить легко визначити інтенсивність низової пожежі.

Моніторинг постпірогенного стану лісових насаджень базується на встановленні ступеня пошкодження цих насаджень різними вражаючими елементами лісових пожеж. Це можливо зробити не лише враховуючи відмерлі дерева, а і за зміною фізіологічних процесів ушкоджених дерев. Відомо, що відбір зразків провідних тканин стовбура, ушкоджених дерев, для оцінки його стану забезпечує досить високу точність створеного прогнозу, однак для застосування у виробництві він непридатний через надто велику трудомісткість [6]. Також можна використовувати прикамбіальні шари стовбура, які є досить чутливими та фізіологічно наактивними ділянками. Вони можуть бути використані для вимірювання діелектричних показників, у тому числі і у постпірогенний період [15], для діагностики стану лісових насаджень.

Результати дослідження. Вимірювання поляризаційної ємності (табл. 1, табл. 2) та імпеданса (табл. 3, табл. 4) провели на двадцяти модельних деревах (model tree – Mt) *Pinus sylvestris* в осередку лісової пожежі (Mt01-Mt20) та на десяти контрольних модельних деревах (Mt01_к-Mt10_к) за межами території пожежі.

**Показники поляризаційної ємності дерев *Pinus sylvestris*
в осередку лісової пожежі**

Модельне дерево	Поляризаційна ємність, пF			Середнє значення
	Висота замірів, м			
	0,1 м	1,3 м	2,0 м	
Mt01	16,00	8,40	13,00	12,47
Mt02	5,20	6,60	7,00	6,27
Mt03	3,20	7,60	13,00	7,93
Mt04	13,00	8,80	2,60	8,13
Mt05	12,00	7,20	12,00	10,40
Mt06	1,80	2,90	7,00	3,90
Mt07	7,00	5,20	5,20	5,80
Mt08	14,00	9,40	12,00	11,80
Mt09	7,60	7,20	6,00	6,93
Mt10	14,00	14,00	13,00	13,67
Mt11	14,00	8,00	3,20	8,40
Mt12	2,10	3,30	7,80	4,40
Mt13	2,00	3,00	6,50	3,83
Mt14	15,50	6,80	14,00	12,10
Mt15	7,40	6,80	7,20	7,13
Mt16	15,00	7,30	2,50	8,27
Mt17	2,10	3,50	8,00	4,53
Mt18	13,00	15,00	13,00	13,67
Mt19	8,00	6,90	7,20	7,37
Mt20	2,50	2,60	8,00	4,37
Середнє значення	8,77±1,19	7,03±0,74	8,41±0,83	8,07±0,73

Як уже ми зазначали вимірювання проводили на стовбурі: на трьох висотах від поверхні ґрунту – 0,1 м, 1,3 м та 2,0 м. Середнє значення поляризаційної ємності на висоті 0,1 м становило $8,77 \pm 1,19$ пF, на висоті 1,3 м – $7,03 \pm 0,74$ пF, а на висоті 2,0 м – $8,41 \pm 0,83$ пF. Загальне середнє значення для усіх модельних дерев дорівнювало $8,07 \pm 0,73$ пF. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу між показниками поляризаційної ємності на висоті 0,1 м та 1,3 м ($F_{\text{факт}} = 1,55 < F_{0,95}(1; 39) = 4,10$), на висоті 1,3 м та 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 1,54 < F_{0,95}(1; 39) = 4,10$), а також між показниками на висоті 0,1 м та 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 1,30 < F_{0,95}(1; 39) = 4,10$) достовірної різниці не існує на 95% рівні значення. Для поляризаційної ємності за даних умов характерні високі показники коефіцієнта варіації, а саме: на висоті 0,1 м коефіцієнт варіації становить 60,68%, на висоті 1,3 м – 46,99%, на висоті 2,0 м – 44,36%. Це досить високий показник варіації для цього показника для літнього періоду.

Показники поляризаційної ємності дерев *Pinus sylvestris* (контроль)

Модельне дерево	Поляризаційна ємність, nF			
	Висота проведення замірів			Середнє значення
	0,1 м	1,3 м	2,0 м	
Mt01 _к	6,00	6,40	6,00	6,13
Mt02 _к	8,20	8,00	7,00	7,73
Mt03 _к	12,00	8,00	7,40	9,13
Mt04 _к	7,60	6,80	6,40	6,93
Mt05 _к	8,40	8,20	6,80	7,80
Mt06 _к	7,50	7,40	7,00	7,30
Mt07 _к	17,00	14,00	16,00	15,67
Mt08 _к	16,00	14,00	15,00	15,00
Mt09 _к	18,00	14,00	9,60	13,87
Mt10 _к	7,00	7,50	7,00	7,17
Середнє значення	10,77±1,45	9,43±1,01	8,82±1,15	9,67±1,16

Середнє значення поляризаційної ємності контрольних модельних дерев сосни звичайної (див. табл. 2.) на висоті 0,1 м становило $10,77 \pm 1,45$ nF, на висоті 1,3 м – $9,43 \pm 1,01$ nF, а на висоті 2,0 м – $8,82 \pm 1,15$ nF. Загальне середнє значення для усіх контрольних модельних дерев дорівнювало $9,67 \pm 1,16$ nF.

За результатами однофакторного дисперсійного аналізу, між показниками поляризаційної ємності на висоті 0,1 м та 1,3 м ($F_{\text{факт}} = 0,57 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), на висоті 1,3 м та 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 0,16 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), а також між показниками на висоті 0,1 м та 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 1,10 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$) достовірної різниці не існує на 95% рівні значення. Для поляризаційної ємності, в умовах без впливу низової пожежі, характерні дещо менші показники коефіцієнта варіації, а саме: на висоті 0,1 м коефіцієнт варіації становить 42,64%, на висоті 1,3 м – 33,94%, на висоті 2,0 м – 41,43%.

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

Середнє значення активного опору (див. табл. 3.) на висоті 0,1 м становило $67,30 \pm 17,44$ k Ω , на висоті 1,3 м – $62,83 \pm 13,46$ k Ω , а на висоті 2,0 м – $34,10 \pm 6,73$ k Ω . Загальне середнє значення для усіх модельних дерев дорівнювало $54,74 \pm 9,92$ k Ω . Незважаючи на такі показники, особливо виділяється імпеданс на висоті 2,0

м, за результатами однофакторного дисперсійного аналізу між показниками імпедансу на висоті 0,1 м та 1,3 м ($F_{\text{факт}} = 0,04 < F_{0,95} (1; 39) = 4,10$), на висоті 1,3 м та 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 3,64 < F_{0,95} (1; 39) = 4,10$), а також між показниками на висоті 0,1 м та 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 3,15 < F_{0,95} (1; 39) = 4,10$) достовірної різниці не існує на 95% рівні значення. Для імпеданса, як ми і зазначали, за цих умов характерні високі показники коефіцієнта варіації, а саме: на висоті 0,1 м коефіцієнт варіації становить 115,91%, на висоті 1,3 м – 95,85%, на висоті 2,0 м – 88,29%. Це високі показники коефіцієнта варіації, як для літнього періоду.

Таблиця 3

Показники імпеданса дерев *Pinus sylvestris* в осередку лісової пожежі

Модельне дерево	Імпеданс, кΩ			Середнє значення
	Висота проведення замірів			
	0,1 м	1,3 м	2,0 м	
Mt01	23,5	17,5	15,0	18,67
Mt02	45,0	27,0	26,0	32,67
Mt03	70,0	38,0	14,0	40,67
Mt04	14,0	35,0	90,0	46,33
Mt05	14,0	19,0	16,0	16,33
Mt06	160,0	190,0	26,0	125,33
Mt07	35,0	70,0	40,0	48,33
Mt08	12,0	16,5	15,0	14,50
Mt09	22,0	25,0	24,0	23,67
Mt10	15,0	14,0	14,0	14,33
Mt11	15,0	40,0	100,0	51,67
Mt12	180,0	140,0	17,0	112,33
Mt13	200,0	160,0	33,0	131,00
Mt14	14,0	23,5	14,0	17,17
Mt15	44,0	50,0	45,0	46,33
Mt16	14,0	40,0	110,0	54,67
Mt17	250,0	130,0	11,0	130,33
Mt18	14,0	14,0	13,0	13,67
Mt19	24,5	27,0	26,0	25,83
Mt20	180,0	180,0	33,0	131,00
Середнє значення	67,30±17,44	62,83±13,46	34,10±6,73	54,74±9,92

Середнє значення імпеданса контрольних модельних дерев сосни звичайної (див. табл. 4.) на висоті 0,1 м становило $19,55 \pm 2,18$ кΩ, на висоті 1,3 м – $19,05 \pm 1,59$ кΩ, а на висоті 2,0 м – $19,80 \pm 1,76$ кΩ. Загальне середнє значення для усіх контрольних модельних дерев дорівнювало $19,47 \pm 1,74$ кΩ. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу між показниками імпеданса на висоті 0,1 м та 1,3 м ($F_{\text{факт}} = 0,03 < F_{0,95} (1; 19) = 4,41$), на висоті 1,3 м та 2,0 м ($F_{\text{факт}} =$

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

Таблиця 4

Показники імпеданса дерев сосни звичайної (контроль)

Модельне дерево	Імпеданс, кΩ			Середнє значення
	Висота проведення замірів			
	0,1 м	1,3 м	2,0 м	
Mt01 _к	34,0	26,0	27,0	29,00
Mt02 _к	18,0	18,5	20,5	19,00
Mt03 _к	16,0	19,0	19,0	18,00
Mt04 _к	21,0	22,0	22,5	21,83
Mt05 _к	19,0	17,5	20,5	19,00
Mt06 _к	24,5	17,0	18,0	19,83
Mt07 _к	13,0	14,0	13,0	13,33
Mt08 _к	14,0	14,0	12,0	13,33
Mt09 _к	11,0	14,0	16,0	13,67
Mt10 _к	25,00	28,50	29,50	27,67
Середнє значення	19,55±2,18	19,05±1,59	19,80±1,76	19,47±1,74

За результатами однофакторного дисперсійного аналізу лише на висоті 1,3 м ми виявили достовірну різницю між показниками імпедансу ($F_{\text{факт}} = 5,17 > F_{0,95}(1; 29) = 4,19$). Не виявлено достовірної різниці на висоті 0,1 м ($F_{\text{факт}} = 3,67 < F_{0,95}(1; 29) = 4,19$) та на висоті 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 2,18 < F_{0,95}(1; 29) = 4,19$).

Обговорення отриманих результатів. Відсутність достовірної різниці показників поляризаційної ємності дослідних та контрольних насаджень *Pinus sylvestris* суперечило нашій робочій гіпотезі, що низові лісові пожежі впливають на ступінь життєвості деревних порід. Проаналізувавши закономірності зміни показників поляризаційної ємності модельних дерев, за висотою, в осередку лісової пожежі, ми їх згрупували у чотири типи, які ми умовно назвали: V-подібний, нормальний, зростаючий та спадаючий (рис. 1).

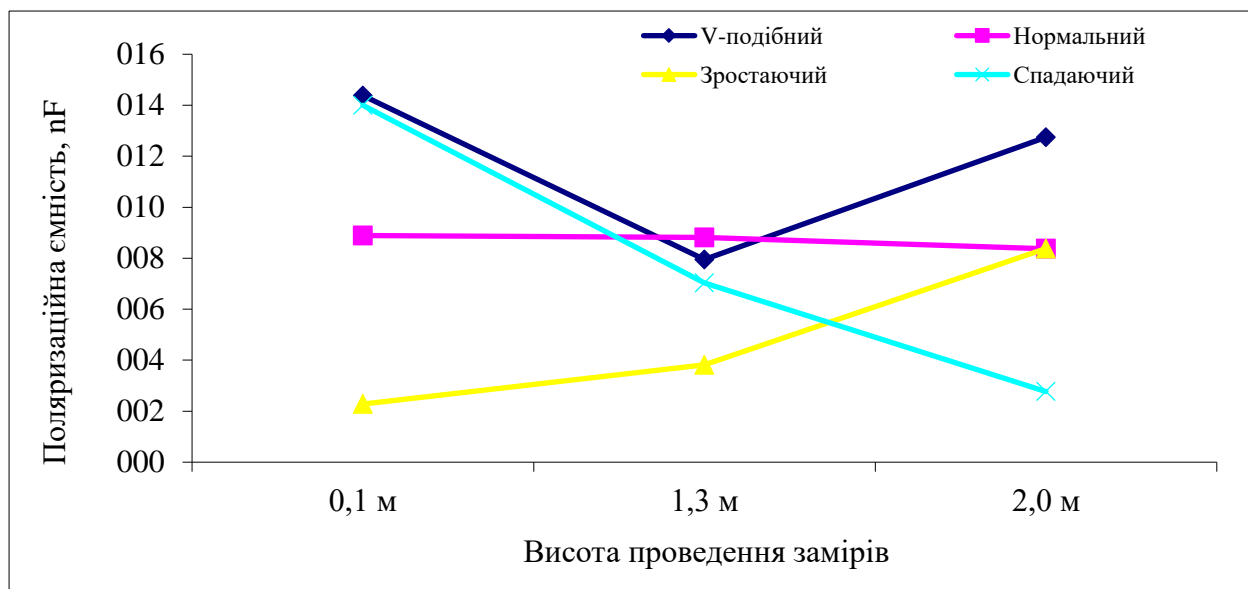


Рис. 1. Типи зміни поляризаційної ємності дерев *Pinus sylvestris* в осередку лісової пожежі (на основі середніх значень)

Виокремлення типів здійснювали за достовірністю різниці поляризаційної ємності у точках проведення замірів. Загалом нормальний тип зміни поляризаційної ємності характерний для 35,0% модельних дерев, зростаючий – для 30,0%, V-подібний – для 20,0%, а спадаючий – для 15,0%. Кожен з виділених типів має свої особливості, а тому потребує детального аналізу.

Значний відсоток модельних дерев з нормальним типом зміни поляризаційної ємності свідчить про невисоку загальну інтенсивність лісової пожежі.

Нормальний тип зміни поляризаційної ємності характеризується відсутністю достовірної різниці між показниками отриманими на висоті 0,1 м і 1,3 м ($F_{\text{факт}} = 0,0014 < F_{0,95} (1; 13) = 4,75$) та 1,3 і 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 0,053 < F_{0,95} (1; 13) = 4,75$), їх середні значення становлять відповідно: висота 0,1 м – 8,89 nF, 1,3 м – 8,81 nF, 2,0 м – 8,37 nF. Таким чином, ми можемо говорити, що за висотою стовбура не відбувається змін показника. Такий тип відповідає фізіологічно здоровим деревам. Нормальний тип розподілу поляризаційної ємності виявлено у семи модельних дерев: Mt02, Mt07, Mt09, Mt10, Mt15, Mt18, Mt19 (рис. 2).

Графіки зміни поляризаційної ємності цих семи модельних дерев можна ще розділити на дві групи: до першої віднести Mt10 та Mt18, зміна показників поляризаційної ємності у яких відповідає II категорії санітарного стану, інші п'ять – Mt02, Mt07, Mt09, Mt15, Mt19 – до III-IV категорії санітарного стану.

Таким чином, в осередку низової лісової пожежі, ми маємо дерева з нормальним ходом зміни електрофізіологічних показників.

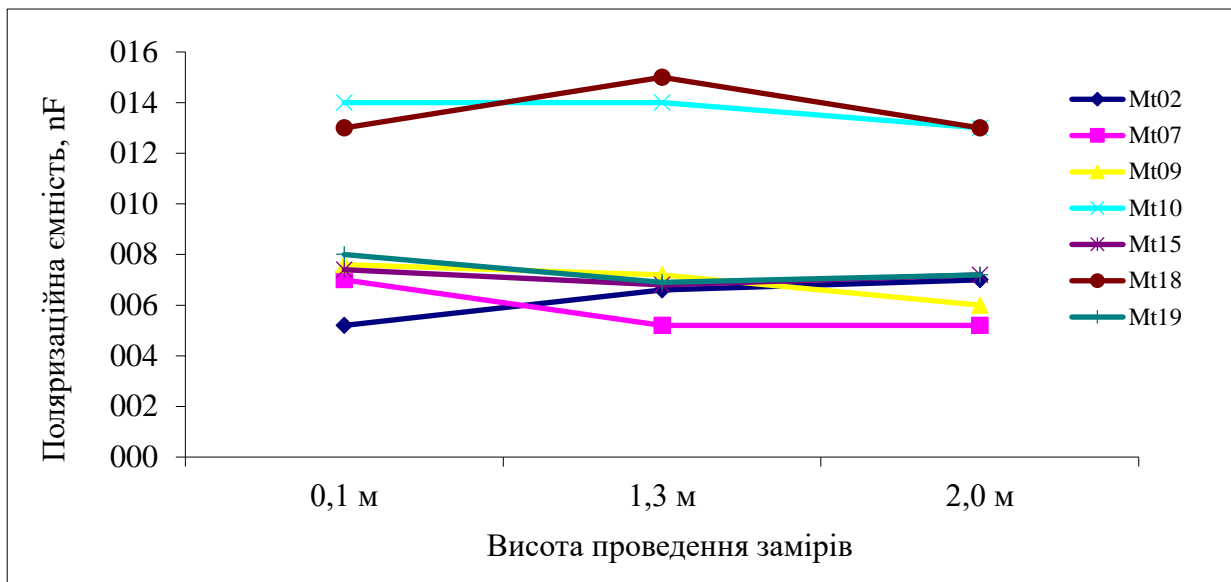


Рис. 2. Розподіл показників поляризаційної ємності за нормальним типом

Таким чином, в осередку низової лісової пожежі, ми маємо дерева з нормальним ходом зміни електрофізіологічних показників.

Для Mt01, Mt05, Mt08 та Mt14 характерний V-подібний тип зміни (рис. 3). Він характеризується високими показниками поляризаційної ємності на висоті 0,1 м ($m = 14,38 \text{ nF}$) і 2,0 м ($m = 12,75 \text{ nF}$), які відповідають другій категорії санітарного стану, та низьким показником поляризаційної ємності на висоті 1,3 м ($m = 7,95 \text{ nF}$). Для цього типу існує достовірна різниця між показниками отриманими на висоті 0,1 м і 1,3 м ($F_{\text{факт}} = 35,69 > F_{0,95} (1; 7) = 5,98$) та 1,3 м і 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 39,84 > F_{0,95} (1; 7) = 5,98$), а графік умовно нагадує латинську літеру V.

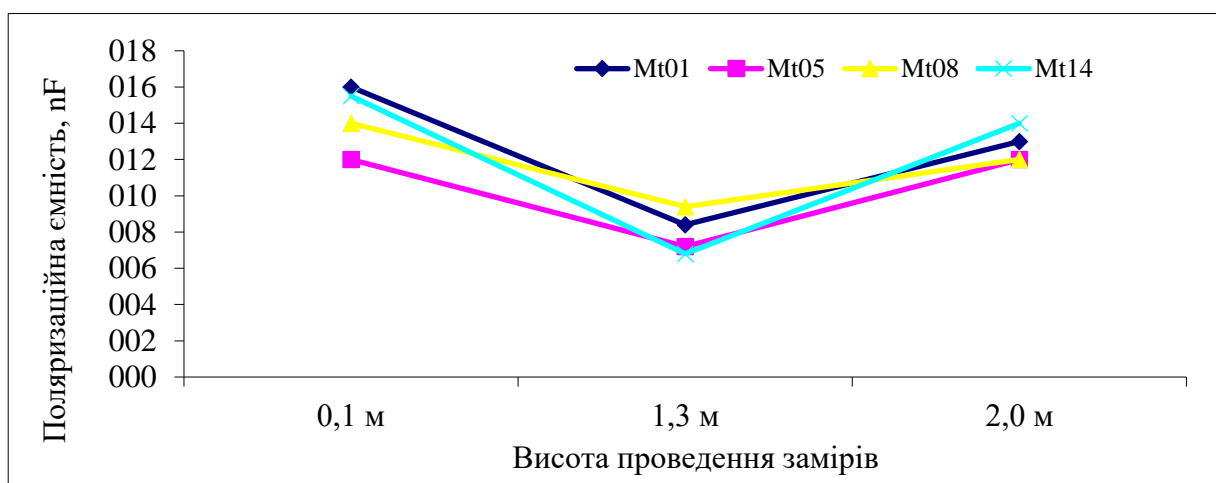


Рис. 3. Розподіл показників поляризаційної ємності за V-подібним типом

Порівняно низькі показники на висоті 1,3 м можуть свідчити, що саме на цій висоті температура вогню була найвищою. Відповідно, і ураження тканин стовбура найсильнішими.

Зростаючий тип зміни діелектричного показника характеризується дуже низькими значеннями на висоті 0,1 м ($m = 2,28 \text{ nF}$), які повільно зростають до

висоти 1,3 м ($m = 3,82 \text{ nF}$), проте достовірно не відрізняються ($F_{\text{факт}} = 3,72 < F_{0,95}(1; 11) = 4,96$) та значно достовірно зростають до висоти 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 13,88 > F_{0,95}(1; 11) = 4,96$), виходячи на рівень показників фізіологічно здорових дерев ($m = 8,38 \text{ nF}$). Такий тип виявлено у шести модельних дерев: Mt03, Mt06, Mt12, Mt13, Mt17, Mt20 (рис. 4).

Особливо показовою є зміна поляризаційної ємності у Mt03. Низький показник на висоті 0,1 м (3,20 nF), на висоті 1,3 м збільшується до 7,60 nF, з подальшим зростанням до 13,00 nF (рівень фізіологічних процесів II категорії санітарного стану хвойних дерев) на висоті двох метрів. Показово, що у Mt03 показник ємності на висоті 1,3 м такий, як у інших модельних дерев на висоті два метри.

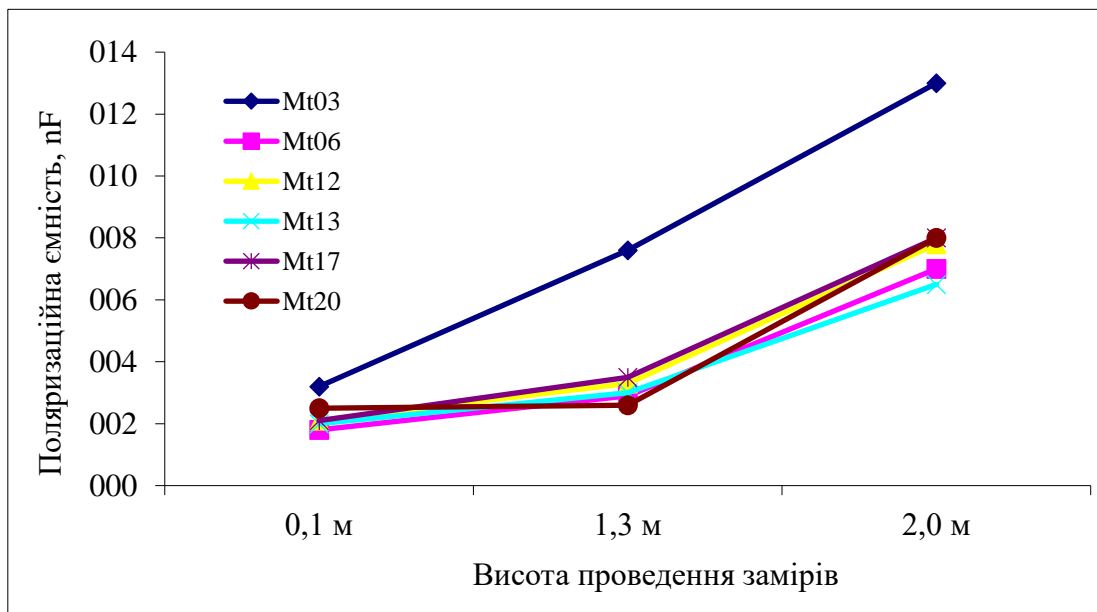


Рис. 4. Розподіл показників поляризаційної ємності за зростаючим типом

Значення показників поляризаційної ємності на висоті 0,1 м змінюються у межах 1,80-3,20 nF, відповідають висихаючим деревам, що свідчить про високий ступінь ураження стовбура у цьому місці. Змертвілі ділянки стовбура мають товщину, щонайменше, більше 1,0 см, що не дає можливості шупу контактувати зі ще живими тканинами. Навколо стовбура окремих дерев спостерігалось майже повне вигорання підстилки, що свідчить про високу температуру у цьому локалітеті.

Тип зміни поляризаційної ємності - спадаючий - відзначається високими показниками на висоті 0,1 м ($m = 14,00 \text{ nF}$), що відповідає II категорії санітарного стану. До висоти 1,3 м середнє значення поляризаційної ємності зменшується до 8,03 nF, а згодом падає до 2,77 nF на висоті двох метрів. Існує достовірна різниця показників на висоті 0,1 м і 1,3 м ($F_{\text{факт}} = 68,32 > F_{0,95}(1; 5) = 7,71$) та 1,3 м і 2,0 м ($F_{\text{факт}} = 117,75 > F_{0,95}(1; 5) = 7,71$). Цей тип відмічено нами лише у трьох модельних деревах: Mt04, Mt11 та Mt16 (рис. 5).

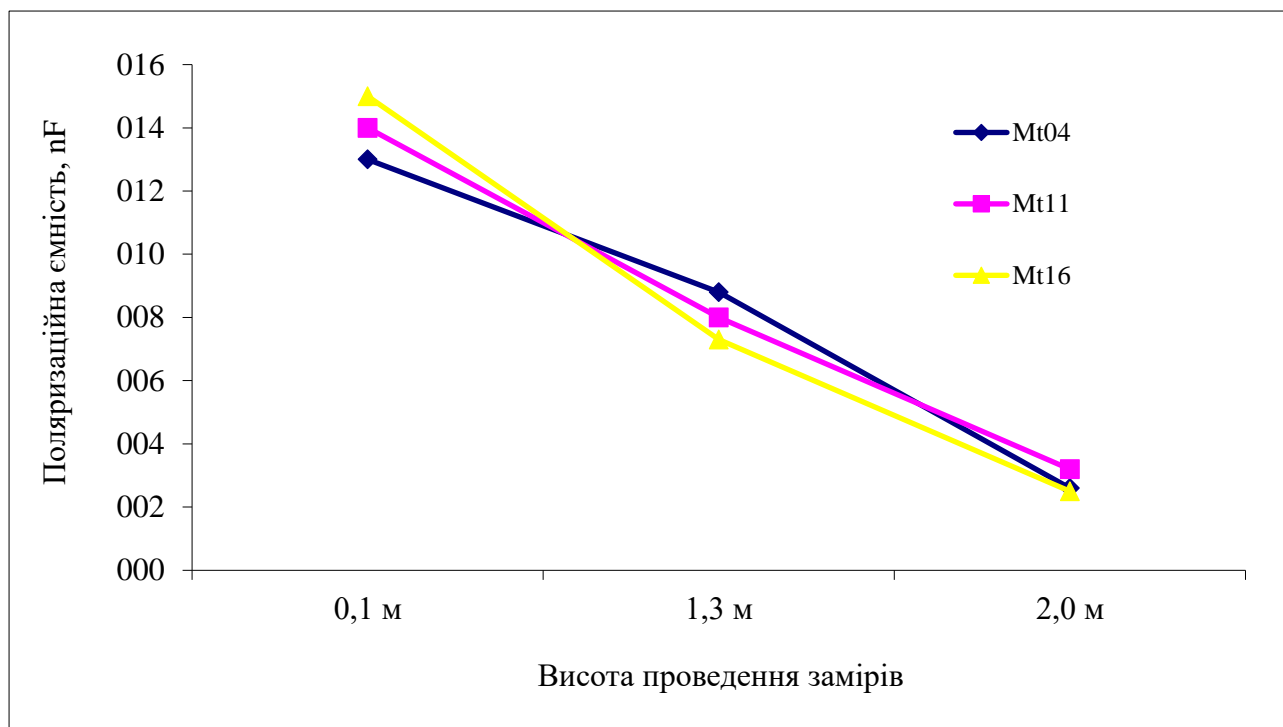


Рис. 5. Розподіл показників поляризаційної ємності за спадаючим типом

Така зміна показників поляризаційної ємності по стовбуру дерева свідчить, що найбільше ураження *Pinus sylvestris* отримала на висоті 2,0 м, а нижня частина стовбура не зазнала видимого впливу, окрім незначного обвуглення кори. Аналізуючи типи зміни поляризаційної ємності у трьох площинах (0,1 м, 1,3 м, 2,0 м), в межах осередку лісової пожежі, можна припустити просторово-часову неоднорідність процесу горіння, що підтверджується різними висотами найбільшого температурного впливу вогню на *Pinus sylvestris*.

Стосовно типів зміни показників імпеданса за висотою, то їх графічне відображення має свої характерні особливості. Нормальний тип зміни показників зберігається. Антагоністичність показників поляризаційної ємності та імпеданса призводить до того, що V-подібний тип зміни поляризаційної ємності трансформується (графік перевертається піком доверху і його можемо назвати несправжнім, або перевернутим V-подібним типом). Відповідно зростаючий тип, для поляризаційної ємності, автоматично стає спадаючим, для імпеданса, і навпаки, спадаючий тип для поляризаційної ємності стає зростаючим для імпеданса.

Нами також встановлено, що для одного і того ж дерева типи зміни поляризаційної ємності та імпеданса можуть бути різними. Так для Mt05 зміна показників імпеданса відповідає нормальному типу (14,0-19,0-16,0 kΩ), а зміна поляризаційної ємності описується V-подібним графіком (12,0-7,2-12,0 nF).

Висновки. Проведений нами комплексний аналіз зміни електрофізіологічних показників дерев *Pinus sylvestris* за висотою в осередку лісової пожежі дозволяє зробити нам наступні висновки та узагальнення.

Встановлено, що на кожній з висот (0,1 м, 1,3 м та 2,0 м) вимірювання не виявлено достовірної різниці показників поляризаційної ємності дослідних та контрольних насаджень *Pinus sylvestris* (на висоті 0,1 м – $F_{\text{факт}} = 1,03 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$; на висоті 1,3 м – $F_{\text{факт}} = 3,61 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$; на висоті 2,0 м – $F_{\text{факт}} = 0,08 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$; загальний середній показник – $F_{\text{факт}} = 1,48 < F_{0,95} (1; 29) = 4,20$).

Виділено чотири типи зміни показників поляризаційної ємності: V-подібний, нормальний, зростаючий та спадаючий. За кожним з цих типів можна встановити локалізацію найбільшого впливу температури на стовбурі дерева, що відображається у зниженні показників провідності прикамбіальних тканин лубу.

Різноманітність типів зміни показників поляризаційної ємності - у межах осередку лісової пожежі - вказує на просторово-часову неоднорідність процесу горіння в умовах соснового деревостану, на що вказують різні висоти найбільшого температурного впливу вогню на дерева *Pinus sylvestris*. Така закономірність може сприяти створенню у майбутньому 3D-моделі поширення лісової низової пожежі.

References

1. Voron, V.P., Sydorenko, S.H., Melnyk, Ye.Ie., & Ivashyniuta S.V. (2012). Osoblyvosti rozvytku derev pry riznykh typakh poskodzhennia sosniakiv pislia nyzovykh pozhezh [Features of pine stand development with various types of damage after surfacefire]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy*. 10. 148–154. [in Ukrainian].
2. Humeniuk V.V. (2015). Pryrodne ponovlennia nasadzen sosny zvychainoi (*Pinus sylvestris* L.), proidenykh nyzovymy pozhezhamy u rehioni Tsentralnoho Polissia Ukrainy [Natural regeneration in Scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) passed ground fires in central Polissya of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 25(5). 48–55. [in Ukrainian]
3. Humeniuk, V.V., Holiaka, D.M., & Zibtsev, S.V. (2015). Ground fire effects on pine stands of Central Polissya of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(9), 40–46. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.15421/40250907>
4. Zaika, V. K., & Rudenko, A. V. (2019). Morphological and functional features of scots pine in pine forest stands of the small Polissia. *Proceedings of the forestry academy of sciences of Ukraine*, 19, 11–21. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/411923>
5. Zibtsev, S., Soshenskyi, O., Humeniuk, V., & Koren, V. (2019). Long term dynamic of forest fires in Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 10(3), 27–40. [in Ukrainian] <http://dx.doi.org/10.31548/forest2019.03.027>
6. Kobechinskaja, V.G., & Oturina I.P. (1997). Jekologicheskie posledstvija vozdejstvija pozharov na rastitel'nyj pokrov gornogo Kryma [Ecological consequences of the fire impact on the vegetation cover of the Crimean mountains]. *Voprosy bioindikacii i jekologii*. 2. 28–31. [in Russian]
7. Kratiuk, O.L. (2019). Seasonal changes in dielectric parameters of Scots pine in semi-free hunting animals keeping. *Ecological sciences*, 27(4). 192–196. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-4-27-29>

8. Kratiuk, O. L. (2019). Some peculiarities of the influence of semi-free maintenance of game animals on the dielectric parameters of scotch pine. Scientific Bulletin of UNFU, 29(8), 43–45. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.36930/40290805>
9. Kratiuk, O. L. (2019). Seasonal changes in dielectric parameters of scots pine in semi-free Wild boars keeping on the territory of Hunting-sports club «Sokil». Ecological sciences, 28(1). 257–262. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.40>
10. Kratiuk, O. L. (2020). Dielectric indicators of silver pine in the conditions of semi-free maintenance of ungulates (Cervidae, Bovidae) in the territory of Western and Central Polissya. Scientific Bulletin of UNFU, 30(1), 55–59. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.36930/40300109>
11. Kratiuk, O.L., Bovsunovskyi, M.P., Babych, M.M., & Kordysh, V.O. (2020). Vykorystannia elektrofiziologichnykh pokaznykiv dlia vyznachennia zhyttievoho stanu derev sosny zvychnoi [The use of electrophysiological indicators to determine the vital state of Scots pine trees]. Naukovi chytannia – 2020. Zhytomyr: Zhytomyrskyi natsionalnyi ahroekologichnyi universytet, 41–42. [In Ukrainian].
12. Krynytskyi, H. T. (1992). Pro metodyku vykorystannia elektrofiziologichnykh pokaznykiv dlia vyznachennia zhyttiezdatnosti derevnykh roslyn. [About the method of using electrophysiological indicators for determining the viability of woody plants]. Lisove gospodarstvo, lisova, paperova i derevoobrobna promyslovist, 23, 3–10. [In Ukrainian].
13. Krynytskyi, H., Skolsky, I., Krynytska, O., Lutsiv, N. & Yakhnitsky, V. (2021). Biotic stability of Scots pine growing in stands on fairly fertile soil types of the Lviv Roztochya. Proceedings of the forestry academy of sciences of Ukraine, 23, 50–57. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/412126>
14. Kerimov, E. I., & Zaika, V. K. (2018). Dielectric properties of tree species in stands containing european larch. Scientific Bulletin of UNFU, 28(8). 23–27. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/40280804>
15. Kuzyk, A.D. (2012). Vplyv nyzovoi pozhezhi na nasadzhennia sosny zvychnoi [Effects of ground fires on pine plantations]. Naukovi visnyk NLTU. 22(7). 19–26. [in Ukrainian].
16. Sydorenko, S.H., Voron, V.P., Melnyk, Ye.Ie., & Sydorenko A.H. (2015). Osoblyvosti formuvannia stihlykh derevostaniv pislia nyzovykh pozhezh [Peculiarities of the mature pine stands formation after surface fires]. Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia. 2015. 127. 169–176. [in Ukrainian]
17. Feshchenko V., Orlov O., Landin V., & Solomko V. (2020). Transformation of cenomorphs of grass-dwarf-shrub layer of forest phytocenoses of Zhytomyr Polissya after surface fires. Balanced nature management. 4. 169–177. [in Ukrainian]. DOI: [10.33730/2310-4678.4.2020.228365](https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2020.228365)

O. L. Kratiuk¹, V. O. Kordysh², V. M. Osipchuk²

¹Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine,

²SF "Lughyn Forestry", Luhyny, Ukraine.

THE CHANGE OF DIELECTRIC PARAMETERS OF THE SCOTS PINE IN THE POST-PYROGENIC PERIOD

The main principles of balanced forest management require a deep understanding of the effects of forest fires on biogeocenoses. The use of electrophysiological indicators is a promising method of indicating the condition of forest stands in the post-pyrogenic period. The change in the

polarization capacity and impedance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees in the center of a forest fire on the territory of the Povch Forestry of the State Enterprise «Luhyny Forestry» was studied. Dielectric parameters of the trunk of *Pinus sylvestris* were measured with an analog device F 4320 according to the method of G.T. Krynytskyi. Electrodes were inserted to a depth of 1.0 cm in the plicambial tissues of the trunk phloem in three places, namely: at a height of 0.1 m from the soil surface; at a height of 1.3 meters and at a height of 2.0 m. Measurements of polarization capacity and impedance were carried out on 20 model trees of *Pinus sylvestris* in the center of a forest fire and on 10 control trees. The polarization capacity was 8.07 ± 0.73 nF, varying within the following limits: at a height of 0.1 m it was 8.77 ± 1.19 nF, at a height of 1.3 m – 7.03 ± 0.74 nF, at a height of 2.0 m - 8.41 ± 0.83 nF. It was established that at each of the heights (0.1 m, 1.3 m and 2.0 m) of the measurement, no significant difference in the polarization capacity indicators of the experimental and control *Pinus sylvestris* plantations was found (at a height of 0.1 m – $F = 1.03 < F_{0.95}(1; 29) = 4.20$; at a height of 1.3 m – $F = 3.61 < F_{0.95}(1; 29) = 4.20$; at a height of 2.0 m – $F = 0.08 < F_{0.95}(1; 29) = 4.20$; overall mean – $F = 1.48 < F_{0.95}(1; 29) = 4.20$). The impedance index was equal to 54.74 ± 9.92 k Ω (0.1 m – 67.30 ± 17.44 k Ω , 1.3 m – 62.83 ± 13.46 k Ω , 2.0 m – 34.10 ± 6.73 k Ω). For the impedance, high indicators of the coefficient of variation were noted: at a height of 0.1 m – 115.91%, 1.3 m – 95.85%, 2.0 m – 88.29%. Four types of changes in polarization capacity indicators are gave off: V-shaped, normal, increasing and decreasing. In general, the normal type of change in polarization capacity is characteristic of 35.0% of the model trees, increasing – for 30.0%, V-shaped – for 20.0%, and decreasing – for 15.0%. According to each of these types, it is possible to establish the localization of the greatest effect of temperature on the trunk of the tree, which is reflected in the reduced conductivity indicators of the plicambial tissues of the phloem. The variety of types of changes in polarization capacity indicators indicates the spatio-temporal heterogeneity of the burning process in the conditions of a pine stand, as indicated by the different heights of the greatest temperature effect of fire on *Pinus sylvestris* trees. Such a regularity may contribute to the creation of a 3D model of the spread of forest grass fires in the future.

Key words: forest fires; polarization capacity; impedance; *Pinus sylvestris*.