

УДК 630*161.037:630*176.351.2

Г.Т. КРИНИЦЬКИЙ¹, І.М. СКОЛЬСЬКИЙ²

ВИКОРИСТАННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО СТАНУ ДЕРЕВ В'ЯЗА ШОРСТКОГО

Встановлено, що важливими критеріями відбору здорових, не уражених голландською хворобою (*Graphium ulmi Schwarz*) особин в'яза, поряд з морфологічними ознаками, є діелектричні показники – імпеданс і поляризаційна ємність. Між категоріями життєвого стану дерев в'яза та діелектричними показниками виявлено тісний кореляційний зв'язок ($r^2=0,88-0,98$). Із погіршенням життєвого стану дерев в'яза величина поляризаційної ємності знижується, а величина імпедансу зростає. Загалом потрібний комплексний підхід до визначення життєвого стану дерев в'яза, який ґрунтується на використанні як морфологічних, так і діелектричних показників.

Ключові слова: в'яз шорсткий, імпеданс, поляризаційна ємність, морфологічні ознаки, життєвий стан

Вступ. Поглиблене вивчення лісівничо-екологічних та генетико-селекційних аспектів формування лісостанів неможливе без виявлення фізіолого-біохімічних особливостей їх розвитку і структурно-функціональної організації [3].

Імпеданс (R) і поляризаційна ємність (C), як і біоелектричні потенціали, відносяться до показників, які характеризують стан рослин та інтенсивність перебігу в них фізіолого-біохімічних процесів [2-5]. У лісівницьких дослідженнях ці показники використовують як критерії стійкості деревних рослин до дії несприятливих чинників середовища – низької температури, посухи, дії отрутохімікатів, загазованості повітря, а також для оцінювання фізіологічного стану дерев [3-5]. Високі абсолютні показники поляризаційної ємності та низькі значення імпедансу свідчать про високий життєвий потенціал деревних рослин [1, 2, 4, 5].

Важливе значення у лісогосподарському плані мають види роду в'язів (*Ulmus scabra* Mill.), дерева яких часто уражаються голландською хворобою (*Graphium ulmi Schwarz*). Однак особливості розвитку цієї хвороби не завжди дають змогу правильно оцінити життєвий стан дерев в'язів за розробленими морфологічними критеріями їх життєвості [6].

Мета роботи – виявити можливості використання діелектричних показників для визначення життєвого стану дерев в'яза шорсткого (*Ulmus scabra* Mill.).

Об'єкти і методика. Дослідження імпедансу і поляризаційної ємності у дерев в'яза шорсткого

проводили в середині серпня у насадженнях Суходільського і Романівського лісництв ДП “Бібрське ЛГ”; Болехівського лісництва ДП “Болехівське ЛГ” та Моршинського лісництва ДП “Стрийське ЛГ”. Тип лісу у всіх лісництвах, окрім Моршинського – волога грабова діброва, у Моршинському лісництві – волога грабова судіброва. У складі насаджень переважає в'яз шорсткий (5-10 од.), вік модельних дерев становить 24-76 років. Залежно від віку, типу лісу, життєвого стану їх висота і діаметр змінюються у значних межах (відповідно, 9,7-34,0 м і 9,1-48,3 см).

Для здійснення досліджень дерева в'яза шорсткого за морфологічними ознаками поділено на п'ять категорій життєвого стану: цілком здорові, відносно здорові, слабовсихаючі, середньовсихаючі та сильновсихаючі [6]. Для кожної категорії відбирали 30-50 модельних дерев. Діелектричні показники визначено за допомогою приладу Ф4320 на частоті 1 кГц згідно з методиками І.В. Рутковського, Ф.В. Кишенкова [4, 5] та Г.Т. Криницького [2, 3]. Електроди вводили в прикамбіальний комплекс тканин (луб, камбій і прилеглий до них шар новоутвореної деревини) на висоті 1,3 м стовбура дерев.

Результати дослідження. Експериментальні дані, отримані на модельних деревах різного життєвого стану, представлено в табл. 1 і на рис. 1. Як видно з наведених даних, спостерігається певна закономірність і тісний зв'язок між категоріями життєвого стану в'яза та діелектричними показниками.

¹ КРИНИЦЬКИЙ Григорій Томкович – дійсний член Лісівничої академії наук України, перший віце-президент ЛАН України, доктор біологічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, проректор з наукової роботи, завідувач кафедри лісівництва, Національний лісотехнічний університет України. м. Львів, Україна. Тел.: +38-067-784-11-60. E-mail: krynytsk@ukr.net
² СКОЛЬСЬКИЙ Ігор Михайлович – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник науково-дослідної частини, Національний лісотехнічний університет України. м. Львів, Україна. Тел.: +38-063-862-17-47. E-mail: Sim-7@list.ru.

Таблиця 1

Усередненні лісівничо-таксаційні та діелектричні показники дерев в'яза шорсткого залежно від життєвого стану

Лісництво	Індекс типу лісу	Склад деревостану	Категорія життєвого стану	Моделльні дерева				
				вік, роки	висота, м	діаметр, см	імпеданс, кОм	поляризаційна ємність, нФ
кв. 60, в. 2								
Суходільське	D ₃ -бкД	5Взш2Клг 3Ос+Гз	цілком здорові	24	14,4	13,2	7,33	2,52
			відносно здорові		13,1	12,0	9,22	1,55
			слабовсихаючі		14,2	13,4	10,8	1,00
			середньовсихаючі		14,6	13,3	9,8	1,65
			сильновсихаючі		12,8	13,3	10,53	1,18
кв. 42, в. 8								
Романівське	D ₃ -бкД	5Взш2Дч 2Яв1Чш+Гз	цілком здорові	28	18,0	18,9	6,09	2,16
			відносно здорові		17,2	17,9	7,61	1,62
			слабовсихаючі		15,9	15,8	8,48	1,30
			середньовсихаючі		19,2	20,3	10,00	1,10
			сильновсихаючі		14,4	15,3	6,10	2,00
кв. 42, в. 9								
Романівське	D ₃ -бкД	7Взш1Клг 1Брп1Дч+Гз	цілком здорові	28	16,5	16,5	6,23	2,48
			відносно здорові		15,6	15,4	6,80	2,24
			слабовсихаючі		19,0	20,2	7,50	1,40
			середньовсихаючі		13,6	13,9	9,40	1,30
			сильновсихаючі		14,3	13,4	10,40	1,12
закинутий розсадник								
Болахівське	D ₃ -гД	10Взш	цілком здорові	34	17,9	20,8	6,25	2,69
			відносно здорові		13,3	13,2	7,56	1,78
			слабовсихаючі		11,7	11,0	8,20	1,35
залізнична смуга								
Моршинське	С ₃ -гД	6Взш4Яс	цілком здорові	38	14,9	18,4	7,22	1,74
			відносно здорові		11,3	12,5	8,63	1,16
кв. 59, в. 12								
Суходільське	D ₃ -гД	5Взш3Бкл 1Лпд1Чш+Яв, Гз	цілком здорові	76	30,1	37,9	6,08	2,63
			відносно здорові		34,0	48,3	6,40	1,20

Поляризаційна ємність знижується із погіршенням життєвості дерев в'яза, а імпеданс зростає (див. рис. 1). Їх зміна описується рівняннями: $y = 6,638x^{0,210}$ для імпедансу та $y = 2,182x^{-0,340}$ для поляризаційної ємності і характеризується високими значеннями коефіцієнта кореляції ($r^2 = 0,98$ для імпедансу та $r^2 = 0,88$ для поляризаційної ємності). Розраховані коефіцієнти детермінації показують, що залежність показників імпедансу від життєвого стану дерев простежується у 96% випадків, а показників поляризаційної ємності – у 78%.

Водночас аналіз даних табл. 1 показує певну невідповідність визначення категорії життєвого стану дерев в'яза за морфологічними критеріями і за величиною імпедансу та поляризаційної ємності. Так, у Суходільському лісництві дерева в'яза, які за морфологічними ознаками віднесені до середньовсихаючих, за показниками імпедансу і поляризаційної ємності відносяться до категорії слабовсихаючих. Аналогічні випадки спостерігаються під час визначення життєвого стану дерев в'яза і в інших лісництвах (див. табл. 1).

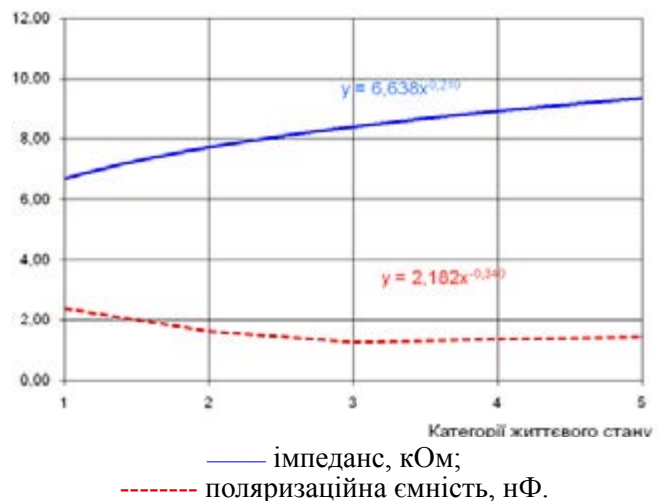


Рис. 1. Моделі зміни діелектричних показників дерев в'яза шорсткого залежно від категорій життєвого стану: 1 – цілком здорові; 2 – відносно здорові, 3 – слабовсихаючі; 4 – середньовсихаючі; 5 – сильновсихаючі

З даних табл. 1 також випливає, що діелектричні показники практично не залежать від віку і висоти дерев в'яза. Водночас встановлено залежність імпе-

дансу і поляризаційної ємності від діаметра дерев у межах кожної категорії життєвого стану (табл. 2).

Таблиця 2

Усереднені показники імпедансу (кОм) та поляризаційної ємності (нФ) залежно від діаметра (см) дерев в'яза шорсткого різних категорій життєвого стану

Діаметр	Цілком здорові		Відносно здорові		Слабовсихаючі		Середньовсихаючі		Сильновсихаючі	
	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C
10	7,7	1,6	8,7	1,6	9,0	0,9	10,3	0,6	12,7	0,5
12	7,3	1,7	8,4	1,6	8,8	1,0	10,0	0,8	11,4	0,6
14	7,0	1,9	8,1	1,7	8,7	1,1	9,8	0,9	10,4	0,8
16	6,7	2,0	7,9	1,7	8,5	1,2	9,6	1,0	9,6	0,9
18	6,5	2,2	7,7	1,8	8,4	1,3	9,4	1,1	9,2	1,0
20	6,3	2,3	7,6	1,8	8,3	1,3	9,3	1,3	8,5	1,2
22	6,1	2,5	7,4	1,9	8,2	1,4	9,2	1,4	7,9	1,3
24	6,0	2,6	7,3	1,9	8,1	1,5	9,1	1,5	7,5	1,4
26	5,8	2,7	7,2	1,9	8,0	1,6	9,0	1,6	7,1	1,6
28	5,7	2,8	7,1	2,0	8,0	1,6	8,9	1,8	7,0	1,7
30	5,6	2,9	7,0	2,0	7,9	1,7	8,8	1,9	6,6	1,9
32	5,5	3,1	6,9	2,0	7,8	1,8	8,7	2,0	6,3	2,0
34	5,4	3,2	6,8	2,1	7,8	1,8	8,6	2,1	6,0	2,2
36	5,3	3,3	6,7	2,1	7,7	1,9	8,6	2,3	5,8	2,3
38	5,2	3,4	6,6	2,1	7,7	1,9	8,5	2,4	5,6	2,5
40	5,1	3,5	6,6	2,1	7,6	2,0	8,4	2,5	5,4	2,6
Коефіцієнт кореляції між D та R і C	-0,70	0,71	-0,72	0,83	-0,78	0,87	-1,00	1,00	-0,97	0,90

У дерев в'яза усіх категорій життєвого стану із збільшенням діаметра значно зменшується величина імпедансу і збільшується показник поляризаційної ємності. Коефіцієнт кореляційних змін між діаметром дерев та імпедансом досягає $r = -0,70 \div -1,00$, а між діаметром і поляризаційною ємністю $r = 0,71 \div 1,00$. Причому ці зміни інтенсивніше відбуваються у дерев категорій низького життєвого стану (середньовсихаючих і слабовсихаючих).

Отже, життєвий стан дерев в'яза більшого діаметра усіх категорій життєвого стану, визначений за діелектричними показниками, є більшим, ніж у дерев меншого діаметра. Також встановлено, що у сильновсихаючих дерев діаметром 20 см і більше імпеданс і поляризаційна ємність, а в середньовсихаючих – поляризаційна ємність, є близькими до величини цих діелектричних показників у слабовсихаючих і навіть – у відносно здорових дерев, що свідчить про більш високий їхній життєвий стан (див. табл. 2).

Категорії життєвого стану дерев визначають загалом за морфологічними ознаками – наявністю суховершинності, сухих гілок, морозобійних тріщин, злущування кори, уражень фітохворобами та пошкоджень ентомошкідниками, зміни величини і кольору листя, ступенем всихання крони тощо. При цьому не враховується життєвість прикамбіальних тканин дерева, їх фізіологічний стан. Процеси всихання крони та прояви інших морфологічних ознак життєздатності дерев на життєвість тканин впливають поступово і лише через певний (іноді тривалий) час призводять

до їх відмирання. Водночас діелектричні показники відображають життєвий стан дерева за життєвим рівнем прикамбіального комплексу тканин стовбура. У зв'язку з цим і спостерігається певна невідповідність оцінок стану дерев за морфологічними ознаками і діелектричними показниками.

Математичні моделі зміни імпедансу і поляризаційної ємності дерев в'яза шорсткого залежно від діаметра стовбура на висоті 1,3 м і категорій життєвого стану, а також їхню графічну інтерпретацію показано на рис. 2.

Представлені на рис. 2 моделі дають змогу визначати усередненні величини діелектричних показників, які є характерними для дерев в'яза різного діаметра в межах кожної категорії життєвого стану. З даних рис. 2 також видно, що зміни імпедансу дерев в'яза кожної життєвої категорії залежно від діаметра відбуваються більш різко і мають більш виражений криволінійний характер, ніж зміни поляризаційної ємності.

Висновки. Важливими критеріями відбору здорових, не уражених голландською хворобою (*Graphium ulmi* Schwarz) особин в'яза шорсткого, поряд з морфологічними ознаками [6], є електрофізіологічні показники – імпеданс і поляризаційна ємність. Між категоріями життєвого стану дерев в'яза та цими діелектричними показниками спостерігається тісний кореляційний зв'язок ($r^2 = 0,88-0,98$). Із погіршенням життєвого стану дерев в'яза величина поляризаційної ємності знижується, а величина імпедансу зростає.

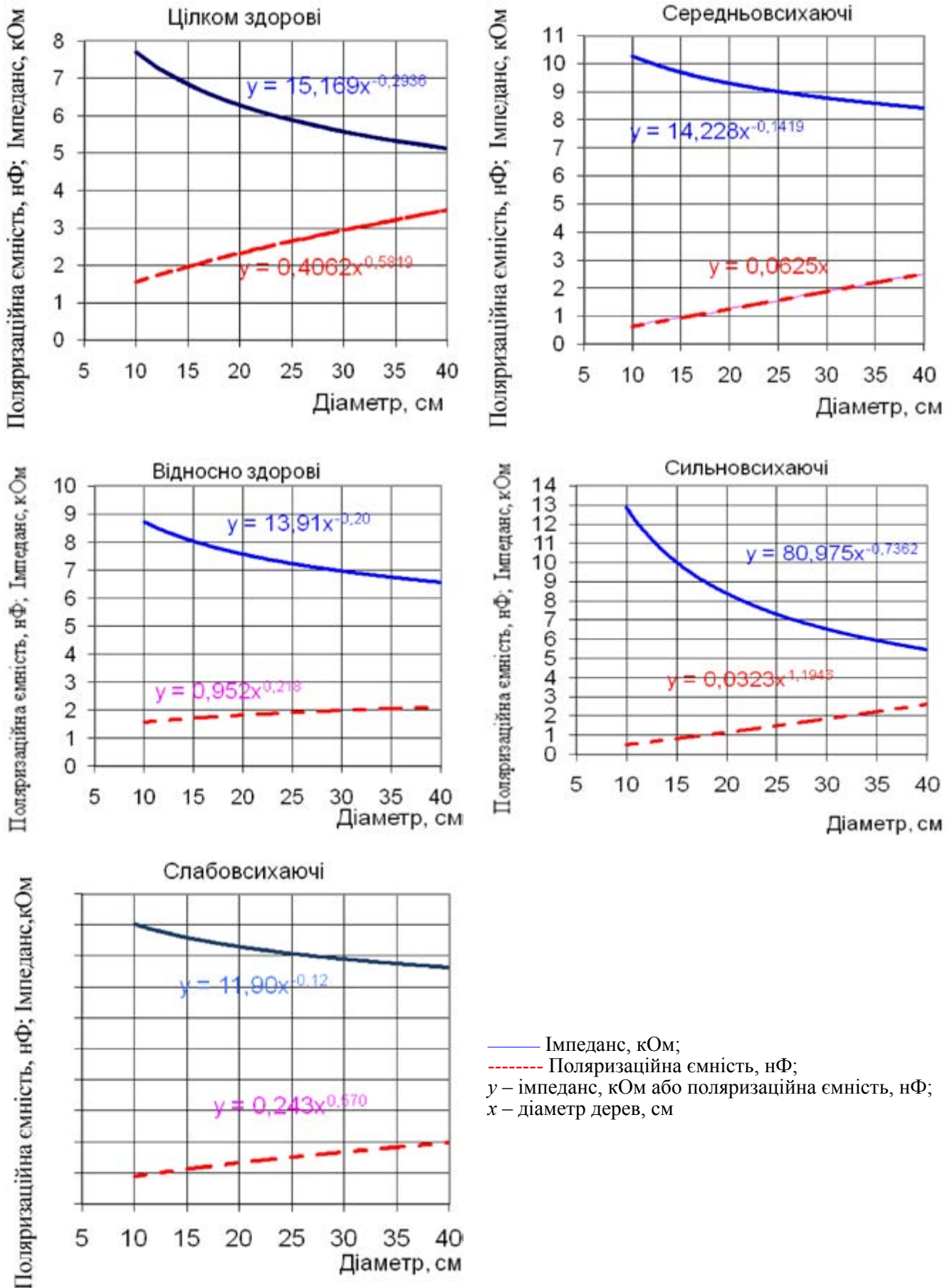


Рис. 2. Модельні рівняння і графічне зображення змін показників імпедансу і поляризаційної ємності залежно від діаметра дерев в'яза шорсткого в межах категорій життєвого стану

Чим менший діаметр дерева, тим більшою мірою збігаються оцінки його життєвого стану, визначені за морфологічними критеріями і діелектричними показниками. У дерев в'яза діаметром 20 см і більше, життєвих категорій сильно- і середньовсихаючі ще тривалий час продовжує функціонувати прикамбіальний шар тканин у нижній частині стовбура, що в цей період і відображається відповідною величиною імпедансу та поляризаційної ємності і вищою, порівняно з морфологічною, оцінкою їх життєвого стану.

Загалом для об'єктивного оцінювання життєвого стану дерев в'яза, зокрема уражених голландською хворобою, потрібен комплексний підхід, за якого поєднуються морфологічні критерії і діелектричні показники. Цілков здоровими особинами в'яза потрібно вважати дерева, які за морфологічними ознаками належать до першої категорії життєвого стану (цілков здорові) і мають імпеданс прикамбіального шару тканин стовбура не менше 7,7 кОм, а поляризаційну ємність – 1,6 нФ і більше.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Заїка В.К.** Селекційно-екологічні особливості формування півсїбсових потомств сосни звичайної в умовах Львівського Розточчя : дис. канд. с.-г. наук: 06.00.18 / В.К. Заїка. – Львів, 1995. – 211 с.

2. **Криницький Г.Т.** Морфофізіологічні основи селекції деревних рослин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора біол. наук: спец. 06.03.01 „Лісові культури, селекція, насінництво та озеленення міст”, 03.00.12 „Фізіологія рослин” / Г.Т. Криницький. – К., 1993. – 46 с.

3. **Криницький Г.Т.** Про методику використання електрофізіологічних показників для визначення життєздатності деревних рослин / Г.Т. Криницький // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооброб. промсть. – Львів: Світ, 1992. – Вип. 23. – С. 3-10.

4. **Рутковский И.В.** Биоэлектрическая активность тополей разного физиологического состояния в суточном и сезонном ритмах / И.В. Рутковский // Лесоведение. – 1973. – №1. – С. 51-57.

5. **Рутковский И.В.** Применение электрофизиологических методов в лесовыращивании / И.В. Рутковский, Ф.В. Кишенков // Лесоведение и лесоводство. – 1980. – Вип. 3. – 40 с.

6. **Скольский И.М.** Ріст та життєздатність в'яза шореткого у вологих грудях Опілля / І.М. Скольський // Наук. вісн. НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.7. – С. 104-109.

Г.Т. Криницький, І.М. Скольський

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВЬЕВ ИЛЬМА ГОРНОГО

Импеданс и поляризационная емкость, как и биоэлектрические потенциалы, относятся к показателям, которые характеризуют состояние растений и

интенсивность прохождения в них физиолого-биохимических процессов. В лесоводческих исследованиях эти показатели используются как критерии устойчивости древесных растений к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды – низкой температуры, засухи, действия ядохимикатов, загазованности воздуха, а также для оценки физиологического состояния деревьев. Высокие абсолютные показатели поляризационной емкости и низкие значения импеданса свидетельствуют о высоком жизненном потенциале древесных растений.

Цель нашей работы – выявить возможности использования диэлектрических показателей для определения жизненного состояния деревьев ильма горного (*Ulmus scabra* Mill.).

Для проведения исследований дерева ильма горного по морфологическим признакам были разделены на пять категорий жизненного состояния: вполне здоровые, относительно здоровые, слабоусыхающие, среднеусыхающие и сильноусыхающие. Для каждой категории отбирали 30-50 модельных деревьев. Диэлектрические показатели определены с помощью прибора Ф 4320 на частоте 1 кГц согласно методикам И.В. Рутковского, Ф.В. Кишенкова (1980) и Г.Т. Криницкого (1992). Электроды вводили в прикамбиальный комплекс тканей (луб, камбий и прилегающий к ним слой древесины) на высоте 1,3 м ствола деревьев.

Экспериментальные данные, полученные нами на модельных деревьях разного жизненного состояния показывают, что наблюдается определенная закономерность и тесная связь между категориями жизненного состояния ильма и диэлектрическими показателями.

Поляризационная емкость уменьшается с ухудшением жизнеспособности деревьев ильма, а импеданс возрастает. Их изменение описывается уравнениями: $y = 6,638x^{0,210}$ для импеданса и $y = 2,182x^{-0,340}$ для поляризационной емкости и характеризуется высокими значениями коэффициента корреляции ($r^2 = 0,98$ для импеданса и $r^2 = 0,88$ для поляризационной емкости). Коэффициенты детерминации указывают, что зависимость показателей импеданса от жизненного состояния деревьев прослеживается в 96% случаев, а показателей поляризационной емкости – в 78%.

В то же время выявлено некоторое несоответствие определения категории жизненного состояния деревьев ильма по морфологическим критериям и по величине импеданса и поляризационной емкости. В отдельных случаях деревья ильма, которые по морфологическим признакам отнесены к среднеусыхающим по показателям импеданса и поляризационной емкости, относятся к категории слабоусыхающих.

Установлено также, что диэлектрические показатели практически не зависят от возраста и высоты деревьев ильма. В то же время нами установлена зависимость импеданса и поляризационной емкости от диаметра деревьев в пределах каждой категории жизненного состояния.

У деревьев ильма всех категорий жизненного состояния с увеличением диаметра значительно

уменьшается величина импеданса и увеличивается показатель поляризационной емкости. Коэффициент корреляционных изменений между диаметром деревьев и импедансом достигает $r = -0,70 \div -1,00$, а между диаметром и поляризационной емкостью – $r = 0,71 \div 1,00$).

Чем меньше диаметр дерева, тем в большей степени совпадают оценки его жизненного состояния, определенные по морфологическим критериям и диэлектрическим показателям. У деревьев ильма диаметром 20 см и более жизненных категорий сильно- и среднеусыхающие еще длительное время продолжает функционировать прикамбиальный слой тканей в нижней части ствола, что в этот период и отображается соответствующей величиной импеданса и поляризационной емкости – более высокой, по сравнению с морфологической оценкой их жизненного состояния.

Таким образом, для объективной оценки жизненного состояния деревьев ильма, в частности пораженных голландской болезнью, необходим комплексный подход, при котором сочетаются морфологические критерии и диэлектрические характеристики. Вполне здоровыми особями ильма следует считать деревья, которые по морфологическим признакам относятся к первой категории жизненного состояния (вполне здоровые) и имеют импеданс прикамбиального слоя тканей ствола не менее 7,7 кОм и поляризационную емкость – 1,6 нФ и больше.

Ключевые слова: ильм горный, импеданс, поляризационная емкость, морфологические признаки, жизненное состояние

H. Krynytskyi, I. Skolskyi

USE OF DIELECTRIC PARAMETERS FOR DETERMINATION OF WYCH-ELM (MOUNTAIN) TREES VITALITY

Impedance and polarization capacitance, as well as bioelectric potentials, are parameters that characterize a state of woody plants and an intensity of physiological and biochemical processes in them. In silvicultural research these indicators are used as the criteria of woody plants resistance to adverse environmental factors like a low temperature, droughts, pesticides impact, gas polluted air, as well as for evaluation of physiological state of trees. High absolute values of polarization capacitance and low impedance values indicate a high vitality of tree vegetation.

The aim of our work is to reveal a possibility of using the dielectric indicators to measure the vitality of wych-elm (mountain) trees (*Ulmus scabra* Mill.).

For research purpose the elm trees were divided according to their morphological characteristics on five categories of vitality: quite healthy, relatively healthy, low dried, moderately dried and strongly dried. 30-50 model trees were selected for each category. Dielectric properties were estimated using F 4320 facility with a frequency of 1 kHz according to the techniques proposed

by I.V. Rutkowskyi, F.V. Kishenkov (1980) and H.T. Krynytskyi (1992). The electrodes were driven into a near cambial complex of materials (phloem, cambium and the adjacent layer of wood) at a height of 1.3 m of a tree stem.

Experimental data obtained from model trees with a different vitality show that there is certain regularity and a close relationship between the categories of vitality and relevant dielectric values.

Polarization capacity decreases and an impedance increases with a deterioration of elm trees vitality. Their change is described by the equations: $y = 6.684 x^{0.210}$ for impedance and $y = 2.182 x^{-0.340}$ for polarization capacity and is characterized by high values of the correlation coefficient ($r^2 = 0.98$ for impedance and $r^2 = 0.88$ for the polarization capacity). Estimated coefficients of determination show that dependence of the impedance parameters on the trees vitality can be observed in 96% of cases, and for polarization capacity indicators in 78% of cases.

At the same time a certain discrepancy in identification of the elm trees vitality category using morphological criteria and using magnitude of impedance and polarization capacity was identified. In some cases elm trees, which were classified as moderately dried according to morphological characteristics were classified as low dried according to impedance and polarization capacity indicators.

Also it was found that the dielectric values practically do not depend on the age and height of the elm trees. At the same time, we revealed a dependence of impedance and polarization capacitance on the trees diameter within each category of vitality.

For all vitality categories of elm trees an impedance value significantly decreases and a rate of polarization capacity increases with an increase of the trees diameter. The coefficient of correlation between tree diameter and the impedance varies between $r = -0.70 \div -1.00$ while for diameter and polarization capacity it varies between $r = 0.71 \div 1.00$.

The smaller tree diameter, the more coincide its vitality estimations, determined by morphological criteria and dielectric characteristics. For a long time in elm trees with a diameter of 20 cm or more from the strongly and moderately dried vitality categories the near cambial layer of tissues at the bottom part of tree stem continues to function and this is indicated by the higher value of impedance and polarization capacitance in comparison with relevant morphological estimation of the trees vitality.

Thus for objective assessment of the elm trees vitality, in particular for trees affected by the Dutch disease, a comprehensive approach that combines morphological criteria and dielectric characteristics is necessary.

Elm trees that morphologically belong to the first category of the vitality (completely healthy) and have impedance of near cambial layer of the tree stem tissues not less than 7.7 kW and a polarizing capacity of 1.6 nF or more should be considered as completely healthy.

Key words: wych-elm (mountain), impedance, polarization capacitance, morphological signs, vitality