

АНАЛІЗ ПІГМЕНТНОГО АПАРАТУ ЛИСТКІВ ДЕЯКИХ ВИДІВ І КУЛЬТИВАРІВ РОДИНИ *SALICACEAE* MIRB. У ЗВ'ЯЗКУ ІЗ ЗАБРУДНЕННЯМ ПОВІТРЯ В УМОВАХ М. БІЛА ЦЕРКВА

Іщук Л.П.¹, Іщук Г.П.²

¹Білоцерківський національний аграрний університет
Соборна пл., 8/1, 09117, м. Біла Церква, Київська обл.

²Уманський національний університет садівництва
вул. Інститутська, 1, 20305, м. Умань, Черкаська обл.
ishchuk29@gmail.com, sobaka.kot2011@gmail.com

У результаті дослідження вмісту фотосинтетичних пігментів і їх співвідношень у листках аборигенних та інтродукованих 30-50-річних видів родини *Salicaceae* у вуличних насадженнях м. Біла Церква та замиської зеленої зони і біостаціонару Білоцерківського НАУ з різним ступенем аеротехногенного забруднення повітря виділено перспективні види родини *Salicaceae* для озеленення урбоекосистеми міста Біла Церква. Вміст хлорофілів *a* та *b* та вміст загальних каротиноїдів визначали безмацераційним методом екстрагування пігментів.

Найвищий вміст хлорофілу *a* і *b* було зафіксовано у зразків *P. italica*, *P. nigra* зібраних із модельних дерев у лісосмугах замиської зони м. Біла Церква. У найбільш стійкого у міській урбоекосистемі виду *P. italica* різниця між вмістом хлорофілу *a* і *b* у листках зібраних з рослин по вул. Леваневського і у фітомеліоративні лісосмугі на відстані 3 км від м. Біла Церква не суттєва і становить для хлорофілу *a* 0,09 мг/г, для хлорофілу *b* – 0,03 мг/г.

Натомість у зразків *S. fragilis*, *S. alba* 'Vitellina pendula', *P. simonii* вищий вміст хлорофілу *a* і *b* зафіксований у зразків зібраних на проспекті Князя Володимира та вулиці Леваневського, що свідчить про високий рівень життєвості і стійкості цих видів в умовах аеротехногенного забруднення повітря транспортними засобами м. Біла Церква. Вміст каротиноїдів у *S. fragilis* та *S. alba* 'Vitellina pendula' вищий у рослин які зростають в урбоекосистемі м. Біла Церква і складають відповідно 0,28 мг/г і 0,51 мг/г.

Незначне зменшення вмісту фотосинтетичних пігментів в листках (на 6–11%) дорослих дерев на вулицях м. Біла Церква, порівняно з тими, що ростуть у передмісті та скверу біля Літака, вузький діапазон змін співвідношення хлорофілу *a* / *b* (3,2–3,4) вказують на їх успішну адаптацію до умов міського середовища.

Дослідження підтвердили високу стійкість пігментного апарату видів *P. italica*, *P. nigra* та середню стійкість *S. fragilis*, *S. alba* 'Vitellina pendula', *P. simonii* до умов аеротехногенного забруднення автотранспортом, а тому ці види можна рекомендувати для озеленення вулиць м. Біла Церква з інтенсивним рухом автотранспорту. *Ключові слова:* *Salix* L., *Populus* L., хлорофіл *a* і *b*, каротиноїди, аеротехногенне забруднення.

Analysis of leaves pigment apparatus of *Salicaceae* Mirb. family certain species and cultivars related to air pollution in the conditions of Bila Tserkva. Ishchuk L., Ishchuk H.

Prospective *Salicaceae* family species for the town urban ecosystem greenization are defined on the basis of studying the content of photosynthetic pigments and their ratios in the leaves of aboriginal and introduced 30–50-year-old species in the plantations of Bila Tserkva, the outskirts and in the biostationary of Bila Tserkva NAU with different degrees of aerotechnogenic air pollution. The content of *a* and *b* chlorophylls and the content of total carotenoids were determined by non-maceration method of pigment extraction.

The highest content of *a* and *b* chlorophyll was recorded in samples of *P. italica*, *P. nigra* collected from model trees in the forest belts of the suburban area of Bila Tserkva. The difference between the content of chlorophyll *a* and *b* in the leaves collected from plants in the Levanevskiy str. and in phytomeliorative forest belts growing 3 km away from Bila Tserkva is not significant and it is 0.09 mg / g for chlorophyll *a* and 0.03 mg/g for chlorophyll *b* in *P. italica* species, the most resistable one in the urban ecosystem.

In contrast, a higher content of chlorophyll *a* and *b* in the samples collected in Knyaz Volodymyr Avenue and Levanevskiy str. is observed in the samples of *S. fragilis*, *S. alba* 'Vitellina pendula', *P. simonii* a, which indicates a high level of vitality and stability of these species in the conditions of aerotechnogenic pollution in Bila Tserkva. The content of carotenoids in *S. fragilis* and *S. alba* 'Vitellina pendula' is higher in plants growing in the urban ecosystem of Bila Tserkva and it is 0.28 mg/g and 0.51 mg/g, respectively.

A slight decrease (6–11 %) in the content of photosynthetic pigments in the leaves of adult trees in Bila Tserkva streets, compared with those growing in the suburbs and the park near the Plane Monument, as well as a narrow range of changes in the ratio of chlorophyll *a* / *b* (3.2–3.4) indicate their successful adaptation to urban conditions.

The study have confirmed the high resistance of the *P. italica*, *P. nigra* species pigment apparatus and the medium resistance of *S. fragilis*, *S. alba* 'Vitellina pendula', *P. simonii* ones to the conditions of aerotechnogenic pollution caused by vehicles. Therefore, these species can be recommended for planting in Bila Tserkva streets with heavy traffic. *Key words:* *Salix* L., *Populus* L., chlorophyll *a* and *b*, carotenoids, aerotechnogenic pollution.

Постановка проблеми. Географія поширення видів і культиварів родини *Salicaceae* Mirb. тісно пов'язана з їхніми екологічними, біологічними і фізіологічними особливостями. Висока екологічна пластичність видів і культиварів родини *Salicaceae*

забезпечує їх успішну інтродукцію і акліматизацію до нових умов місцезростання та пов'язана з мінливістю основних обмінних процесів, що на думку дослідників, обумовлює їх стійкість до умов промислового забруднення [1].

Адаптація рослин до умов середовища може проходити за рахунок зміни вмісту фотосинтетичних пігментів, які є важливим і чутливим показником їх фізіологічного стану, адаптивних перебудов, дії стресу. Існує гіпотеза, що між екологічною пластичністю інтродукованих видів і їх стійкістю до несприятливих чинників середовища, зокрема, до аеротехногенного забруднення виникає залежність. Грунтується ця гіпотеза на уявленні про мінливість обмінних процесів і формуванні адаптивних реакцій, які забезпечують вербам і тополям успішне пристосування до техногенних чинників [2; 3].

Актуальність дослідження. Стійкість деревних рослин до техногенного забруднення повітря залежить від їх метаболічної активності, швидкості потрапляння токсинів у внутрішні тканини, їх нейтралізації при включенні у метаболізм [4]. Тому вивчення адаптивних механізмів вербових в різних екологічних умовах є актуальним і перспективним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед основних джерел забруднення середовища у містах є автомобільний транспорт, кількість якого невпинно зростає, зокрема і в м. Біла Церква. Адже 50 % оксиду вуглецю 38 % вуглеводнів і 27 % оксиду азоту від загальної для країни кількості цих речовин потрапляє в атмосферу внаслідок роботи автотранспорту [5]. За даними Ю.Г. Фельдмана [6] кожен автомобіль викидає в атмосферу з вихлопними газами 200 різних шкідливих компонентів.

Місто Біла Церква є середнім промисловим містом, на території якого розташовані підприємства-забруднювачі повітряного басейну. В атмосферне повітря викидається більше ніж 300 різних інгредієнтів, серед яких пил органічного і неорганічного походження, вуглеводневі сполуки, свинець, фенол, формальдегіди, оксиди азоту, хром, цинк, нікель тощо. Основними забруднювальними підприємствами у місті є: ВАТ «Білоцерківська ТЕЦ», ЗАТ «Росава», ВАТ «Трібо», ТОВ «Інтер ГТВ», ЗАТ НВФ «Ферокерам», ВАТ «Білоцерківтепломережа». Але найбільшим джерелом забруднення у місті залишається автотранспорт, викиди якого становлять понад 70 % викидів [7].

З огляду на вищезазначене потрібним є проведення досліджень, які дозволять вивчити стійкість аборигенних та інтродукованих видів і гібридів родини *Salicaceae* Mirb., широко представлених у вуличних насадженнях м. Біла Церква, та оцінити перспективи їх виживання в умовах аеротехногенного забруднення.

За даними Т.О. Грабовської [8], яка проводила дослідження у м. Біла Церква щодо впливу викидів автотранспорту на екологічний стан довкілля, найбільшу його кількість була зафіксована нею на вул. Леваневського, біля ЗАТ «Росава», де в насадженнях серед інших культур представлені види роду *Populus* L. Досліджуючи видовий склад і стан захисних насаджень вулиць промислово-транспортної зони м. Білої Церкви Т.Ю. Сагдєєва [9] встановила

для дерев *P. italica* середній індекс стану життєвості – 3,05 і констатувала, що дерева цього виду виглядають краще ніж дерева *Robinia pseudoacacia* L. і *Gleditsia triacanthos* L.

Вербняки і топольники беруть активну участь у підтримці газової рівноваги у атмосфері. Для листопадних деревних рослин характерне найвище значення фотосинтетичної активності. У літературі відзначають, що фотосинтез світлових листків гібридів тополь близьких до роду *Salix* L., наближається до максимального фотосинтезу культурних трав, а більшість деревних рослин досягають лише третини або половини цих показників. [10]. Н.Л. Коссович [11] встановив, що серед верб найбільшу фотосинтетичну активність має *S. purpurea* L., дещо менші показники у *S. viminalis* L. і *S. caprea* L. На інтенсивність фотосинтезу значний вплив мають антропогенні чинники: температура повітря, низький вміст води та макро- і мікроелементів у ґрунті. Смог, пил і сажа знижують рівень освітлення листків і, посилюючи дихання, і зменшуючи фотосинтетичну активність [12]. Деревя в умовах урбоекосистеми менше утворюють органічних речовин, ніж у заміських парках і лісопарках [13].

Вміст пігментів у різних рослин обумовлений генетично і залежить від умов їх місцезростання [14]. У тіньовитривалих рослини вміст хлорофілу вищий, ніж у світлолюбних [10]. А відношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* у світлолюбних видів змінюється від 3,9 до 5,0, у тіньовитривалих – від 1,5 до 2,3 [15]. Однак не завжди високий вміст хлорофілу визначає інтенсивний фотосинтез. Так, Н.А. Іванова й Р.Н. Костюченко [13] встановили, що середні показники хлорофілу в асиміляційних органах фітоценозів північної тайги у *P. tremula* L. 2,5 рази вищі ніж у хвойних цього ж регіону.

Зазвичай показники хлорофільного індексу застосовуються для оцінки продуктивності рослин і для кількісної оцінки фотосинтетично зв'язаного атмосферного вуглецю рослинними угрупованнями [16]. Впродовж вегетаційного періоду вміст хлорофілу у листках змінюється і досягає свого максимуму у фазі повного розвитку листка [12].

Під дією шкідливих викидів промисловості і автотранспорту змінюється кількісний вміст пігментів листків деревних рослин і співвідношення їх окремих форм [12]. Вплив забруднюючих речовин атмосферного повітря на пігменти у різних рослин нерівноцінний. А.Н. Нікітіна [17] встановила, що в умовах підвищеного забруднення збільшується кількість хлорофілу у листках, який інтенсивно поновляє клітинні структури. Однак. О.С. Соловйова [12] показала, що загальний вміст хлорофілу у забрудненому міському середовищі у листопадних дерев зменшується. Шкідливі газоподібні речовини викликають посилення окислювальних процесів, порушення лабільних зв'язків хлорофілу з білково-ліпідним комплексом, появу мономерних і молекулярних форм [18].

Досліджуючи вплив важких металів на види і гібриди роду *Populus* в умовах промислових майданчиків гірничозбагачувальних комбінатів Криворіжжя О.В. Данильчук [19] встановив, що за дії важких металів уміст хлорофілу *a*, *b* та їх суми у *P. deltoides* і *P. italica* зменшується до п'яти та до двох разів у гібридів Т. × сакрау 45/51, Т. × градська і Т. × львівська, тоді як у гібридів *P. candicans*, *P. simonii* та Т. × келібердинська, Т. × тронко, Т. × сакрау 79 і Т. × робуста 16 – більш ніж у п'ять і два рази відповідно, що є ознакою прояву різної стійкості вказаних тополь до забруднення.

Питання про лабільність хлорофілу *a* і *b* під час штучної гуміфікації залишається дискусійним. Одні автори вважають більш лабільним хлорофіл *a*, а інші – *b* [12, 17]. В.І. Карасев [20] встановив, що під час затоплення рослин інтенсивність фотосинтезу і вміст хлорофілу знижується. На зниження хлорофілу також впливає недостатня кількість елементів мінерального живлення. [20]. Зміну хлорофілу А.Н. Нікітіна [17] вважає одним з показників газостійкості рослин.

Каротиноїди, як і хлорофіл відіграють важливу роль у процесі фотосинтезу і входять до складу світлозбираючого комплексу, а також захищають молекули хлорофілу від фотоокислення, підвищують стійкість рослин до несприятливих зовнішніх впливів [14].

Усі ці дані свідчать про те, що фотосинтез і пігментна система листка неоднозначно реагують на природні і антропогенні стрес-фактори, що на нашу думку, пов'язано з особливостями генотипу рослин і особливостями діючого фактору. У рослин родини *Salicaceae* ці процеси майже не вивчені й залишаються дискусійними.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проведені нами попередні дослідження свідчать, що в умовах м. Біла Церква у зелених насадженнях загального і обмеженого користування представлено 8 видів і 10 гібридів роду *Populus*. Згідно з нашими попередніми дослідженнями [21] відповідно до ступеня життєвості найвищою життєздатністю в умовах найбільш забруднених промислового та лінійно-дорожнього ландшафтів урбоєкосистеми, а відповідно, і найперспективнішими видами і гібридами є *P. italica* (Du Roi) Moench., *P. simonii* Corr., *P. × canescens* (Ait.) Smith, *P. tremula* L., *P. × beroliensis* Dippel. Найменш стійкими виявилися *P. nigra* L. і *P. deltoides* Marsh. Ряд видів *P. nigra*, *P. deltoides*, *P. balsamifera* L. і *P. alba* L. масово пошкоджуються напівпаразитом *Viscum alba* L. Винятком є лише *P. italica* та євроамериканські гібриди, які виявилися стійкими до *Viscum alba* [22; 23].

Тому метою наших досліджень було визначення вмісту пігментного комплексу у деяких видів і гібридів родини *Salicaceae* та проведення аналізу впливу аеротехногенного забруднення на вміст пігментів в умовах м. Біла Церква.

Новизна. Вперше в умовах м. Біла Церква на основі аналізу пігментного складу листків (вміст хлорофілів *a* і *b*, каротиноїдів та їх співвідношення) встановлено ступінь життєвості і стійкості *P. italica*, *P. nigra*, *P. simonii*, *S. fragilis*, *S. alba* 'Vitellina pendula' до техногенного забруднення повітря автотранспортом.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для визначення вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофілу *a* і *b* та каротиноїдів) і їх співвідношення заготовляли листки з дорослих 40–50-річних дерев *Salix* і *Populus* у міських вуличних насаджень з інтенсивним рухом автотранспорту (вул. Леваневського, просп. Князя Володимира, сквер біля Літака) та заміській зеленій зоні (штучні лісосмуги та яри) околиць м. Біла Церква і на біостаціонарі БНАУ. Листки заготовляли у кінці травня після закінчення їх росту і визрівання.

Експериментальну частину роботи проводили у лабораторії відділу фізіології та екології фотосинтезу Інституту фізіології рослин і генетики НАН України у м. Київ. Визначення вмісту пігментів проводили у середній пробі листків. Для цього в кожному з 2-х повторень відбирали по 5 середніх листків, які одразу загортали у зволожену тканину та доставляли до лабораторії. Середній проміжок часу між відбором зразків і доставкою їх в лабораторію для екстракції пігментів складав не більше однієї години. За такого способу зберігання листків їх біохімічні характеристики лишалися практично незмінними.

Після доставки зразків в лабораторію в кожному з варіантів у відібраних листках здійснювали фіксацію пігментів диметилсульфоксидом (ДМСО). Вміст хлорофілів *a* та *b* та вміст загальних каротиноїдів визначали безмацераційним методом екстрагування пігментів за А.П. Велбурном [24]. Для цього 100 мг наважки (усередненої з 5 листків рослини) заливали 10 мл ДМСО. Потім пробірки поміщали у водяну баню (температура води 60°C) на 4 години. Один мілілітр отриманого розчину розбавляли трьома мілілітрами ДМСО і визначали оптичну густину цього розчину на спектрофотометрі СФ-26 (ЛОМО, Ленінград). Розрахунок концентрації пігментів, мг/л, проводили за формулами [24]:

$$C_a = 12,19 A_{665} - 3,45 A_{649}$$

$$C_b = 21,99 A_{649} - 5,32 A_{665}$$

$$C_{x+c} = (1000 A_{480} - 2,14 C_a - 70,16 C_b) / 220,$$

де: C_a , C_b , – відповідно вміст хлорофілів *a* та *b*,
 C_{x+c} – вміст загальних каротиноїдів,
 $A_{480,649,665}$ – оптична щільність розчинів пігментів при довжинах хвиль 480, 649 та 665 нм.

Виклад основного матеріалу. В ході досліджень, де ми визначали вміст хлорофілу у листках дорослих 30–40 річних дерев *Salix* і *Populus* у міських вуличних насаджень з інтенсивним рухом автотранспорту

та у замиській зеленій зоні м. Біла Церква нами було встановлено в усіх варіантах досліду підвищення вмісту хлорофілу *a* і *b* у міському середовищі порівняно із замиськими фітомеліоративними насадженнями – лісосмугами, ярами і балками та біостаціонаром. Так, вміст хлорофілу *a* і *b* у *S. fragilis* L. був вищий у листках заготовлених на просп. Князя Володимира, де поряд з інтенсивним рухом автотранспорту, джерелом забруднення повітря також є автозаправка відповідно 1,08 мг/г і 0,34 мг/г порівняно з листками зібраними в ярку у передмісті м. Біла Церква за 2 км від автодороги з твердим покриттям, де показники вмісту хлорофілу *a* і *b* становили відповідно 0,88 мг/г і 0,29 мг/г (табл. 1). Таку ж тенденцію ми спостерігали у *S. alba* L. 'Vitellina pendula', де показники вмісту хлорофілу *a* і *b* у листках були вищі майже вдвічі у рослин, що ростуть на вул. Леваневського порівняно з сквером біля Літака хлорофіл *a* відповідно 0,91 мг/г і 2,02 мг/г та хлорофіл *b* – 0,28 мг/г і 0,59 мг/г, що також свідчить про високий рівень атмосферного забруднення у місті.

У найбільш стійкого у міській урбоecosистемі виду *P. italica* різниця між вмістом хлорофілу *a* і *b* у листках зібраних з рослин по вул. Леваневського і у фітомеліоративні лісосмузі на відстані 3 км від м. Біла Церква не суттєва і становить для хлорофілу *a* 0,09 мг/г, для хлорофілу *b* – 0,03 мг/г.

У *P. simonii* вміст хлорофілу *a* в листках зібраних на вулиці Леваневського складає 1,17 мг/г, а у замиській зоні на біостаціонарі БНАУ – лише 0,89 мг/г, для хлорофілу *b* – становлять відповідно 0,36 мг/г і 0,29 мг/г. Нетипові показники з підвищеним вмістом хлорофілу у замиській зоні на біостаціонарі БНАУ можна пояснити віковими особливостями модельних дерев. На біостаціонарі БНАУ вік *P. simonii* –

7 років, а у м. Біла Церква на вул. Леваневського – це 40-річні дерева.

Натомість сумарний вміст хлорофілу *a* і *b* у *P. italica* і *P. nigra* вищий у рослин, що зростають у замиській зоні. В урбанізованому середовищі сумарний вміст хлорофілу *a* і *b* вищий у дерев *S. fragilis*, *P. simonii* і *S. alba* 'Vitellina pendula', що зростають на вулиці Леваневського і просп. Князя Володимира.

На нашу думку, це пов'язано з тим, що види з підвищеною газочутливістю характеризуються зменшенням вмісту хлорофілу і каротиноїдів та порушенням міцності зав'язків хлорофілу з білково-ліпідним комплексом, порівняно з газостійкими. Умови середовища, зокрема, освітленість вказують на кількісне співвідношення окремих груп пігментів у листках. Це підтверджено у роботі Н.А. Іванової, Р.Н. Костюченко [13], які встановили найвищий вміст пігментів у листках верб, що ростуть у заплаві річки Об, у лісових ценозах цей показник знижувався на 50 %, а на промзоні м. Нижньовартовськ – на 75 %.

Вміст каротиноїдів у *S. fragilis* та *S. alba* 'Vitellina pendula' вищий у рослин які зростають в урбоecosистемі м. Біла Церква і складають відповідно 0,28 мг/г і 0,51 мг/г.

Щодо співвідношення каротиноїдів і хлорофілу *b* – найвищі показники отримали зразки *S. alba* 'Vitellina pendula', відібрані з дерев на вул. Леваневського – 3,44 мг/г та зразки *P. italica*, зібрані з дерев у лісосмузі – 3,37 мг/г. Найнижчі показники у співвідношенні каротиноїдів і хлорофілу *b* отримали у зразків *S. fragilis*, зібраних у ярку – 3,01 мг/г та зразки *P. simonii* – відібрані з модельного дерева на біостаціонарі БНАУ. Щодо співвідношення каротиноїдів і хлорофілу *a* і *b*, то отримані нами показ-

Таблиця 1

Вміст фотосинтетичних пігментів, мг/г сирової речовини, та їх співвідношення в листках дорослих дерев *Salix* і *Populus* в межах м. Біла Церква та замиської зеленої зони

Походження	Вид	Місце розташування	Вміст		Співвідношення	
			хлорофілів (a+b) (Chl)	Каротиноїдів (Car)	a / b	Chl/Car
аборигенні	<i>S. fragilis</i>	1	1,50±0,04	0,35±0,02	3,23±0,05	4,31±0,36
		2	1,41±0,02*	0,32±0,01	3,21±0,08	4,46±0,22
	<i>S. alba</i> 'Vitellina pendula'	1	2,70±0,02	0,61±0,01	3,34±0,05	4,45±0,06
		2	2,59±0,01*	0,58±0,01*	3,36±0,01	4,50±0,02
	<i>P. nigra</i>	1	1,62±0,03	0,35±0,01	3,37±0,01	4,67±0,03
		2	1,46±0,01*	0,31±0,01*	3,39±0,04	4,77±0,09
інтродуковані	<i>P. italica</i>	1	2,07±0,05	0,46±0,01	3,33±0,05	4,56±0,02
		2	1,95±0,07	0,42±0,02*	3,35±0,05	4,66±0,08
	<i>P. simonii</i>	1	1,42±0,01	0,30±0,01	3,41±0,18	4,80±0,12
		2	1,53±0,01*	0,31±0,01	3,27±0,07	4,96±0,0*

Примітки: *S. fragilis*: 1 – фітомеліоративні насадження у ярку, 2 – просп. Князя Володимира, м. Біла Церква; *S. alba* 'Vitellina pendula': 1 – сквер біля літака, м. Біла Церква, 2 – вул. Леваневського, м. Біла Церква, *P. nigra*: 1 – лісосмуга за 2 км від міста, 2 – м. Біла Церква, вул. Леваневського; *P. italica* 1 – лісосмуга за 3 км від міста, 2 – м. Біла Церква, вул. Леваневського; *P. simonii*: 1 – Біостаціонар БНАУ, 2 – вул. Леваневського, м. Біла Церква. * – різниця з відповідним контролем істотна при $p \leq 0,05$

ники у всіх зразків суттєво не відрізняються і коливаються в межах 0,19–0,22 мг/г.

Головні висновки. Пігментний апарат листків досліджуваних дерев видів *Salix* і *Populus* характеризується мінливістю до факторів навколишнього середовища, що дозволяє їм швидко адаптуватися до різних природних і штучних екоотопів, в тому числі і до забруднених урбоєкосистем. В умовах урбоєкосистеми ми отримали вищий вміст хлорофілу у *S. fragilis*, *P. simonii* у рослин, що ростуть у більш забруднених екоотопах м. Біла Церква. Адаптаційні механізми включають зміни загального вмісту пігментів і їх кількісного співвідношення. Найвищий вміст хлорофілу *a* і *b* було

зафіксовано у зразків *P. italica*, *P. nigra* зібраних із модельних дерев у лісосмугах заміської зони м. Біла Церква. Натомість у зразків *S. fragilis*, *S. alba* 'Vitellina pendula', *P. simonii* вищий вміст хлорофілу *a* і *b* зафіксований у зразків зібраних на просп. Князя Володимира та вул. Леваневського, що свідчить про високий рівень життєвості і стійкості цих видів до аеротехногенного забруднення повітря автотранспортом в умовах м. Біла Церква.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані дані дослідження свідчать, що *P. italica*, *P. nigra*, *S. fragilis*, *P. simonii*, *S. alba* 'Vitellina pendula' можна рекомендувати в озеленення вулиць м. Біла Церква з інтенсивним рухом автотранспорту.

Література

1. Издон П.Ф. Лес и водные ресурсы. Москва : Лесн. пром-ть, 1980. С. 5–7.
2. Смирнов И.А. Широкая экологическая пластичность вида как показатель успешности интродукции. *Интродукция древесных растений и вопросы семеноводства в лесном хозяйстве*. Новосибирск : Наука, 1981. С. 126–38.
3. Шкапенко Т.Н., Гуревич А.С., Блузманас И.Э. Адаптивный потенциал таксонов рода *Salix* с различными типами естественных ареалов *Интродукция, акклиматизация и культивация растений*. Калининград : Изд-во Калининград. ун-та, 1998. 114 с.
4. Кузнецов В.В. Дмитриева, Г.А. Физиология растений : учебник для вузов. Москва : Высш. школа, 205. 736 с.
5. Драган Н.В. Біоекологічні особливості видів роду сосна (*Pinus* L.) в урбанізованому середовищі Правобережного Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2003. 24 с.
6. Фельдман Ю.Г. Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха. Москва : Медицина, 1975. 159 с.
7. Екологічний стан м. Біла Церква. URL: <http://bilatserkva.info/modules.php?name=Content&op=showpage&pid=164> (дата звернення: 20.09.2020).
8. Грабовська Т.О. Снігова індикація як показник забруднення навколишнього природного середовища м. Біла Церква викидами автотранспорту. *Питання біоіндикації та екології*. 2014. 19. 1. С. 49–62.
9. Сагдеева Т.Ю. Видовий склад і стан захисних насаджень вулиць промислово-транспортної зони Білої Церкви. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів. 2015. 25.6. С. 90–96.
10. Прокопьев Е.Н. Экология растений (особи, виды, экогруппы, жизненные формы. Томск : Томский гос. ун-т, 2001. 340 с.
11. Коссович Н.Л. Фотосинтез и дыхание некоторых ив. *Сборник статей, посвященный 75-летию В.Н. Сукачева*. Москва – Ленинград : Изд-во АН СССР, 1956. С. 321–329.
12. Соловьева О.С. Функциональные и физиологические особенности древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Йошкар-Олы) : автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Йошкар-Ола : Марийский государственный технический университет, 2003. 22 с.
13. Иванова Н.А., Косточенко Р.Н. Эколого-физиологические механизмы адаптации некоторых видов ив в различных условиях обитания на территории Среднего Приобья. Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2011. 163 с.
14. Maslova T.G., Popova I.A. Adaptive properties of the plant pigment systems. *Photosynthetica*. 1993. Vol. 29 (2). P. 195–203.
15. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. Москва : Академия, 2003. 256 с.
16. Цельникер Ю.Л., Малкина И.С. Хлорофильный индекс как показатель годичной аккумуляции углерода древостоя леса. *Физиология растений*. 1994. 41. 3. С. 322–330.
17. Никитина Н.Н. Водный режим луговых сообществ Пришимья. *Результаты научных исследований*. Ишим : Изд-во ИГПИ им. П.П. Ершова, 1998. С. 36.
18. Николаевский В.С., Васина И.В., Николаевская Н.Г. Влияние некоторых факторов городской среды на состояние древесных пород. *Лесной вестник*. 1998. № 2. С. 28–38.
19. Данильчук О.В. Стійкість видів і гібридів роду *Populus* L. до забруднення середовища важкими металами : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. Київ, 2013. 21 с.
20. Карасев В.И. Эколого-физиологическая диагностика хвойных пород разного состояния : дисс. ... д-ра биол. наук : 03.00.16. Йошкар-Ола, 2000. 326 с.
21. Іщук Л.П. Особливості використання видів і гібридів роду *Populus* L. у ландшафтах урбанізованого середовища. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Лісівництво та декоративне садівництво»*. Київ, 2016. Вип. 255, С. 107–120.
22. Іщук Л.П. Аналіз асортименту видів і гібридів роду *Populus* L. в м. Біла Церква. *Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах та дендропарках*: Київ : Фітосоціоцентр, 2015. С. 93–94.
23. Іщук Л.П. Оцінка стану тополевих насаджень на бульварі міста Біла Церква. *Перспективи розвитку лісового та садово-паркового господарства (з нагоди 80-ї річниці від Дня народження доктора с.-г. наук, професора П.І. Мороза)*. Умань, 2015. С. 99–103.
24. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution *Plant Physiol* 1994. 144. С. 307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2.