

ФЛУОРЕСЦЕНЦІЯ ХЛОРОФІЛУ ТА ЇЇ ІНДУКЦІЙНІ ЗМІНИ В ЛИСТКАХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УМОВАХ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТА ЛУЦЬКА

М. О. Шепелюк¹, С. Б. Ковалевський¹, О. І. Кутаєв²

¹НУ біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

²Інститут садівництва НААН України, м. Київ, Україна

На функціональний стан листків деревних рослин у міському середовищі впливає велика кількість різноманітних урбанізованих чинників. Одним з найпопулярніших методів діагностики впливу чинників довкілля, з метою оперативного оцінювання функціонального стану рослин, є метод індукції флуоресценції хлорофілу. Для об'єктів дослідження обрано дев'ять найпоширеніших видів деревних рослин у міському озелененні Луцька. Зразки листя відібрано із трьох складових частин міста, залежно від рівня трансформації екотопів. Вимірювання здійснено за допомогою портативного приладу "Флоратест". Під час аналізу кривих Каутського використано ряд основних показників ІФХ та коефіцієнтів, що дають змогу оцінити вплив факторів навколишнього середовища та видових особливостей на стан рослини. Вплив різних за інтенсивністю несприятливих техногенних факторів спричинив у дослідних видів різні за інтенсивністю і спрямованістю зміни ІФХ. Виявлено незначне погіршення функціонального стану листків деревних рослин транспортних шляхів, порівняно з рослинами зон житлових забудов та парків. Усі дослідні рослини вільні від вірусної інфекції.

Ключові слова: індукція флуоресценції хлорофілу, деревні рослини, фотосинтез, листки, функціональний стан, фізіологічні процеси.

Актуальність. На функціональний стан листків деревних рослин у міському середовищі впливає велика кількість різноманітних урбанізованих чинників. Внаслідок цього у рослин відбуваються адаптивні зміни, які супроводжуються певними морфологічними перебудовами асиміляційного апарату, а також зміщенням сезонних ритмів розвитку (Veselovskij, & Veselova, 1990).

Діагностика впливу чинників довкілля з метою оперативного оцінювання функціонального стану рослин потребує застосування експресних та інформативних методів, які дали б змогу проводити аналізи як у лабораторних, так і в польових умовах з мінімальним порушенням цілісності досліджуваних об'єктів. До таких методів належить метод індукції флуоресценції хлорофілу, що широко використовують у сучасних дослідженнях фотосинтетичних процесів (Vajron et al., 2000).

Флуоресценцію хлорофілу та її індукційні зміни досить легко реєструвати, що дало змогу створити портативні прилади для визначення функціонального стану рослин у польових умовах (Vojtovych et al., 2006; Vajron et al., 2000; Kytajev, Klochan, & Romanov, 2005). Відомо, що певні ділянки її кривої є індикаторами відповідних фізіологічних процесів у ланцюгу фотосинтезу. Порушення окремих його ланок, спричинені екзо- та ендогенними чинниками, проявляються у характерних змінах відповідних ділянок кривої ІФХ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом чутливі спектрально-флуоресцентні методи, ширше використовують для визначення впливу урбанізованих чинників довкілля на рослини, дають змогу проводити дослідження рослинних тканин і клітин не порушуючи їх цілісності та отримувати інформацію за невеликий проміжок часу на ранньому етапі змін функціонального стану (Mishchenko et al., 2003). Перспективним методом, що забезпечує виявлення змін у функціонуванні фотосинтетичного апарату рос-

лин під впливом абіотичних та біотичних факторів довкілля, зокрема перезволоження, посухи, низьких температур, загазованості повітря, забруднення важкими металами та інших чинників антропогенного навантаження, а також за дії бактеріальної або вірусної інфекції, – є метод фотоіндукції флуоресценції хлорофілу (метод Каутського). Перевагами цього методу є висока чутливість, експресність та можливість проводити діагностику вірусних захворювань у польових дослідженнях (Aratemenko et al., 2010).

Використовуючи метод ІФХ, у багатьох деревних рослин урбанізованого міського середовища охарактеризовано фотосинтетичний апарат рослин, завдяки його тісному зворотному зв'язку з інтенсивністю флуоресценції хлорофілу (Korneev, 2002; Kostenko, Kytajev, & Kovalevskij, 2014; Oleksijchenko et al., 2013).

Мета дослідження – здійснити порівняння функціонального стану пігментного комплексу листкового апарату найпоширеніших видів деревних рослин в озелененні Луцька за допомогою методу ІФХ.

Матеріали та методика дослідження. Оцінювання функціонального стану листків здійснювали портативним приладом "Флора-тест", який розроблено державним науково-інженерним центром мікроелектроніки Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова. Зразки листя відбирали із трьох різних за рівнем трансформації екотопів Луцька: "Паркова зона (П)" – незначний вплив техногенного забруднення; "Житлові масиви (Ж)" – задовільний рівень техногенного забруднення; "Транспортні шляхи (Т)" – високий рівень техногенного забруднення. Використовували по 5 листків від 3-5 дерев з кожного поданого екотопу. Адаптація листків до темряви тривала більше 30 хв. Параметри ІФХ вимірювали у середній частині листка, і впродовж 3 хв фіксували зміни флуоресценції хлорофілу. Оцінювання функціонального стану листків проводили за основними параметрами індукційної кривої окомір-

ним шляхом: F_0 – фоновий рівень флуоресценції на момент повного відкриття затвору; F_{pl} – рівень її на час досягнення тимчасового сповільнення зростання її сигналу, т. зв. "плато"; F_p – максимальне значення флуоресценції; F_t – стаціонарний рівень її через 3 хв після початку освітлення. Отримані дані з приладу передавали на ПК, де за інтерпретованими результатами вимірів у програмі Microsoft Office Excel побудували графіки індукції флуоресценції хлорофілу.

Після визначення основних параметрів здійснено розрахунки для характеристики перебігу фотосинтезу та загального стану рослини:

- наростання флуоресценції: $dF_{pl} = F_{pl} - F_0$;
- варіабельна флуоресценція: $F_v = F_p - F_0$;
- dF_{pl} / F_v – параметр, котрий за умов насиченого збуджувального випромінювання (400-600 Вт/м²) характеризує співвідношення частки реакційних центрів, які не відновлюють первинний акцептор реакційних центрів системи 2 Qb, з часткою активних хлорофілів, а в умовах нашого експерименту інтенсивність збуджувального випромінювання становить тільки 60-80 Вт/м², тому dF_{pl} / F_v визначає вплив екзогенних та ендогенних чинників на відносну кількість неактивних реакційних центрів;
- F_v / F_p – частка хлорофілів, що беруть участь у фотосинтезі, від загальної їх кількості (ефективність світло-

вої фази фотосинтезу), показник ефективності структурної організації пігментної системи (ФС2);

- $(F_p - F_t) / F_t$ – величина гасіння флуоресценції, на яку впливають як фотохімічні (фіксація CO₂), так і нефотохімічні процеси (теплова дисипація енергії збудженого стану молекул хлорофілу), – характеризує адаптивність рослин до умов середовища.

Результати дослідження та їх обговорення.

Внаслідок проведеного аналізу змін ІФХ визначено вплив умов місця зростання та генотипної специфічності на окремі показники ІФХ листків досліджуваних видів та коефіцієнти, що характеризують перебіг світлових фаз фотосинтезу й ефективність фотохімічних процесів для темнових фаз засвоєння енергії світла.

Так, показник F_0 – "фоновий" рівень флуоресценції, залежить від втрат енергії збудження під час міграції по пігментній матриці, а також від вмісту молекул хлорофілу, які не мають функціонального зв'язку з реакційними центрами. Його значення перебуває у межах від 340,0 відн. од. до 726,4 відн.од (табл.). Найнижчі значення зафіксовано у *Cotoneaster integerrimus* (Ж) – 340,0 відн. од. та *Spiraea x vanhouttei* (Т) – 342,4 відн. од. Максимальні значення отримано у зразків листя *Tilia cordata* – 726,4, *T. platyphyllos* – 665,6 відн.од та *Acer platanoides* "Globosum" – 697,6 відн. од. у паркових умовах.

Табл. Показники функціонального стану листків досліджуваних рослин, визначеного методом ІФХ

Екотоп	F_0	F_{pl}	dF_{pl}	F_p	F_v	dF_{pl}/F_v	F_v/F_p	F_t	$(F_p - F_t)/F_t$
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.									
Т	457,6	604,8	147,2	1660,8	1203,2	0,12	0,72	505,6	2,3
П	614,4	816,0	201,6	2278,4	1664,0	0,12	0,73	585,6	2,9
Ж	624,0	852,0	228,0	2432,0	1808,0	0,13	0,74	824,0	1,9
<i>Sorbus aucuparia</i> L.									
Т	408,0	720,0	312,0	1252,0	844,0	0,37	0,67	376,0	2,3
П	566,4	1094,4	528,0	2032,0	1465,6	0,36	0,72	492,8	3,1
Ж	624,0	976,0	352,0	2211,2	1587,2	0,22	0,72	684,4	2,2
<i>Sorbus intermedia</i> (Ehrh.) Pers.									
Т	592,0	992,0	400,0	1952,0	1360,0	0,29	0,70	592,0	2,3
П	627,2	1024,0	396,8	2070,4	1443,2	0,27	0,70	652,8	2,2
Ж	368,0	644,0	276,0	1708,0	1340,0	0,21	0,78	444,0	2,8
<i>Acer platanoides</i> L. 'Globosum'									
Т	563,2	745,6	182,4	1987,2	1424,0	0,13	0,72	768,0	1,6
П	697,6	860,8	163,2	2227,2	1529,6	0,11	0,69	848,0	1,6
Ж	496,0	656,0	160,0	1968,0	1472,0	0,11	0,75	656,0	2,0
<i>Acer pseudoplatanoides</i> L. 'Atropurpurea'									
Т	440,0	568,0	128,0	1660,0	1220,0	0,10	0,73	588,0	1,8
П	377,6	568,4	188,8	1404,8	1027,2	0,18	0,73	422,4	2,3
Ж	470,4	579,2	108,8	1907,2	1436,8	0,08	0,75	630,4	2,0
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.									
Т	448,0	601,6	153,6	1763,2	1315,2	0,12	0,75	566,4	2,1
П	665,6	1024,0	358,4	1920,0	1254,4	0,29	0,65	518,4	2,7
Ж	512,0	848,0	336,0	1728,0	1216,0	0,28	0,70	448,0	2,9
<i>Tilia cordata</i> Mill.									
Т	444,8	800,0	355,2	1462,4	1017,6	0,35	0,70	416,0	2,5
П	726,4	1084,8	358,4	2035,2	1308,8	0,27	0,64	441,6	3,6
Ж	436,0	860,0	424,0	1712,0	1276,0	0,33	0,75	416,0	3,1
<i>Spiraea x vanhouttei</i> (Briot) Zab.									
Т	342,4	454,4	112,0	1283,2	940,8	0,12	0,73	390,4	2,3
П	553,6	691,2	137,6	2131,2	1577,6	0,09	0,74	611,2	2,5
Ж	464,0	576,0	112,0	1680,0	1216,0	0,09	0,72	472,0	2,6
<i>Cotoneaster integerrimus</i> Medik.									
Т	486,4	844,8	358,4	1443,2	956,8	0,37	0,66	384,0	2,8
П	576,0	848,0	272,0	2000,0	1424,0	0,19	0,71	544,0	2,7
Ж	340,0	572,0	232,0	1552,0	1212,0	0,19	0,78	392,0	3,0

Цей факт може бути зумовленим структурною зміною пігментного комплексу, що спрямована на ефективніше засвоєння сонячної енергії у зв'язку із впливом місць зростання, а саме умови освітлення рослин в зонах відбору листків. Тобто зафіксовано закономірність, що у паркових умовах та житлових масивах рівень флуоресценції листків рослин одного деревного виду вищий, ніж у рослин транспортних шляхів, у зв'язку зі світловим режимом наведених зон. Так, зі збільшенням кількості антенних хлорофілів підвищується початковий рівень флуоресценції і навпаки.

Параметр F_p характеризує найвищий рівень флуоресценції, тобто це максимальне значення на індукційній кривій. Йому властивий найбільш варіабельний характер, що характеризується адаптивними змінами. У структурі пігментного комплексу досліджуваних видів деревних рослин знаходиться у межах 1252,0–2278,4 відн. од. Найменші показники виявлено у *Sorbus aucuparia* (1252,0) та *Spiraea × vanhouttei* (1283,2) у зоні транспортних шляхів. Найбільше значення – у *Aesculus hippocastanum* "П" – 2278,4 відн. од. може бути спричинене збільшенням кількості як світлозбиральних, так і антенних хлорофілів.

Наростання флуоресценції від F_o до F_{pl} характеризується показником dF_{pl} і в нашому випадку він знаходиться в межах від 112,0 до 528,0 відн. од.

Вважають, що за умов насичення за інтенсивністю збуджувального світла співвідношення dF_{pl}/F_v характеризує частку QA не відновлюваних реакційних центрів. За даними вірусолога М. М. Кирик із співавторами, перевищення рівня dF_{pl}/F_v більше 0,4 за інтенсивності збуджувального світла, що не насичують за енергією пігментну матрицю, свідчить про високий рівень вірогідності ураження рослин вірусною інфекцією (Кугук et al., 2011). У нашому експерименті цей коефіцієнт знаходиться в межах 0,09-0,37, тому можемо стверджувати про неінфікованість досліджуваних зразків. Проте варто зазначити, що максимальні показники 0,35 (*Tilia cordata*) та 0,37 (*Cotoneaster integerrimus*) отримані саме у зоні транспортних шляхів, що свідчить про вплив техногенних факторів на фізіологічний стан рослин.

Показник F_v/F_p характеризує ефективність світлової фази фотосинтезу та водночас є найбільш інтегрованим показником. Для використаного приладу оптимальне його значення дорівнює 0,70. Такий рівень характерний для листків рослин, що перебувають у доброду фізіологічному стані. Результати вимірювань, наведені в табл., дають підстави стверджувати про нормальні показники ефективності світлової фази фотосинтезу для переважної більшості експериментальних видів у різних умовах, адже вони змінюються в межах 0,66-0,78, що є достатнім для забезпечення функціонування пігментного комплексу ФС2 та свідчить про пластичність структурних змін в організації пігментного комплексу хлоропластів. У *Tilia cordata* та *T. Platyphyllos* встановлено найнижчі показники 0,64 та 0,65 відповідно, такі результати можуть бути у зв'язку з перебуванням дослідних екземплярів у граничному віці.

Ще одним показником, важливим для оцінювання функціонального стану листків, є коефіцієнт ефективності темнових фотохімічних процесів – $(F_p - F_i)/F_i$. У досліджених рослин він змінюється в межах 1,6-3,6: найнижчу ефективність фотохімічних процесів зафіксовано у *Acer platanoides 'Globosum'* (Т, П), а найвищу ефективність відзначено у *Tilia cordata* – 3,6 (П).

Невелику різницю у показниках кривих індукцій флуоресценції хлорофілу між рівнями трансформації екотопів можна пояснити тим що експериментальне листя відбирали із середини крони та перебувало у здоровому стані. Варто зазначити, що параметри ІФХ вимірювали у середній частині листка, яка сильно не піддається впливу порівняно з його краєм. Проте навіть такі моменти дають змогу об'єктивно стверджувати про кращий функціональний стан рослин паркової зони, порівняно з техногенно забрудненими житловими масивами та транспортними шляхами.

Для прикладу, проведено вимірювання ІФХ на здорових листках *Aesculus hippocastanum* L. та листках, уражених мінуючою міллю (*Cameraria ohridella*) (рис. 1).

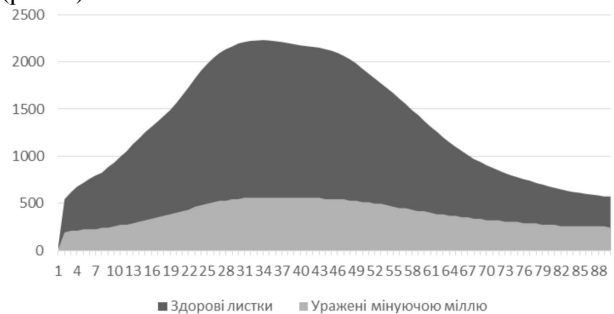


Рис. 1. Крива ІФХ листків *Aesculus hippocastanum* L.

Результати свідчать, що в листках, уражених міллю, не тільки зменшується інтенсивність флуоресценції, що вказує на зменшення кількості хлорофілів, які не беруть участь у фотосинтетичному переносі енергії на реакційні центри в ушкоджених листках, а й практично зникають індукційні зміни, що вказують на гальмування фотохімічних процесів, а саме переносу енергії на реакційні центри, відтоку ферментів циклу Кальвіна тощо.

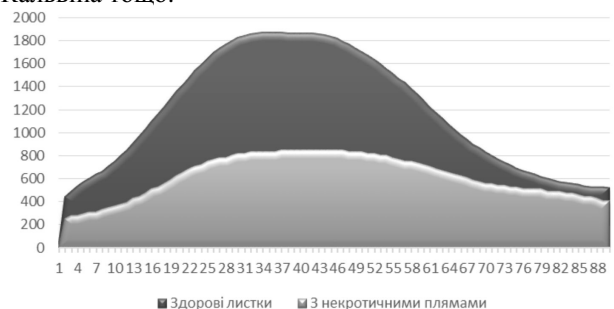


Рис. 2. Крива ІФХ листків *Acer pseudoplatanoides* L. 'Atropurpurea'

Отже, як видно з рис. 1 та 2, зафіксовано досить різні за інтенсивністю і спрямованістю зміни індукції флуоресценції хлорофілу у здорових листках, порівняно з ураженими та пошкодженими як хворобами, так і шкідниками.

Висновки. Аналіз отриманих даних свідчить про високу чутливість параметрів індукції флуоресценції

хлорофілу від ушкоджень та уражень шкідниками та хворобами, несприятливих техногенних факторів умов місця зростання та генотипових особливостей досліджених видів.

Встановлено високу пластичність структурної організації хлоропластів листків найпоширеніших деревних видів в умовах Луцька, що характеризується параметрами *Fo*, *Fp*, *Fv/Fp*. Згідно з коефіцієнтом *dFp/Fv* можемо стверджувати, що всі дослідні рослини вільні від вірусної інфекції. Результати отриманих коефіцієнтів ефективності темнових фотохімічних процесів (*Fp-Ft*)/*Ft* свідчать про кращий фізіологічний стан дослідних видів паркової зони. Серед видового різноманіття варто виокремити *Spiraea x vanhouttei* (Briot) Zab., *Acer pseudoplatanoides* L. 'Atropurpurea' та *Acer platanoides* L. 'Globosum', що показали найбільш якісні показники не залежно від рівня трансформації екотопів.

Перелік використаних джерел

- Aratemenko, D. M., Vasjuta, S. O., Vojnovych, I. D., Kytajev, O. I., Klochan, P. S., Kolesnyk, Yu. S., Mishhenko, L. T., Romanov, V. O., Skrzjaga, V. A., Taranuho, Yu. M., & Fedak, V. S. (2010). Pat. 91452 Ukraina, MPK (2009) G 01 N 21/64, A 01 G 7/00/ *Sposib vyjavlenija virusnyh urazhen roslin; zajavnyk i patentovlasnyk In-t kibernetiky im. V. M. Glushkova NAN Ukrainy*. Opubl. 26.07.2010, *Bjul.* 14, 1–10, 5–6, pp. 107–112.
- Bajron, O. V., Kornjejev, D. Yu., Snjegur, O. O., & Kytajev, O. I. (2000). *Instrumentalne vyvchennja fotosyntetychnogo aparatu za dopomogou indukcii fluorescencii hlorofilu: metodychni vkazivky dlja studentiv biologichnogo fakultetu*. KNU im. Tarasa Shevchenka; uklad. Kyiv: Kyivskij universytet.
- Korneev, D. Yu. (2002). *Informacionnye vozmozhnosti metoda indukcii fluorescencii hlorofilla*. Kyiv: Alterpres, p. 250.
- Kostenko, S. M., Kytajev, O. I., & Kovalevskij, S. B. (2014). Induction of Chlorophyll Fluorescence of the Genus *Philadelphus* L. Leaves in Kyiv. *Scientific Bulletin of UNFU*, 24(4), pp. 209–213. Retrived from: http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2014/24_4/209_Kost.pdf
- Kyryk, M. M., Taranuho, Yu. M., Taranuho, M. P. et al. (2011). Diagnostyka virusnoi infekcii smorodyny chornoj ta malyny metodom indukcii fluoroscencii hlorofilu lystkiv. *Visnyk agrarnoi nauky: zb. nauk. prac*, 10, pp. 26–28.
- Kytajev, O., Klochan, P., & Romanov, V. (2005). Portatyvnyj hronofluorometr dlja ekspres-diagnostyky fotosyntezy "Floratest". *Zb. dop. konf. Zvitu z kompleksnoi programy fundamentalnyh doslidzhen NAN Ukrainy u galuzi sensoryh system ta tehnologij*. Kyiv, 2–3 ljutogo.
- Mishchenko, L. T., Kitaev, O. I., Mishchenko, I. A., & Yanishevskaja, G. S. (2003). Clinostation influence on microspectral parameters of fluorescence in Healthy and virus infected Apogee wheat variety leaves. *J. Gravitational Physiology*, 10(1), pp. 31–32.
- Oleksijchenko, N. O., Kytajev, O. I., Sovakova, M. A., Sovakov, O. V., & Borshhevskij, M. O. (2013). Osoblyvosti indukcii fluorescencii hlorofilu v lystkah derevnyh roslin v umovah urbanizovanogo seredovyscha. *NUBiP Ukrainy*, 5(5/6), pp. 107–112.
- Veselovskij, V. A., & Veselova, T. I. (1990). *Ljuminescencija rastenij. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty*. – Moscow: Nauka, p. 200.
- Vojtovych, I. D., Kytajev, O. I., Klochan, P. S. et al. (2006). Prystrij dlja vyznachennja stanu natyvnoho hlorofilu. *Deklaracijnyj patent na korysnu model*. Ukraina (19) (UA)(11) 12382 (51) MPK (2006) G09B 23/28 (2006.01) G01N 21/64. *Bjul.* № 2, vid 15.02.2006, pp. 1–6.

М. А. Шепелюк, С. Б. Ковалевский, А. И. Кутаев

ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА И ЕЕ ИНДУКЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ ГОРОДА ЛУЦКА

На функциональное состояние листьев древесных растений в городской среде влияет большое количество разнообразных урбанизированных факторов. Одним из самых популярных методов диагностики воздействия факторов окружающей среды, с целью оперативной оценки функционального состояния растений, является метод индукции флуоресценции хлорофилла. Для объектов исследования выбраны девять наиболее распространенных видов древесных растений в городском озеленении Луцка. Образцы листьев отобраны из трех частей города, в зависимости от уровня трансформации экотопа. Измерения осуществляли с помощью портативного прибора "Флоратест". При анализе кривых Каутского использовано ряд основных показателей ИФХ и коэффициентов, дающих возможность оценить влияние факторов окружающей среды и видовых особенностей на состояние растения. Влияние разных по интенсивности неблагоприятных техногенных факторов вызвал в исследуемых видах разные по интенсивности и направленности изменения ИФХ. Зафиксировано незначительное ухудшение функционального состояния листьев древесных растений транспортных путей по сравнению с растениями зон жилых застроек и парков. Все опытные растения свободны от вирусной инфекции.

Ключевые слова: индукция флуоресценции хлорофилла, древесные растения, фотосинтез, листья, функциональное состояние, физиологические процессы.

М. О. Shepelyuk, S. B. Kovalevskij, O. I. Kytajev

CHLOROPHYLL FLUORESCENCE AND ITS INDUCTION CHANGES IN THE LEAVES OF WOODY PLANTS IN THE CONDITIONS OF URBAN ENVIRONMENT OF LUTSK

The functional status of woody plants leaves in an urban environment is affected by a large variety of urban factors. One of the most popular diagnosis methods of environmental factors influence, for the purpose of rapid assessment of the functional state of plants, is the method of chlorophyll fluorescence induction. As objects of research we have selected the nine most common species of woody plants in urban landscaping of Lutsk. The samples of leaves were collected from three parts of the city depending on the level of transformation ecotypes. The assessment of leaves' functional status was carried by a portable device "Flora-test" developed by V.N. Glushkov State Scientific and Engineering Center of Microelectronics Institute of Cybernetics. The samples of leaves were collected from three parts of Lutsk city depending on the level of transformation ecotypes. Many woody plants of urban city environment are characterized using the method of IFH by photosynthetic apparatus of plants, due to its close feedback with the intensity of chlorophyll fluorescence. According to the survey results it is clear that the performance of the functional state of investigated leaves of plants in the park environment is higher than in researched plants situated at the areas of transport routes and residential develop-

ments. In addition, data analysis shows the dependence of performance on chlorophyll fluorescence induction curves from injuries and lesions in experimental samples. When analyzing the curves Kautsky had identified a number of IFH key indicators and ratios that allow evaluating the impact of environmental factors and specific features on the condition of the plant. The effect of different intensity of adverse anthropogenic factors caused the different for intensity and direction changes IFH depending on the type of research. The study revealed a slight worsening of leaves functional status of woody plants at transport routes compared with the plants of residential development zones and parks. To summarize, all test plants are revealed to be free from virus infection. The analysis shows that the obtained chlorophyll fluorescence induction ratios $(F_p - F_t) / F_p$ indicates normal physiological state of research types regardless of transformation ecotypes.

Keywords: induction of chlorophyll fluorescence; woody plants; photosynthesis; leaves; functional status; physiological processes.

Інформація про авторів:

М. О. Шепелюк, аспірант, НУ біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна.

E-mail: shepelyk.maria@gmail.com

С. Б. Ковалевський, д-р с.-г. наук, професор, НУ біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна.

E-mail: s.kovalevsky@ukr.net

О. І. Китаєв, канд. біол. наук, пров. співробітник, Інститут садівництва НААН України, м. Київ, Україна.

E-mail: oleg_kitayev@mail.ru