

**Станковскі С.<sup>1</sup>, Сьнег К.<sup>1</sup>, Башуцька У.Б.<sup>2</sup> Вплив попелу з біомаси на початковий ріст окремих видів зернових культур**

Шляхом лабораторного експерименту досліджено ефект від впливу водної суспензії леткого попелу з біомаси (0, 2, 4, 6 %) на сянці трьох видів ярих зернових культур (пшениці, ячменю та вівса). Застосування попелу як удобрювального компонента підвищило інтенсивність росту сянців злаків. Оптимальною виявилась доза 2-4 % леткого попелу у водній суспензії. Негативного ефекту в ході ряду експериментальних застосувань не виявлено.

**Ключові слова:** попіл з біомаси, інтенсивність росту, ярі зернові культури.

**Stankowski S.<sup>1</sup>, Śnieg K.<sup>1</sup>, Bashutska U.B.<sup>2</sup> Effect of biomass ash on primary plant growth of some spring cereal species**

In the laboratory experiment the effect of water suspension of fly ash from biomass (0, 2, 4, 6 %) on seedling of 3 spring cereals (wheat, barley and oat) was investigated. Application of ash as a source of fertilizing components caused more intensive growth of cereal seedlings. Optimal dose was 2-4 % in water suspension. There was no negative effect in the range used in the experiment.

УДК 557.4:556.(234.421.) **Доц. В.І. Мокрий, канд. фіз.-мат. наук; зав. лаб. М.М. Паславський; асист. Л.В. Калагурка – НЛТУ України, м. Львів**

**БІОФІЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЕКОСИСТЕМ ШАЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ**

Подано математичну інтерпретацію даних експрес-діагностики морфологічних показників дерев берези бородавчастої як необхідну умову якісного оцінювання біопродуктивності насаджень Шацького Національного природного парку (НПП). Розроблено комплексне забезпечення флуориметричного експрес-методу і створено технічні пристрої для діагностики стану фотосинтетичного апарату вищих рослин у природних умовах у режимі реального часу.

**Ключові слова:** біопродуктивність, береза бородавчаста, дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), геоінформаційні системи (ГІС), флуоресценція хлорофілу, Шацький НПП.

Біопродуктивність насаджень Шацького НПП, залежно від конкретики і типу задач, характеризується лісотаксацийними параметрами, а також морфологічними – активністю фотосинтетичного апарату, вмістом пігментів, швидкістю газообміну CO<sub>2</sub> або O<sub>2</sub> та ін. Дослідження виконано з метою математичної інтерпретації даних експрес-діагностики морфологічних показників рослин біогеоценозів, вимірних флуоресцентним методом, необхідних для якісного оцінювання біопродуктивності насаджень Шацького НПП.

Методика досліджень передбачає польові рекогносцирувальні обстеження територій Шацького НПП, відбір зразків, лабораторні вимірювання морфологічних параметрів рослин та формування бази даних, з використанням технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС). За об'єкт моніторингових досліджень вибрано одну з основних лісотвірних порід лісонасаджень Шацького НПП – березу бородав-

часту для визначення та порівняння індексу життєвості в різних типах лісорослинних умов.

Активність фотосинтетичного апарату рослин досліджено методом фотоіндукованої флуоресценції хлорофілу (ФХ) [1]. Математичні моделі графіків кінетики ФХ виконано в Excel, з використанням програми "Graph2Digit". Кількісне визначення пігментів проведено спектрофотометричним методом. Результати відпрацювання полягають у продовженні попередніх [2] завірково-калібрувальних робіт в конкретних лісорослинних умовах Шацького НПП до оптико-спектральних характеристик опрацьованих космознімків [3], їх кореляції з морфологічними параметрами рослин та розв'язку практичних задач моніторингу на основі реальних біофізичних параметрів фотосинтезуючих об'єктів.

Внаслідок впливів природних та антропогенних факторів, зокрема і стресового характеру, змінюються стан фотосинтетичного апарату, продуктивність фотосинтезу, а отже і продуктивність всієї лісової екосистеми. Джерелом необхідної інформації служить хлорофіл, локалізований у фотосинтетичних мембранах, який має певні спектральні властивості, зміни яких за різних впливів можна реєструвати в режимі реального часу. Саме це і дає необхідну інформацію для експрес-діагностики стану рослин.

Результати вимірювань кількісного вмісту пігментів однієї з основних листяних порід лісонасаджень Шацького НПП – берези бородавчастої, залежно від типу умов місцезростання, отримані за трьома повторними відборами, представлено у табл. 1. Зразки відібрані з території Шацької експериментальної бази Фізико-механічного інституту ім Г.В. Карпенка, а також з прибережних територій о. Пісочне – території лісоекологічного стаціонару НЛТУ України та санаторію "Лісова пісня", які характеризуються активним рекреаційним навантаженням в різних типах умов місцезростання – V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>-D<sub>4</sub>.

**Табл. 1. Концентрація (С) пігментів (хлорофіл "а", "b", каротиноїдів "с") в листі берези бородавчастої (Шацький НПП) в різних лісорослинних умовах, мг/л сирової речовини**

Тип умов місцезростання	C'a", (мг/л)	C'b", (мг/л)	C'c", (мг/л)
V <sub>2</sub>	20,94177	20,87813	3,53821
C <sub>2</sub>	7,26284	3,4908	0,22924

Зміни в пігментному комплексі відображають адаптованість фізіологічних функцій рослин до різних екологічних умов і є основною причиною інактивації фотосинтезу. Отримані дані змін пігментного комплексу в досліджуваних деревних породах підтверджують чутливість цієї системи до впливу екологічних факторів.

Вивчення фундаментальних механізмів флуоресценції [4, 5] та з'ясування їх взаємозв'язку з функціонуванням ЕТЛ і пов'язаними з ним процесами, є основою для використання параметрів флуоресценції у вирішенні прикладних завдань, що потребують отримання характеристики фізіологічного стану рослини. Застосування техніки з високим часовим розділенням, дає змогу проаналізувати кінетики наростання та спаду флуоресценції. Наростан-

<sup>1</sup> Західнопоморський технологічний університет, Щецин, Польща (West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland);

<sup>2</sup> НЛТУ України, м. Львів (Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine)

ня змінної флуоресценції від рівня  $F_{const}$  до  $F_{max}$  має три фази. Початкова, швидка фаза підйому протікає за 1 мс. Більш повільні фази – за час порядку 30 і 300 мс відповідно. Є підстави вважати, що повільна фаза пов'язана з відновленням  $Q_A$  у ФС  $2\beta$ -центрах, які характеризуються малим розміром світлозбираючої антени.

На сьогодні обґрунтовано застосування показника ефективності запанання енергії електронного збудження в реакційних центрах (РЦ). Цей параметр визначається шляхом порівняння величин інтенсивності флуоресценції ( $F_{const}$ ) за активного стану ЕТЛ, коли всі реакційні центри відкриті, і максимальної інтенсивності флуоресценції ( $F_{max}$ ) при закритих реакційних центрах.

Закриття центрів спричиняється, зазвичай, потужним насичуючим спалахом світла, за якого відновлюються хінонні акцептори, а центри переходять в закритий стан, де рівень флуоресценції максимальний ( $F_{max}$ ). Різниця величин  $F_v = F_{max} - F_{const}$  називається змінною флуоресценцією, а відношення  $F_{max} - F_{const} / F_{max} = F_v / F_{max}$  дорівнює ефективності використання енергії світла в реакційних центрах, або ефективності фотохімічного гасіння флуоресценції. Ця величина ( $F_v / F_{max}$ ), визначена в адаптованих до темряви або слабкого освітлення клітинах, дає інформацію про максимальну потенційну активність первинних процесів фотосинтезу.

В адаптованих до темряви листках усі центри фотохімічно активні і флуоресценція відповідає  $F_{const}$ . Під час висвітлення їх насичуючим спалахом флуоресценція стає максимальною ( $F_{max}$ ) і швидко релаксує в темноті до вихідного рівня. Величина відношення  $F_v / F_{const}$  корелює з квантовим виходом фотосинтезу, що дає змогу використовувати цей параметр для характеристики процесів фотосинтезу на непорушених фотосинтезуючих об'єктах.

На підставі експериментально вимірених кінетичних кривих (рис. 1), виконано математичне моделювання кінетики змінної ФХ на всіх послідовних етапах квантового виходу флуоресценції для фотосинтетичного апарату берези бородавчатої, який нормально функціонує.

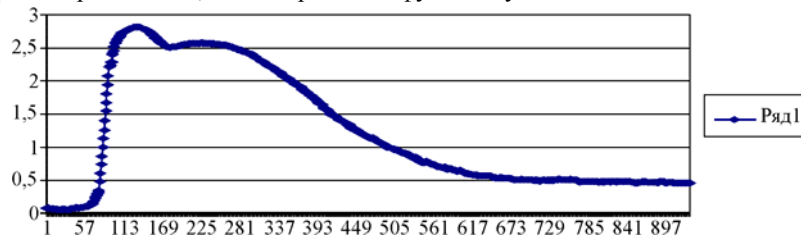


Рис. 1. Кінетика фотопроіндукованої флуоресценції хлорофілу листків берези бородавчатої (Шацький НПП)

Для прикладу, на рис. 2 показано експериментальну (ряд 1) і змодельовану (поліноміальну) кінетичні криві флуоресценції хлорофілу листків дуба звичайного на початковій стадії випромінювання.

У табл. 2. узагальнено і побудовано гомологічний ряд інтерпретації отриманих експериментальних результатів, на основі сучасних уявлень про біофізичні механізми повільної індукції флуоресценції фотосинтезуючих

об'єктів. Згідно з [1], за характером спаду квантового виходу ФХ можна оцінити функціонування фотосинтетичного апарату шляхом визначення індексу життєвості ( $R_{fd}$ ). Цей параметр фотосинтетичної активності визначаємо співвідношенням:

$$R_{fd} = \frac{F_v}{F_{const}} \quad (1)$$

де  $F_v = F_{max} - F_{const}$  – зниження флуоресценції хлорофілу від максимального значення до стаціонарного рівня, внаслідок активації ферментів вуглецевого циклу фотосинтезу.

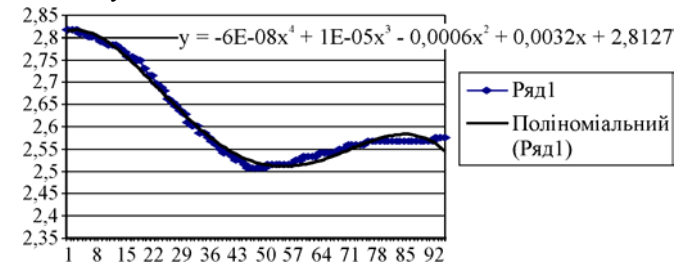


Рис. 2. Кінетика (ряд 1) і поліноміальна функція фотопроіндукованої флуоресценції хлорофілу листків берези бородавчатої на перехідній ділянці між першим і другим максимумом інтенсивності випромінювання

На підставі порівняльних вимірювань кінетики ФХ *in vivo* визначено індекс життєвості берези бородавчатої –  $R_{fd} = 3$ , для умов  $B_2$ . Отримані параметри доцільно використати під час подальших моніторингових досліджень впливу екологічних загроз на природоохоронні території Шацького НПП. Максимальне значення  $R_{fd}$  свідчить про оптимальні умови місцезростання. Із збільшенням напруженості екологічного фактора середовища, фіксується зменшення значень  $R_{fd}$ , що відображає зниження потенційної активності фотосинтетичного апарату рослин.

Табл. 2. Відповідність послідовних етапів квантового виходу флуоресценції математичним функціям фотосинтетичного апарату берези бородавчатої (Шацький НПП), який нормально функціонує (умови  $B_2$ )

№	Етапи кінетики змінної ФХ	Математична функція
1	Максимум випромінювання	$y = 9E-07x^3 - 0,0003x^2 + 0,0156x + 2,5987$
2	Перехідна ділянка між першим і другим максимумом інтенсивності випромінювання	$y = -6E-08x^4 + 1E-05x^3 - 0,0006x^2 + 0,0032x + 2,8127$
3	Другий максимум інтенсивності випромінювання	$y = -5E-08x^3 - 3E-05x^2 + 0,0028x + 2,4994$
4	Перехідна ділянка від монотонного спаду до стаціонарного рівня випромінювання	$y = 8E-06x^2 - 0,0089x + 2,853$

Розроблено комплексне забезпечення флуориметричного експрес-методу і створено технічні пристрої застосовані для діагностики стану фотосин-

тетичного апарату вищих рослин у природних умовах. У режимі реального часу ці методи дають інформацію про стан фотосинтетичного апарату, ефективності фотосинтезу, а також добову і сезонну динаміку цих характеристик, які є екологічно-емісійними біофізичними сенсорами стану природного середовища. Вони дасть змогу детектувати наявність пошкоджень рослин під час дії антропогенних впливів, підвищених інтенсивностей соляної і УФ-радіації, дефіциту елементів мінерального живлення, температури, зміни гідрологічного режиму та інших природних та антропогенних факторів задовго до того, як вони проявляться у зовнішніх ознаках рослини, зокрема зменшення чисельності клітин, або в зміні просторово-структурних геоботанічних параметрів фітоценозів. У цьому полягає одна з головних переваг застосування експрес-методів в екологічному моніторингу.

Представлена методологія і комплексне використання флуориметричної апаратури дають нову інформацію про просторово-часові мінливості фітоценозу і можуть також служити важливою екологічно-інформаційною складовою частиною загальної системи екологічного моніторингу стану лісових екосистем. Особливо варто відзначити величезні перспективи використання даних флуориметричного аналізу фітоценозу локальних екосистем (як опорних точок), у поєднанні з супутниковою оптико-спектральною інформацією про кольориметричні характеристики рослинних угруповань, для інформаційного забезпечення управління станом екосистем Шацького НПП [6] та збереження видового біорізноманіття.

### Література

1. Капустяник В.Б. Прикладна спектроскопія : навч. посібн. / В.Б. Капустяник, В.І. Мокрий. – Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. – 302 с.
2. Кучерявий В.П. Оптико-спектральні методи експрес-діагностики рослин Шацького національного природного парку / В.П. Кучерявий, В.І. Мокрий, Н.А. Піць // Науковий вісник Волинського національного університету ім. Лесі Українки, присвячений 25-річчю Шацького НПП. – Луцьк : РВВ "Вежа" ВНУ ім. Лесі Українки. – 2009. – № 1, (247 с.). – № 2. – С. 58-63.
3. Мокрий В.І. Ідентифікація лісорослинних умов росту сосни звичайної на основі аналізу космознімків / В.І. Мокрий, Я.В. Генік, А.П. Дида, О.В. Альохіна, Н.А. Піць, Р.Ф. Федорів // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во НЛТУ України. – 2006. – Вип. 32. – С. 44-47.
4. Рубин А.Б. Биофизика фотосинтеза и методы экологического мониторинга / А.Б. Рубин // Технология живых систем. – 2005. – Т. 2. – С. 47-68.
5. Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии / Г.Ю. Ризниченко. – М.-Ижевск : Изд-во "Регулярная и хаотическая динамика", 2002. – 232 с.
6. Красовський Г.Я., Мокрий В.І. Актуальність інформаційно-технічного забезпечення управління Шацьким національним природним парком // Екологія і ресурси : зб. наук. праць Ін-ту проблем національної безпеки. – К. : Вид-во ІПНБ, 2006. – № 13. – С. 101-111.

### **Мокрий В.І., Паславский Н.Н., Калагурка Л.В. Биофизический мониторинг экосистем Шацкого Национального природного парка**

Представлена математическая интерпретация данных экспрес-диагностики морфофизиологических показателей деревьев березы бородавчатой как необходимое условие качественной оценки биопроductивности насаждений Шацкого НПП.

Разработано комплексное обеспечение флуориметрического экспрес-метода и созданы технические устройства для диагностики состояния фотосинтетического аппарата высших растений в природных условиях в режиме реального времени.

**Ключевые слова:** биопроductивность, береза бородавчатая, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), геоинформационные системы (ГИС), флуоресценция хлорофилла, Шацкий НПП.

### **Mokryi V.I., Paslavskiy M.M., Kalagurka L.V. Biophysical monitoring of ecosystem of Shatsky's National natural park**

This paper presents a mathematical interpretation of data for rapid diagnosis morphophysiological indicators birch trees as a necessary condition for qualitative assessment of biological productivity of plantations Shatsky's NNP. A comprehensive security fluorometric rapid methods and technical devices designed to diagnose the state of the photosynthetic apparatus of higher plants in vivo in real time.

**Keywords:** biological productivity, birch, remote sensing (RS), geographic information systems (GIS), chlorophyll fluorescence, Shatsky NNP.

УДК 574.4:504.054

Наук. співроб. М.П. Кейван; ст. наук. співроб.

О.В. Тертична, канд. біол. наук; наук. співроб. О.П. Кейван, канд. біол. наук – Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ

### **ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН-БІОІНДИКАТОРІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В ЗОНІ РОЗТАШУВАННЯ ПТАХОФАБРИКИ**

Досліджено стан атмосферного повітря в зоні впливу птахофабрики за тестом "Стерильність пилку рослин". Показано, що в умовах забруднення атмосферного повітря спостерігається зниження фертильності, збільшення кількості стерильних пилкових зерен рослин-біоіндикаторів. Показано, що ступінь ураження біологічних систем поступово зменшується в міру віддалення від птахофабрики.

**Ключові слова:** біоіндикатори, стерильність пилкових зерен, фертильність пилкових зерен, птахофабрика.

Зелені насадження відіграють важливу роль у формуванні сприятливого екологічного стану довкола сільськогосподарських підприємств. У цих умовах вирішальне значення має наукове обґрунтування та організація моніторингу стану навколишнього природного середовища, які охоплюють, з одного боку, спостереження за джерелами і факторами антропогенної дії, з іншого – за станом усіх елементів біосфери. У зв'язку із забрудненням навколишнього середовища шкідливими речовинами, зокрема і тими, що мають мутагенні властивості (мутагени), та впливом несприятливої екологічної ситуації, нарізла необхідність для дослідження стану об'єктів довкілля за показниками ушкодження рослин-біоіндикаторів.

**Мета роботи** полягає в оцінюванні забруднення санітарно-захисної зони птахофабрики за показниками ушкодження рослин-біоіндикаторів.

**Матеріали і методика досліджень.** Дослідження проводили в зоні впливу птахівничого підприємства, що розташоване в Київській обл., в зоні Центрального Лісостепу. Для визначення загальної токсичності або потенційної мутагенності повітряного басейну застосовували метод цитогенетичного біотестування – тест "Стерильність пилку індикаторних рослин" [1].

Відбір квітів рослин-біоіндикаторів здійснювали одночасно на території санітарно-захисної зони птахівничого підприємства та на території контролю в червні – липні. Контролем було обрано ділянку з ідентичними геок-