

ГАМЕТОЦИДНІСТЬ СЕРЕДОВИЩА У ЗОНАХ ТЕХНОГЕНЕЗУ ЯК МАРКЕР МУТАГЕННОЇ НАПРУГИ: МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ (НА ПРИКЛАДІ ПРАТ «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКЦЕМЕНТ»)

Кімакович В.Є., Мельниченко Г.М.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Галицька 201, 76018, м. Івано-Франківськ
kimakovic@i.ua, halyna.melnichenko@pnu.edu.ua

У статті представлено методичні підходи до оцінки мутагенної напруги середовища у зонах техногенезу через дослідження змін морфо-функціональних параметрів пилку деревних рослин за сукупної дії факторів у зонах впливу промислових підприємств (на прикладі 10-кілометрового околу впливу ПрАТ «Івано-Франківськцемент»). Здійснено порівняльний аналіз чутливості раніше застосованих авторами тестів на чоловічому гаметофіті: йодного експрес-методу визначення стерильності пилку, методу пророщення пилку на агаризованому середовищі у факторостатичних умовах, тесту на морфологічну різноманітність пилку. Показано доцільність поєднання застосованих методик та їх уніфікації для підвищення об'єктивності біоіндикаційних досліджень та оцінки токсико-мутагенного фону техногенно змінених територій. Проаналізовано просторові закономірності і вплив аеродинамічних характеристик атмосфери на динаміку поширення крупно- і дрібнодисперсної фракції цементного пилу у зоні впливу ПрАТ «Івано-Франківськцемент» та його здатність до накопичення на листових пластинках деревних рослин-індикаторів. Здійснено оцінку гаметоцидності комплексу факторів середовища на деревні рослини на різних відстанях від джерела емісії. За реакцією чоловічого гаметофіту побудовано ряд чутливості деревних рослин-індикаторів до впливу сукупності умов середовища. Експериментально доведено максимальну чутливість пилку *Populus pyramidalis* Roz. і резистентність *Salix caprea* L. до впливу цементного пилу. Дано оцінку потенційних генетичних ризиків для біоти на досліджуваній території та проведено її градацію за рівнем токсико-мутагенної напруги середовища за інтегральною оціночною шкалою, рекомендованою Міністерства охорони здоров'я України. Проведено кореляційний аналіз залежності виявлених гаметоцидних ефектів з віддаллю до ключового джерела емісії. Показано перспективність впровадження застосованих індикаційних маркерів у практику подальших екомоніторингових досліджень і застосування обраних деревних видів як біоіндикаторів і створенні санітарних насаджень у зоні впливу підприємства. *Ключові слова.* Пилки, гаметоцидність, мутагенна напруга, токсико-мутагенний фон, техногенний вплив.

Hametocidity of the environment in zones of technogenesis as a marker of mutagenic tension: methodological aspects (on the example of "Ivano-frankivskcement" PJSC). Kimakovich V., Melnychenko H.

The article presents methodological approaches to the assessment of mutagenic tension in areas of technogenesis through the study of changes in morpho-functional parameters of pollen of woody plants under the cumulative action of factors in areas affected by industrial enterprises (on the example of 10-kilometer area around Ivano-Frankivskcement PJSC). A comparative sensitivity analysis of the tests previously used by the authors on the male gametophyte: iodine express method for determining the sterility of pollen, the method of pollen germination on agar environment in factorostatic conditions, the test for morphological diversity of pollen. The expediency of combining the applied methods and their unification to increase the objectivity of bioindication studies and assess the toxic-mutagenic background of man-caused areas has been shown. The spatial regularities and influence of aerodynamic characteristics of the atmosphere on the dynamics of distribution of coarse and finely divided fractions of cement dust in the area of influence of "Ivano-Frankivskcement" PJSC and its ability to accumulate on the leaf blades of woody indicator plants have been analyzed. The gametocidity of the complex of environmental factors on woody plants at different distances from the emission source has been assessed. According to the reaction of the male gametophyte, a number of sensitivity of woody indicator plants to the influence of a set of environmental conditions has been constructed. The maximum sensitivity of *Populus pyramidalis* Roz pollen and resistance of *Salix caprea* L to cement dust has been experimentally proven. The assessment of potential genetic risks for biota in the study area has been given and its gradation has been carried out according to the level of toxic-mutagenic tension of the environment according to the integrated assessment scale recommended by the Ministry of Health of Ukraine. A correlation analysis of the dependence of the detected gametocidal effects with the distance to the key emission source has been performed. The prospects of introduction of the applied indication markers into the practice of the further ecomonitoring researches and the application of the chosen tree species as bioindicators and creation of sanitary plantings in the area of influence of the enterprise have been shown. *Key words:* Pollen, gametocidity, mutagenic tension, toxic-mutagenic background, man-caused effects.

Постановка проблеми. Одним з вагомих забруднювачів навіколишнього природного середовища на Прикарпатті є ПрАТ «Івано-Франківськцемент» – потужний комплекс виробництв промисловості будівельних матеріалів, локалізований у с. Ямниця Івано-Франківської області. Підприємство займає

площу близько 200 га, володіє розгалуженою сіткою під'їзних залізничних колій (понад 8 км) і автодоріг (понад 14 км) і спеціалізується на виготовленні будівельних матеріалів – цементу, азбесту, шиферу тощо. Попри значну модернізацію й екологізацію виробничих процесів впродовж останніх років, підприємство

залишається джерелом надходження у довкілля кальцієвмісного пилу та низки інших поллютантів [1]. Пил містить від 15 до 99% дрібних фракцій, що зумовлює його перенесення на відстані до 25 км від джерела забруднення. Це дає підстави віднести територію, прилеглу до промислового об'єкту, до локальної техногенної геохімічної аномалії, яка потребує ґрунтового екотоксикологічного вивчення та оцінки з позицій екологічних загроз для біоти і населення.

Актуальність дослідження. Виробництво цементу й інших будівельних матеріалів є одним із основних джерел забруднення атмосфери пилом [1]. Викиди цементних заводів – це різні тверді частки, які мають значний біологічний ефект, який проявляється не лише у вираженому загальнотоксичному впливі на біоту, а й у віддалених ефектах, зокрема, зростанні генетичної напруги середовища через надходження в екотопи поллютантів із вираженою мутагенною активністю [2]. Як наслідок – збільшується генетичний тягар популяцій, у тому числі людських. Первинними реципієнтами токсичного впливу техногенних елементів класично є рослинні організми, зокрема деревні, що робить їх пріоритетними індикаторами екологічного стану територій, у зоні впливу промислових підприємств [3–6]. Тому здійснення ранньої діагностики стану довкілля, яка дозволяє врахувати комплексну дію факторів техногенного походження та вжити своєчасних заходів зі зменшення негативного впливу на біоту, є пріоритетним напрямком біоекологічних досліджень та предметом досліджень, висвітлених у даній статті.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Вивчення впливу промислових поллютантів на біоту і людські популяції, а також пошук ефективних методів нівелювання біотоксичних ефектів – один з ключових напрямків наукової діяльності авторського колективу. Дослідження виконувалися у рамках наукових тем кафедри біології та екології «Екологічний моніторинг природних і антропогенно змінених екосистем Прикарпаття» (Державний реєстраційний номер УкрІНТЕІ 0112U000507), «Порушення та адаптація різнорівневих біосистем в умовах антропогенної трансформації довкілля» (Державний реєстраційний номер УкрІНТЕІ №0114U005004). Результати попередніх досліджень висвітлені у низці статей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Літературні дані щодо фітотоксичності цементного пилу є фрагментарними і часто мають суперечливий характер, оскільки фітотоксичність мікроелементів сильно варіює й залежить від екологічних умов конкретної території і хімічних властивостей забруднювача: валентності, радіуса та здатності до комплексоутворення [2, 4]. Більшість наукових публікацій присвячені кумулятивній здатності окремих видів стосовно інгредієнтів цементного пилу або ж їх впливу на вегетативну сферу рослин. Разом з тим, найбільш чутливими процесами, на які впливають

несприятливі стресові умови навколишнього середовища є репродуктивна сфера рослинних організмів (насамперед чоловічий гаметофіт) [3–6]. Тому порушення мікроспорогенезу можна вважати інформативним біоіндикаційним показником рівня екогенетичної напруженості територій, маркером зміни генетичного статусу популяцій у цілому. За дії промислових забруднювачів відбуваються порушення морфогенезу пилку, зміни його окремих фізіолого-біохімічних характеристик, підвищення абортивності та зниження життєздатності, що виявляється у зменшенні інтенсивності проростання та пригніченні росту пилкових трубок [2, 7–8]. Більшість індукованих поллютантами мутацій є рецесивними й проявляються в гаплоїдних пилкових клітинах чи зародках при ембріональному розвитку насіння. Мейоз виконує роль своєрідного бар'єра в передачі потомству деяких типів таких мутацій, у результаті чого утворюється стерильний пилко і нежиттєздатне насіння. При цьому, всі види стерильності слід розглядати як генетичну елімінацію, що призводить до зниження генетичної різноманітності популяцій [3–6]. Виявлення аномалій пилку можна розглядати інструментом оцінки потенційних мутагенних загроз на досліджуваній території.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Оцінка впливу промислових підприємств на екосистеми переважно здійснюється у розрізі ідентифікації привнесених у навколишнє середовище забруднюючих речовин та порівнянні обсягів викидів і скидів з гранично допустимими значеннями. При цьому, значно рідше оцінюється реальна шкода, яку завдають поллютанти біологічним системам різних ієрархічних рівнів, а також потенційні генетичні ризики для людей і біоти від впливу промислових експлатів. Дослідження, висвітлені у даній статті, присвячені вивченню віддалених екологічних наслідків впливу діяльності цементного виробництва посередництвом оцінки гаметоцидності цементного пилу на деревні рослини.

Новизна. У статті представлені результати експериментальних досліджень гаметоцидності середовища у зоні впливу ПрАТ «Івано-Франківськцемент», вперше проведені для зазначеної території.

Методологічне або загальнонаукове значення. Основними перевагами застосованого у дослідженні біоіндикаційного підходу є відносна простота і дешевизна, здатність відображати біологічно і нозологічно значимі ефекти забруднення; можливість оцінити наслідки сумісного впливу всіх наявних у середовищі забруднювачів, їх міграційну здатність і локалізацію в екосистемах тощо. Особливістю методу є також його спроможність оцінити не тільки наявні екологічні загрози для біоти та людей, але віддалені ефекти забруднення, які виражаються, зокрема, гаметоцидними проявами [9]. Деревні рослини володіють особливо цінними індикаторними власти-

востями. Внаслідок тривалої експозиції в антропогенно змінених умовах середовища вони здатні відображати хронічний вплив малих доз інгредієнтів промислових викидів, вказувати на мутагенність і біотоксичність середовища в реальному комплексі екологічних факторів [3–6, 10–12].

Викладення основного матеріалу

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились у весняні періоди 2019–2022 рр. у 10-кілометровій зоні впливу ПрАТ «Івано-Франківськцемент», що знаходиться в Тисменицькому районі Івано-Франківської області. Для досліджень сформовано мережу моніторингових ділянок, різновіддалених від джерела емісії: села Ямниця (1,36 км від джерела емісії), Угринів (1,48 км), Павлівка (1,87 км), Вікторів (8,85 км) і Підлужжя (6,63 км), а також на території промислової площадки підприємства (ПП). В якості фонові обрано умовно чисту територію, близьку за природно-кліматичним умовами, але таку, що знаходиться поза зоною його впливу – селище Рожнятів Івано-Франківської області.

Оцінювали рівень запиленості атмосферного повітря за накопиченням пилу на листових пластинках з подальшим аналізом його фракційного складу із почерговим використанням гравіметричного і мікроскопічного методів. Як матеріал дослідження використовували пилок верби козячої (*Salix caprea* L.), тополі пірамідальної (*Populus pyramidalis* Roz.), липи дрібнолистої (*Tilia cordata* Mill) та берези повислої (*Betula pendula* Roth). Всі дослідження виконані в умовах *in situ* синхронно на всій досліджуваній території. Пилок деревних рослин відбирали за стандартною методикою. Кількість фертильних і стерильних пилових зерен визначали на тимчасових препаратах йодним методом [13]. Життєздатність пилку оцінювали шляхом його пророщення на агаризованому середовищі методом Д.А. Транковського [13]. Для кожного виду визначали час від початку інкубації до моменту проростання пилку (t_0), а також відсоток непророслих пилових зерен щодо їх загальної кількості та середні значення довжин пилових трубок через часові інтервали рівні

$2t_0$, $3t_0$ і через добу від початку проростання [13]. Для зручності аналізу в кожному варіанті обчислювали коефіцієнт стерильності ($K_{ст}$) – відношення стерильності пилку у зоні дослідження до аналогічного показника на фоновій території. Морфологічну різноякісність оцінювали за частотою зустрітості гігантських та карликових пилових зерен у пилкової культури, що, відповідно, були в 1,3–1,5 раза більші чи менші середньої норми. За результатами досліджень обчислювали умовні показники ушкодження (УПУ) та інтегральний умовний показник пошкодження (ІУПУ) чоловічого гаметофіту [9]. Цитологічний аналіз проводили під мікроскопом Olympus CX-300 з використанням програмного продукту Quick PHOTO MICRO 2,3 for Windows. Мікрофотографування здійснювали за допомогою інтегрованої в мікроскоп фотонасадки Olympus SP – 500 UZ при збільшенні мікроскопа 1000x та програмного забезпечення Quick PHOTO MICRO 2,3 for Windows (Olympus). Математичну обробку результатів проводили варіаційно-статистичним методом із наступними кореляційно-регресійним аналізом. Усі розрахунки проводили за допомогою редактора MS Excel 2003 та програмного пакета Statistica 6.0. Достовірність відмінності одержаних експериментальних даних із фоновими оцінювали за допомогою t-критерію Стюдента при 5% рівні значимості α .

Результати досліджень. Мікроскопічні дослідження фракційного складу пилу дозволяють констатувати, що співвідношення грубодисперсної і тонкодисперсної фракцій, а також середній розмір пилових часток у його складі варіюють в залежності від локалізації дослідної ділянки. Загальною тенденцією є зменшення частки крупнодисперсної фракції обернено пропорційно віддалі до джерела емісії. Середні розміри часток флюктують у діапазоні від 9,4 до 4,8 мкм.

Результати тесту на стерильність пилку деревних рослин вказують на інтенсифікацію гаметоцидного впливу у ряді населених пунктів: с. Ямниця с. Угринів с. Павлівка с. Вікторів с. Підлужжя, що проявляється зростанням у пилковій культурі частки безкромхального пилку (табл. 1). Максимальне

Таблиця 1

Рівень стерильності пилку деревних рослин-індикаторів у зоні впливу БАТ «Івано-Франківськцемент»

Територія дослідження	Рівень безкромхальних пилових зерен, % M±m			
	<i>P. pyramidalis</i>	<i>T. cordata</i>	<i>B. pendula</i>	<i>S. caprea</i>
Промислова площадка ЦШК	77,3±7,66*	26,6±2,02*	19,6±1,83*	8,4±0,59*
с. Ямниця	63,2±3,40*	21,8±1,53*	15,3±1,24*	7,3±0,42*
с. Угринів	58,7±1,33*	15,6±0,97*	10,2±0,74*	6,2±0,26*
с. Павлівка	55,8±1,57*	18,8±0,75*	12,4±0,64*	7,0±0,21*
с. Вікторів	35,4±0,98*	10,6±0,48*	7,4±0,45*	4,3±0,15*
с. Підлужжя	18,0±0,62*	8,3±0,30*	6,2±0,29*	3,6±0,11
Фонтова територія	7,1±0,31	5,9±0,18	4,9±0,15	3,0±0,09

* – вірогідні зміни досліджуваних показників порівняно із фоновим значенням

перевищення фонового значення відмічено у рослин промислової площадки (ПП) підприємства.

Відмічено видову специфічність реакції чоловічого гаметофіту. Максимальний рівень безкромхальних пилових зерен констатовано для *P. pyramidalis*. Зокрема, у рослин, що зростають в умовах ПП, рівень стерильності пилку перевищує фоновий показник ($7,1 \pm 0,3\%$) у 10,89 раза, сягаючи значення $77,3 \pm 7,66\%$. Найнижчі значення $K_{\text{сп}}$ відмічено на території с. Підлужжя – 2,54. Найвищу толерантність до дії урботехногенних факторів має *S. caprea*. Статистично значима відмінність коефіцієнта відносно фонового значення виявлена в усіх досліджених населених пунктах, окрім с. Підлужжя, де відзначена тенденція до зниження кількості фертильних пилових зерен. У рослин ПП підприємства стерильність пилку є максимальною й складає $8,4 \pm 0,6\%$. У цілому за значеннями рівня стерильності пилку пропонується такий ряд чутливості деревних видів за реакцією чоловічого гаметофіту до впливу викидів цементного виробництва: *P. pyramidalis* ($11,0 > K_{\text{сп}} < 7,34$ – високочутливий вид) $> T. cordata > B. pendula$ ($7,33 > K_{\text{сп}} < 3,67$ – види середньої чутливості) $> S. caprea$ L. ($K_{\text{сп}} < 3,66$ – малочутливий вид).

Збільшення кількості стерильного пилку деревних рослин у зоні впливу ПрАТ «Івано-Франківськцемент» супроводжується і зростанням гетерогенності групової реакції (C_v , %), що є додатковим свідченням напруги адаптаційного процесу. Так, якщо на фоновій території коефіцієнт варіації для різних видів коливається в діапазоні 6,21 – 9,90%, то на території ПП підприємства його значення сягають 15,72–22,17%.

Поряд із зниженням фертильності пилку деревних рослин спостерігається також зростання його морфологічної різноманітності. Зростання частоти появи пилових зерен аномального розміру у всіх деревних видів відбувається у такій послідовності моніторингових ділянок: фонові територія → с. Підлужжя → с. Вікторів → с. Павлівка → с. Угринів → с. Ямниця → ПП. Зростання морфологічної різноманітності пилку відбувається, в основному, за рахунок збільшення кількості карликових пилових зерен. Максимальна кількість карликового пилку виявлена для *P. pyramidalis*; гігантського – для *T. cordata*. Найменша варіативність розмірів пилових зерен на дослідженій території властива для *S. caprea*.

Наявність крохмалю не можна вважати абсолютним показником життєздатності пилку, оскільки інгібування процесу формування пилової трубки часто зумовлено порушенням синтезу інших біологічно активних речовин [6, 8]. Тому для адекватної оцінки гаметоцидного впливу викидів цементного виробництва йодний експрес-метод доповнювали тестами на здатність пилових зерен до проростання (рис. 1.). Як і в інших варіантах експерименту, найбільш уразливим є чоловічий гаметофіт *P. pyramida-*

lis. Зокрема, у модельних особин із ПП здатність до проростання та формування пилової трубки після добової експозиції на агаризованому середовищі зберігається у 19% пилових зерен, що є нижчим від фонового значення в 11,09 раза. Для даного виду відмічено також максимальну інгібіцію процесу формування пилових трубок. Свідченням цього є достовірне ($P < 0,05$) зниження їх довжин пропорційне віддалі до джерела забруднення.

Так, при добовій експозиції зазначений показник варіює в діапазоні від $281,8 \pm 2,07$ мкм в особин зелених насаджень с. Підлужжя до $128,1 \pm 6,42$ мкм на території ПП ПрАТ «Івано-Франківськцемент» при фоновому значенні $320,3 \pm 2,07$ мкм. Аналогічний характер зміни показників життєздатності пилку притаманний і іншим видам-індикаторам. У всіх варіантах спостереження частка непророслих пилових зерен була вищою, ніж безкромхальних. У *S. caprea* L., *B. pendula* зазначена відмінність є найбільш виразною і складає в різнофункціональних зонах у середньому 20–30%.

Таким чином, для об'єктивної оцінки гаметоцидності середовища доцільним є поєднання різних методів із подальшим розрахунком інтегральних показників. При цьому, зручною є практика розрахунку умовних показників ушкодження (УПУ) біооб'єкта та інтегральних умовних показників ушкодження. Рівень стерильності пилку рослин-біоіндикаторів характеризує не лише загальну токсичність навколишнього середовища, а й опосередковано відображає інтенсивність мутагенної напруги [2, 9]. Таким чином, можна дати оцінку ступеня екогенетичної трансформації дослідженої території.

Відповідно до значень інтегрального умовного показника ушкодження (УПУ) в межах досліджуваної території можна виділити відмінні за рівнем токсико-мутагенної напруги зони (табл. 2).

До категорії безпечних можна віднести території сіл Підлужжя та Вікторів, УПУ в межах яких не перевищує значення 0,25. Це відповідає сприятливому стану біосистем за уніфікованою оціночною шкалою, а виявлені порушення чоловічого гаметофіту носять характер спонтанних генетично обумовлених змін. Помірно небезпечна екологічна ситуація, а відповідно загрозливий стан біосистем встановлені для с. Павлівка. Значення показника УПУ тут складає 0,45. Критичний стан репродуктивних структур деревної рослинності (УПУ – 0,78), який відповідає небезпечному токсико-мутагенному фону території, має місце у с. Угринів. Такі території потребують планових тактично-стратегічних дій і постійного контролю, визначення джерел і компонентного складу забруднювачів, а також впровадження реабілітаційних заходів, спрямованих на оптимізацію стану довкілля і всіх біологічних систем. Максимальне значення УПУ властиве деревним рослинам ПП, що дозволяє охарактеризувати токсико-мутагенний фон даної території як надзвичайно небезпечний.

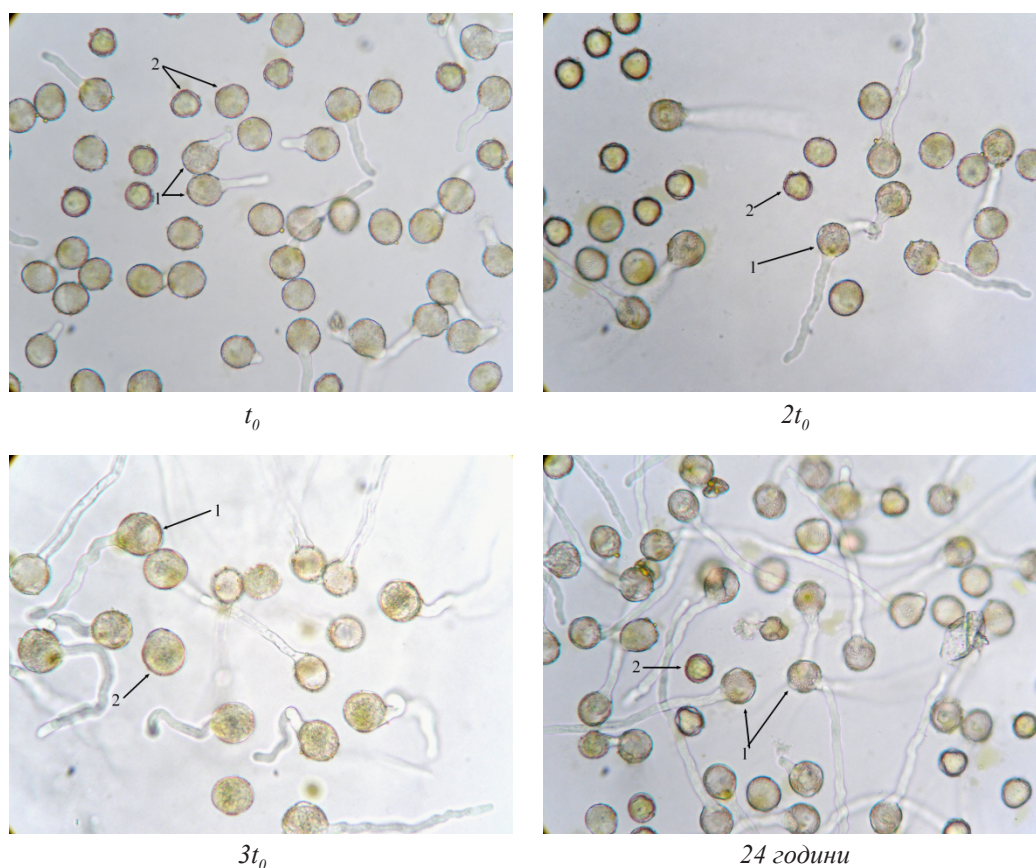


Рис. 1. Проростання пилку модельних рослин *S. caprea* L. із ПП «Івано-Франківськцемент» на агаризованому середовищі: 1 – фертильне зерно; 2 – стерильне зерно

Таблиця 2

Умовні показники пошкодження (УПУ) деревних рослин і рівень токсико-мутагенної напруги середовища в межах досліджуваної території (за гаметоцидним впливом)

Деревний вид Досліджувана територія	<i>P. pyramidalis</i>	<i>T. cordata</i>	<i>B. pendula</i>	<i>S. caprea</i>	ІУПУ*	Категорія екологічної безпеки території
Фон	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	безпечна
с. Підлужжя	0,18	0,11	0,10	0,18	0,14	безпечна
с. Вікторів	0,31	0,19	0,21	0,30	0,25	безпечна
с. Павлівка	0,46	0,36	0,44	0,55	0,45	помірно небезпечна
с. Угринів	0,60	0,41	0,46	0,66	0,53	небезпечна
с. Ямниця	0,81	0,75	0,74	0,80	0,78	надзвичайно небезпечна
ПП	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	надзвичайно небезпечна

Для з'ясування характеру та тісноти статистичних залежностей між рівнем токсико-мутагенної напруги середовища, встановленим за інтенсивністю прояву гаметоцидних факторів, та віддалю до джерела емісії проведено кореляційно-регресійний аналіз одержаних експериментальних даних (рис. 2).

Проведений аналіз показав наявність тісних лінійних кореляційних залежностей між інтегральним показником ушкодження чоловічого гаметофіту та віддалю об'єкту до джерела забруднення. При

цьому, фактор направленості вітрових потоків не має визначаючого впливу. Такий ефект зумовлений якісним складом викидів цементного виробництва. Як вже зазначалось, цементний пил є переважно крупно-дисперсним і в його розсіюванні гравітаційні сили відіграють більш вагому роль, ніж турбулентний переніс.

Головні висновки. Депресивні зміни репродуктивної сфери деревних рослин (зростання частки безкромкальних пилоквих зерен, інгібування процесу

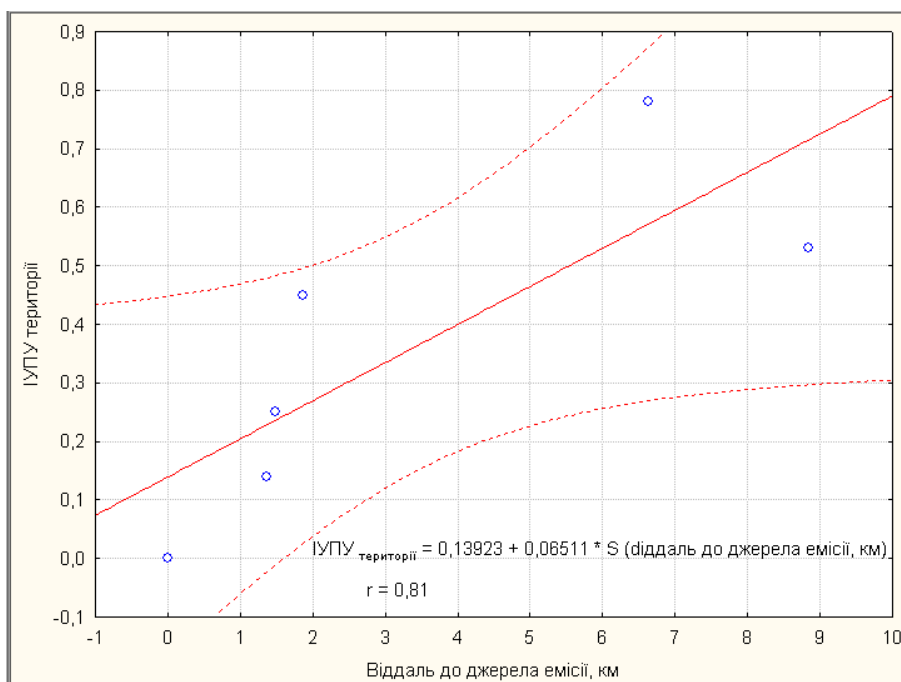


Рис. 2. Графік лінійної кореляційної залежності між ІУПУ чоловічого гаметофіту деревних рослин і віддаленістю об'єкта від джерела емісії (В-критерій Блекмана < 11,37 при статистично достовірному значенні коефіцієнта кореляції Пірсона ($P < 0,05$)).

формування пилкової трубки, зниження інтенсивності проростання пилку та зростання його морфологічної різноманітності) значною мірою зумовлені впливом техногенних чинників і можуть слугувати маркерами при діагностиці ранніх генетичних порушень, зокрема на території у зоні впливу цементних виробництв. Ступінь зміни показників стану пилку знаходиться в тісній апроксимаційній залежності з віддалю до джерела забруднення викидами цементного виробництва.

Деревні рослини виявляють високу специфічну чутливість до сумарної дії екоотоксикантів, що доцільно враховувати при проведенні біоіндикаційних досліджень і при плануванні природоохоронних заходів, спрямованих на оптимізацію навколишнього середовища урбоєкосистем. Максимальною резистентністю до дії урботехногенних факторів за більшістю аналізованих показників володіє чоловічий гаметофіт *S. carnea*; мінімальною – *P. pyramidalis*.

Застосовані тести на визначення рівня абортивності пилку відзначаються диференційністю

в інформативності. Тому для об'єктивної оцінки гаметоцидності середовища доцільним є поєднання розглянутих методів із подальшим розрахунком інтегральних показників.

Максимальне ушкодження чоловічого гаметофіту рослин-індикаторів відмічено безпосередньо на території ПП ЦШК у зоні неорганізованих викидів. Зниження токсико-мутагенного фону відбувається в ряді: с. Ямниця < с. Угринів < с. Павлівка < с. Вікторів < с. Підлужжя.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати наших досліджень можуть бути використані у подальших моніторингових дослідженнях техногенно-змінених й урбанізованих територій для оцінки й ідентифікації мутагенних загроз і генетичних ризиків для біоти і людських популяцій. Показники гаметоцидності середовища можуть також використовуватися для розробки біологічно обґрунтованих екологічних нормативів допустимого техногенного навантаження на екосистеми.

Література

1. Головне управління статистики в Івано-Франківській області. URL: <http://www.ifstat.gov.ua> (дата звернення 20.05.2022).
2. Горова А.І. Сіліч І.О. Цитогенетична біоіндикація як метод інтегральної оцінки екологічного стану екосистем Криворіжжя (аналіз стану проблеми). Питання біоіндикації та екології. 2012. Вип. 17. № 1. С. 11–22.
3. Бессонова В.П., Бессонов Е.П., Зверковський В.М. Оцінка стану пилку деревних рослин в урботехногенній екосистемі. Питання біоіндикації та екології. 2013. Вип. 18. № 1. С. 70–83.
4. Миленька М.М. Життєздатність пилку деревних рослин як критерій якості навколишнього середовища. Екологія та ноосферологія. 2009. № 20. С. 181–187.
5. Миленька М.М. Використання деревних видів для діагностики екологічного стану довкілля урбанізованих територій. Лісівництво і агролісомеліорація. 2008. Вип. 114. С. 111–114.

6. Мельник Н.М., Морозова Т.В. Стан пилку деревних рослин у промислових зонах міста Чернівці. Тематична збірка ІЕК НАН України. 2006. Вип. 7. С. 54–60.
7. Морозова Т.В. Різномірне біоіндикаційне оцінювання екологічного стану слабкоурбанізованих селітебних територій Чернівецької області: автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.16. Чернівці, 2005. 22 с.
8. Парпан В.І., Миленька М.М. Методологічні аспекти оцінки екологічного стану урбанізованих і техногенно змінених територій. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2010. Вип. 18. Т. 2. С. 61–68.
9. Наказ МОЗ України № 116 від 13.03.2007 р. “Про затвердження методичних рекомендацій «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об’єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів». Офіційний вісник України. 2007. № 4. С. 186–209.
10. Шевцова Т.В., Гаркава К.Г., Бриндза Я., Островський Р., Мотильова С.М. Морфометрія пилових зерен берези бородавчастої як індикатор якості екостану. Питання біоіндикації та екології. 2014. Вип. 19. № 2. С. 121–138.
11. Мельниченко Г.М., Кімакович В.Є., Кириленко Я.О. Біоіндикаційне оцінювання екологічного стану урбоєкосистеми Івано-Франківська за допомогою показників якості пилку деревних видів. Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки. 2020. № 1. С. 5–13.
12. Melnychenko G., Mylenka M., Riznychuk N., Prokopiv N. Pollen Monitoring in the City of Ivano-Frankivsk, Western Ukraine. Acta Agrobotanica. 2020. 73(4). P. 1–9.
13. Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. Загальна екологія: практичний курс. Навчальний посібник. Частина 1. Урбоєкосистеми. 2008. 342 с.