

УДК 504:911.375(477.81)

<https://doi.org/10.31713/vs120267>

Клименко О. М. [1; ORCID ID: 0000-0002-2047-8824],

д.с.-г.н., професор,

Клименко Л. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-0591-9265],

к.с.-г.н., доцент,

Каськів М. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-6914-0867],

к.б.н., доцент

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ЦИТОГЕНЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЯК МЕТОД ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ УРБООКОСИСТЕМИ м. РІВНОГО

У статті здійснено характеристику території м. Рівного, проаналізовано рівні забруднення атмосфери міста і пересувних джерел, здійснено оцінювання екологічного стану міста тест-системою *Tagahasim officinalis* Webb за тестом «Стерильність пилку рослин-біоіндикаторів». У цілому, за 2006–2007 рр. екологічна ситуація в місті за цим тестом оцінюється як помірно небезпечна з конфліктним і загрозливим станом біоіндикаторів та середнім рівнем їх ушкодження. За концентрацією розсіювання СО виявлені зони найбільшого забруднення атмосферного повітря міста. Одночасно було проведено біотестування за МЯ-тестом дітей дошкільного віку, що проживали на територіях 12 тест-полігонів. Установлено, що середні значення МЯ-індексу на тест-полігонах досягали значень від найменших 0,017 до найвищих 0,037 (середнє 0,028±0,001). Найвищі значення МЯ-індексу були виявлені на територіях міста, де розташовані підприємства та спостерігається інтенсивний рух автотранспорту, а найнижчі – на територіях з одноповерховою забудовою. Загалом, за 2011–2015 рр. екологічна ситуація в місті за МЯ-тестом оцінюється як задовільна з насторожуючим станом біосистем та рівнем генетичних ушкоджень, нижчим за середній. Підтверджено, що зростання сумарних обсягів надходження викидів забруднюючих речовин до атмосфери міста супроводжується зростанням поширеності хвороб серед населення міста.

Ключові слова: біотестування; рослини-біоіндикатори; умовний показник ушкодження; клітини епітелію; мікроядерний тест; цитогенетичні ушкодження; слизова оболонка; екологічний стан; тест-полігон; захворюваність.

Постановка проблеми. Забруднення довкілля мутагенами хімічного, фізичного та біологічного походження набуває катастрофічного й глобального характеру. Мутагенами можуть бути

різні чинники, що викликають зміни на клітинному рівні біоти, в структурі генів, змінюють структуру та кількість хромосом, що призводить до змін стану здоров'я людей. За походженням мутагени класифікують на ендогенні, що утворюються в процесі життєдіяльності організму, та екзогенні – всі інші фактори, в тому числі й умови навколишнього середовища. Як правило, таку дію мають різноманітні сполуки, які викидають у повітря підприємства, що спалюють вугілля, нафту, а також різноманітні види транспорту. Хімічні елементи різними шляхами потрапляють в організм людини, завдаючи йому шкоду. Їх міграція в екосистемах відбувається за участі повітря, води, колоїдних розчинів і внаслідок техногенних процесів. На їх переміщення впливають внутрішні та зовнішні фактори [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередніми дослідженнями доведено, що збільшення мутагенного навантаження до рівня, здатного подвоїти частоту виникнення мутацій у людини, може призвести до змін стану здоров'я. Внаслідок дії мутагенів відбуваються зміни у соматичних клітинах, які дістали назву соматичних мутацій. Слід відмітити, як наслідок соматичних мутацій є ракове переродження. Злоякісний ріст викликають канцерогени, серед яких найпоширенішими є радіація та хімічні сполуки. Доведено й пряму кореляцію між вмістом бензопірену в атмосферному повітрі та смертністю від раку сечостатевої системи та органів дихання. Так, за даними Рівненського онкологічного диспансеру за 2010–2020 рр., рівень онкозахворювань серед населення міста продовжує зростати.

Тому необхідним є розв'язання таких проблем, як контроль над процесами забруднення навколишнього середовища мутагенами, запобігання наростанню мутагенного забруднення, розуміння походження дії мутагенів, пошуків засобів моніторингу та захисту організму людини від їх негативного мутагенного впливу.

Сучасна оцінка стану екологічних систем, територіальних природних комплексів, окремих об'єктів навколишнього середовища здійснюється за різними екологічними стандартами й нормативами. Серед них найважливішими є нормативи якості довкілля, які висвітлюють у показниках гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин в окремих об'єктах навколишнього середовища. Однак, такі підходи до оцінки стану об'єктів довкілля базуються не лише на інструментальних фізико-хімічних методах аналізу, але й орієнтовані на контроль до відповідності нормованих показників.

Оскільки традиційні методи оцінки стану об'єктів навколишнього середовища шляхом хімічного аналізу та вимірюванням радіоактивного фону не можуть відобразити сумарної дії різних забруднювачів довкілля, ця проблема може бути вирішена з використанням індикаторних біотестів, серед яких цитогенетичні є найбільш інформативними, високочутливими та достатніми для адекватних оцінок. Тому останнім часом спостерігаємо цілком обґрунтовану тенденцію необхідності оцінки стану довкілля урбанізованих територій не тільки традиційними фізико-хімічними методами, а й шляхом використання методів біоіндикації.

Актуальність обраного напрямку досліджень зумовлена сучасним зростанням забруднення довкілля техногенними продуктами, які мають мутагенну активність і впливають на генетичний апарат та імунну систему різновікових груп населення. Серед міст України за кількістю населення та параметричними характеристиками техногенного впливу на урбоекосистеми помітно вирізняється м. Рівне. В його атмосферному повітрі регулярно фіксуються перевищення ГДК, діоксину азоту, бензопірену, оксиду вуглецю, фенолу, ідентифікуються діоксини сірки, формальдегіду та інших мутагенів. З огляду на це, виникла необхідність контролю над процесами забруднення атмосферного повітря міста, дослідження природи дії мутагенних речовин, запобігання наростанню техногенного забруднення та пошуку засобів і методів захисту живих організмів від мутагенного впливу.

Мета і завдання досліджень. Мета роботи полягала в оцінюванні стану урбоекосистеми м. Рівного за показниками цитогенетичного моніторингу.

Досягнення мети передбачало вивчення наступних завдань: здійснити ландшафтно-екологічну характеристику міста; провести районування міста за ступенем ушкодженості рослин-біоіндикаторів; дослідити рівні впливу забруднення атмосферного повітря міста на здоров'я населення; оцінити та проаналізувати стан урбоекосистеми міста за показниками цитогенетичного моніторингу; розробити рекомендації з покращення екологічного стану урбоекосистеми.

Об'єкт дослідження. Процеси, що протікають в урбоекосистемі під впливом природних і антропогенних чинників.

Предмет дослідження. Показники оцінювання забруднення атмосферного повітря, ушкодження рослин-біоіндикаторів, цитогенетичний моніторинг.

Матеріали та методи. На сьогодні біоіндикацію вважають найбільш достовірним методом при вивченні антропогенного впливу

на навколишнє середовище. Оскільки антропогенні дії зумовлюють модифікацію природних факторів і тим самим змінюють властивості біологічної системи, слід здійснювати постійний контроль за станом навколишнього середовища, який дозволить отримати адекватні дані про стан біоти та людини [5].

Загально визнаною є думка, що біоіндикація може використовуватись на різних рівнях організації живої матерії: молекулярному, клітинному, організмовому, популяційному, біоценозному. З підвищенням рівня організації біологічних систем зростає і їхня складність, оскільки одночасно все більше ускладнюються їхні взаємозв'язки з факторами місцезнаходження. При цьому біоіндикація на нижчих діалектично включається в біоіндикацію на вищих рівнях, виступаючи в новій якості. Водночас на нижчих рівнях організації біологічних систем переважають прямі й частіше специфічні види біоіндикації, на вищих рівнях панує непряма біоіндикація. В сучасних умовах біоіндикаційні дослідження на рівні організмів проводяться за двома основними напрямками: фіто- та зооіндикація. Курінний А. І. запропонував як індикатори використовувати вищі рослини, а також цитогенетичні обстеження населення. Случик І. Й. застосовував при дослідженні стану урбоекосистеми м. Івано-Франківська мітотичну активність меристеми зачаткових листків та рівень аберацій хромосом у соматичних клітинах *P. Verolinensis* і *P. Simonii*, а Ареф'єва С. І. в якості індикаторів рекомендує використовувати деревні гриби.

На думку Шуйського В. Ф., Петрова Д. С., Максимова Т. В., індикатором стану водних систем потрібно використовувати угруповання нижчих водних безхребетних тварин, а в деяких наукових роботах як біоіндикатори використовують популяції епіфітних макроліхенів [6].

Всі біоіндикаційні дослідження з різними видами рослин і тварин, які були описані дотепер, вказують на екологічну ситуацію урбоекосистеми та пропонують шляхи її поліпшення, однак діючі вітчизняні нормативи не оцінюють ризик для здоров'я людини від забруднювачів атмосферного повітря. Тому сьогодні виникає необхідність застосування інших методів оцінки стану навколишнього середовища, за допомогою яких можливо зробити науково обґрунтований прогноз змін у здоров'ї населення залежно від впливу факторів довкілля. Одним із таких методів є методологія оцінки ризику

на здоров'я населення від забруднювачів навколишнього середовища, яка дає можливість визначити реальні навантаження на організм людини шкідливих речовин та здійснити кількісну оцінку ризику виникнення захворювань. Так, Горова А. І., Клімкіна І. І. пропонують використовувати цитогенетичні тестування для оцінки екологічної ситуації та ефективності оздоровлення дітей і дорослих природними адаптогенами.

На нашу думку, найдоцільнішим є використання методів біоіндикації у поєднанні з фітоіндикацією «Стерильність пилку рослин-біоіндикаторів» та цитогенетичних методів дослідження. Доцільно зазначити, що великою популярністю користується скринінг за ушкодженням хромосом, так званий мікроядерний тест (МЯ-тест). Метод відрізняється простотою та оперативністю. Слід відзначити, що МЯ-тест застосовується для обстеження різних верств населення, метою якого є визначення антропогенного впливу на навколишнє середовище. Отже, для оцінки екологічної ситуації за загальним мутагенним фоном нами використовувався скринінговий експрес-метод. Започаткував МЯ-тест вчений-дослідник В. Шмідт у 1975 р. Це метод підрахунку частоти появи МЯ в епітеліоцитах слизової оболонки порожнини рота дітей дошкільного віку.

Мікроядерний аналіз клітин слизової оболонки успішно застосовувався для оцінки вдихання та місцевого впливу генотоксичних агентів, впливу факторів харчування, способу життя та як раннього біомаркера для ракових пухлин [1; 2].

Клітини слизової оболонки щік використовувались для раннього виявлення цитогенетичних пошкоджень [3].

На території України біоіндикаційні дослідження були проведені А. І. Горovou у Дніпропетровській області [7], В. П. Безсоною – у Запорізькій області, Т. І. Великоридько, Т. В. Морозовою – у Чернівецькій, І. Й. Случик – в Івано-Франківській, І. І. Коршиковим, Т. І. Великоридько, А. І. Сафоновим – у Донецькій [8]. На жаль, на території м. Рівного такі дослідження не проводились, тому метою нашої роботи було поєднання та аналіз методики «Стерильність пилку рослин-біоіндикаторів», а також методики оцінки екологічної ситуації за МЯ-тестом в епітеліоцитах слизової оболонки порожнини рота людини.

Перші методи фітоіндикації в екологічних дослідженнях м. Рівного застосували М. О. Клименко та Н. Р. Хомич. Оцінювався стан довкілля за допомогою трав'яних рослин, а саме: визначення частоти стерильних клітин пилку рослин-біоіндикаторів, що ростуть на досліджуваних тест-полігонах.

В цілому, біоіндикаційні дослідження урбанізованих територій м. Рівного мають давні традиції, однак вони характеризуються епізодичністю, безсистемністю та домінуванням фітоіндикаційних досліджень. Тому особливої актуальності та значимості набуло проведення комплексної оцінки екологічного стану м. Рівного з використанням цитогенетичних методів біоіндикації. Урбанізована територія міста потребує детального розгляду питання розробки ефективного алгоритму біоіндикаційних досліджень з метою отримання комплексної інтегральної цитогенетичної оцінки, а також пошуку чутливих біоіндикаторів та інформативних індикаційних ознак, здатних відобразити сукупний вплив урбогенних і техногенно зумовлених факторів на популяції.

Методики та методи. Наукові дослідження здійснювали з використанням загальнонаукових методів (аналізу, спостережень, узагальнень), експериментальних і лабораторних досліджень.

Мікроядра виявляли в клітинах епітелію шести-, семирічних дітей. Мазок епітелію брали в стерильних умовах з правої та лівої щік і нижньої губи дітей за попередньою згодою батьків, отриманою на підставі авторського анкетування, за допомогою разових косметичних паличок із ватними наконечниками. Попередню фіксацію матеріалу здійснювали в 96-відсотковому етанолі протягом 15 хв, а основну – в суміші зі спирту, хлороформу та оцтової кислоти у співвідношенні 6:1:1 впродовж 1,5–2 годин. Після основної фіксації матеріал висушували та фарбували ацетокарміном впродовж 15 хв. Мікроядра аналізували під мікроскопом МБИ ($\times 800$; $\times 1500$) у розрахунку по 100 клітин кожного індивідуума.

Всього було обстежено 167 дітей, які проживають на 12 тест-полігонах площею від 4 до 5 км². Загальна кількість проаналізованих епітеліоцитів становила 64950. Одночасно проводили аналіз медико-статистичних даних за класами хвороб, що характеризують стан здоров'я населення міста.

Для оцінки екологічного стану урбоєкосистеми за тест-системою була обрана *Tagetes officinalis* Webb (кульбаба лікарська), яка була присутня на всіх 12 тест-полігонах. Зерна пилку фіксували в момент збору у 70-відсотковому етанолі. Забарвлення препаратів проводили йодним розчином за Грамом. Для розрахунків і порівняння результатів власних досліджень за критерієм вибору умовно-контрольної території обрано смт Нікіта, умови якого мають

«сприятливі» показники (за методикою А. І. Горової МОЗ України, наказ № 116 від 13.03.2007 р.). Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали за методом дисперсійного та кореляційного аналізів із використанням пакета програм Microsoft Office 2007, а оцінювання біосистем та екологічної ситуації – за шкалою А. І. Горової 2007, табл. 1.

Таблиця 1

Шкала оцінювання біосистем і екологічної ситуації за мутагенним фоном (за методикою А. І. Горової, 2007 р.)

Значення показника за МЯ-тестом	Показник генетичних ушкоджень (УПП)	Рівень генетичних ушкоджень	Стан біосистем	Екологічна ситуація за мутагенним фоном
0–0,027	0–0,150	Низький	Благополучний	Еталонна
0,028–0,054	0,150–0,300	Нижчий від середнього	Насторожуючий	Задовільна
0,055–0,081	0,301–0,450	Середній	Конфліктний	Незадовільна
0,082–0,108	0,451–0,600	Вищий від середнього	Загрозливий	Незадовільна
0,109–0,135	0,601–0,750	Високий	Критичний	Катастрофічна
0,136–0,180	0,751–1,0	Максимальний	Небезпечний	Катастрофічна

Результати досліджень. Місто Рівне займає площу 64 км², населення становить 246 тис. осіб. Індустріальний профіль міста визначають, в основному, такі галузі: хімічна, виробництва будівельних матеріалів і деревообробка. За даними звітності, в межах урбаністичного комплексу міста розташовано приблизно 60 стаціонарних джерел забруднення довкілля та експлуатується понад 80000 лише легкових автомобілів. Щорічно в атмосферу міста викидається (надходить) від стаціонарних джерел понад 2,9 тис. т, а від пересувних – біля 14 тис. т забруднюючих речовин, що спричиняє перевищення у повітрі гранично допустимих концентрацій (ГДК) за вмістом пилу, оксиду вуглецю, діоксиду азоту, фенолу, бензопірену. Крім цих речовин, у повітрі ідентифікуються діоксид сірки, монооксид азоту, формальдегід, складні ефіри. Середньорічні концентрації важких металів не перевищують встановлених нормативів. Рівень забруднення атмосферного повітря згідно з індексом забруднення (ІЗА) впродовж 2009–2020 рр. змінювався в межах від 11,8 у 2010 р. до 6,25 у 2018 р. Відповідно, рівень забруднення атмосферного повітря в місті впродовж останніх десятиліть оцінюється як підвищений (рис. 1).



Рис. 1. Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

Середньорічна концентрація оксиду вуглецю сягає значень 0,7–1,0 ГДК, а максимальні разові концентрації оксиду вуглецю фіксуються у літні місяці, які змінюються в межах від 2,0 до 2,4 ГДК (ГДК_{мр} = 5 мг/м³).

Дослідженнями впродовж 2006–2010 рр. концентрації розсіювання оксиду вуглецю нами були виявлені зони найбільшого забруднення атмосферного повітря, де мало місце скупчення потоків пересувних джерел забруднення, а саме: тест-полігони VI, VII (центральна частина міста), де перевищення ГДК досягало значень у 2,5–3,4 раза; на полігонах I–IV (північна частина міста), V(західна) ГДК перевищувалось від 1,4 до 1,8 раза; VIII (східна), IX, XII (південна) – від 1,8 до 2,2 раза. Порівняно кращий стан атмосферного повітря за вмістом оксиду вуглецю мав місце на полігонах X, XI, де перевищення концентрації CO не перевищувало значень 0,8–1,0 ГДК (рис. 2).

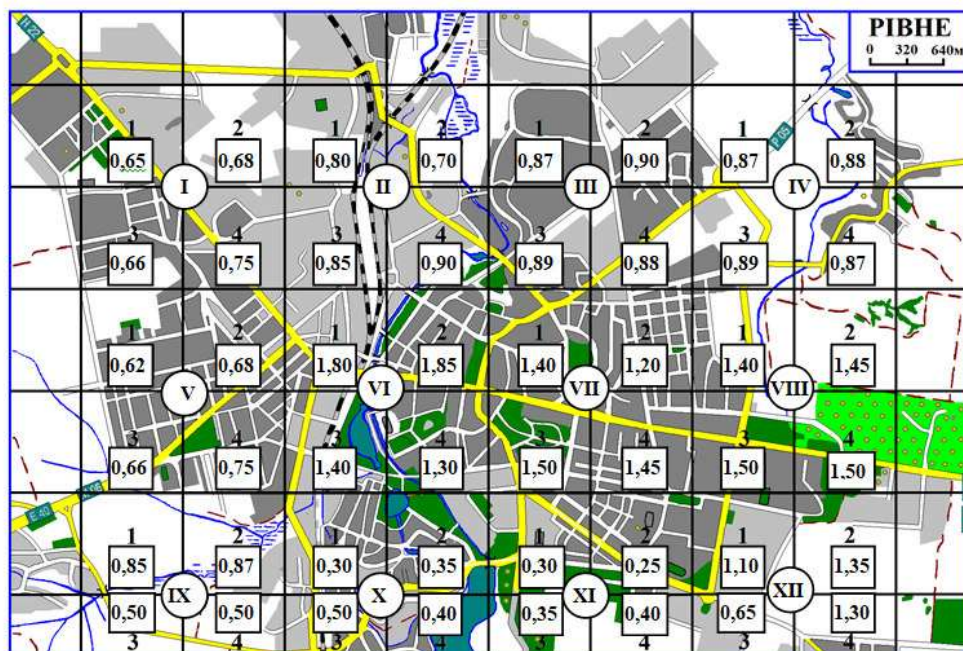


Рис. 2. Концентрації оксиду карбону у повітрі м. Рівне, мг/м³

Одночасно нами було досліджено вплив концентрацій основних забруднювачів атмосферного повітря міста на стерильність пилку *Tagetes officinalis* Webb за тестом «Стерильність пилку рослин-біоіндикаторів». Установлено, що найменший відсоток стерильних пилкових зерен було виявлено за середніми значеннями 2006–2007 рр. на тест-полігонах X, XI, що становило від 1,05 до 12,3%, а найвищий відсоток стерильності спостерігався на тест-полігонах II, III, VI, VII – від 2,45 до 19,85%.

Аналіз розрахунків умовних показників ушкодженості (УПУ) в 2006 р. засвідчив, що тест-полігони X, XI характеризуються еталонним і сприятливим станом біоіндикаторів із низьким і нижчим за середній рівнем ушкодженості, категорія екологічної безпеки території – безпечна; на тест-полігонах I, VIII, IX, XII – конфліктний і загрозовий стан біоіндикаторів із середнім рівнем ушкодженості, категорія екологічної безпеки території – помірно небезпечна; на тест-полігонах II, VII критичний стан біоіндикаторів із рівнем ушкодженості вищим за середній, категорія екологічної безпеки території – небезпечна (табл. 2).

Таблиця 2

Оцінка стану навколишнього середовища м. Рівне за тест-системою кульбаба лікарська (*Taraxacum officinalis* Webb, середнє за 2006–2007 рр.)

№ досліджуваного тест-полігону		Діапазон УПУ		ІУПУ		Середні значення ІУПУ	ІУПУ заг.		Середнє значення ІУПУ заг.
		2006 р.	2007 р.	2006 р.	2007 р.		2006 р.	2007 р.	
I	Північна частина міста	0,176-0,659	0,028-0,689	0,341	0,369	0,355	0,417	0,441	0,425
II		0,157-0,928	0,092-0,964	0,549	0,587	0,568			
III		0,186-0,969	0,082-0,933	0,531	0,574	0,552			
IV		0,176-0,917	0,058-0,892	0,507	0,521	0,514			
V	Західна	0,108-0,964	0,054-0,946	0,549	0,512	0,530			
VI	Центральна	0,167-0,989	0,081-0,964	0,574	0,689	0,632			
VII		0,147-0,994	0,076-0,984	0,583	0,598	0,591			
VIII	Східна	0,168-0,866	0,082-0,871	0,378	0,486	0,432			
IX	Південна частина міста	0,049-0,661	0,049-0,744	0,304	0,288	0,296			
X		0,093-0,476	0,033-0,459	0,179	0,162	0,171			
XI		0,137-0,630	0,020-0,553	0,184	0,184	0,184			
XII		0,061-0,825	0,058-0,820	0,326	0,325	0,326			

В цілому за 2006–2007 рр. категорія екологічної безпеки міста оцінюється як помірно небезпечна із середнім рівнем ушкодження та конфліктним і загрозливим станом біоіндикаторів.

Впродовж наступних 2012–2020 рр. за концентрацією розсіювання оксиду вуглецю нами були виявлені зони найвищого забруднення атмосфери міста також, в основному, в місцях скупчення пересувних джерел. На території тест-полігонів VI, VII (центр міста) перевищення концентрації CO становило 3–4 рази; на тест-полігонах I, II, III, IV (північ) та V (захід) ГДК перевищувалось у 1,6–2,3 рази; на VIII (схід) та IX, XII (південь) – у 2,1–2,4 рази.

Результати генетичного біотестування за МЯ-тестом в клітинах слизової оболонки ротової порожнини дітей дошкільного віку, проведеного нами на 12 тест-полігонах у дитячих садочках,

представлені в табл. 3, з якої видно, що середні значення МЯ-індексу на тест-полігонах досягали значень від найменших (0,017) до найвищих (0,037) при середньому $0,028 \pm 0,001$.

Таблиця 3

Рівень пошкоджуваності клітин, стан дитячого організму, екологічна ситуація на територіях міста за показником УПУ, 2011–2015 рр.

№-тест-полігону	Кількість дітей	МЯ-індекс $x \pm a$	УПУ	Рівень ушкодження клітин	Стан дитячого організму за цитогенетичним статусом	Екологічна ситуація за мутагенним фоном
I	12	$0,037 \pm 0,001$	0,203	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
II	14	$0,033 \pm 0,002$	0,185	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
III	14	$0,024 \pm 0,001$	0,136	Низький	Благополучний	Задовільна
IV	15	$0,025 \pm 0,002$	0,138	Низький	Благополучний	Еталонна
V	14	$0,027 \pm 0,002$	0,152	Низький	Благополучний	Еталонна
VI	19	$0,034 \pm 0,001$	0,200	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
VII	12	$0,028 \pm 0,002$	0,153	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
VIII	14	$0,036 \pm 0,002$	0,199	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
IX	12	$0,017 \pm 0,001$	0,094	Низький	Благополучний	Еталонна
X	11	$0,021 \pm 0,001$	0,117	Низький	Благополучний	Еталонна
XI	17	$0,029 \pm 0,001$	0,163	Нижчий за середній	Насторожуючий	Задовільна
XII	13	$0,024 \pm 0,001$	0,134	Низький	Благополучний	Еталонна
Разом	167	$0,028 \pm 0,001$	0,156			

Примітка: $P_{\text{комф.}}=0$; $P_{\text{крит.}}=0,180$

Максимальні значення МЯ-індексів за середніми значеннями були встановлені для тест-полігонів I (0,037); II (0,033); VI (0,034); VIII (0,036). Слід зазначити, що за середніми значеннями цитогенетичних показників у клітинах слизової оболонки порожнини рота дітей міста, найвищі притаманні територіям, де розташовані підприємства та спостерігається інтенсивний рух автотранспорту, а найнижчі були встановлені для тест-полігонів із одноповерховою забудовою (IX) та низькою інтенсивністю автотранспорту. Поряд із цим нами були розраховані умовні показники ушкодження (УПУ) клітин. Відповідно до шкали оцінювання рівня генетичних ушкоджень та оцінки екологічної ситуації за мутагенним фоном, стан дітей на I, II, VI, VIII, XI тест-полігонах оцінюється за градацією: «нижчий від середнього» – рівнем ушкодження клітин; «насторожуючий» – станом дитячого

організму за цитогенетичним статусом; «задовільний» – екологічною ситуацією за мутагенним фоном. На тест-полігонах за номерами III, IX, XII рівень ушкодженості клітин оцінювався як «низький», стан дитячого організму за цитогенетичним статусом як «благополучний», а екологічна ситуація за мутагенним фоном відповідала статусу «еталонна».

У цілому за 2011–2015 рр. екологічна ситуація в місті за МЯ-тестом ($0,028 \pm 0,001$) і УПП (0,156) оцінюється як задовільна з насторожуючим станом біосистем та нижчим за середній рівнем генетичних ушкоджень.

Для з'ясування рівня мутагенного фону території м. Рівного нами проведений порівняльний аналіз мутагенності довкілля деяких міст України. Як свідчать дані досліджень, найбільш високі середні значення МЯ-індексу встановлені для території м. Жовті Води ($0,11 \pm 0,008$) при УПУ 0,633 з перевищенням показників контрольної території смт Нікіта ($0,015 \pm 0,001$ і 0,083) у 7,3-8 разів.

У м. Рівному перевищення значень МЯ-індексу і УПУ ($0,028 \pm 0,001$ і 0,156) порівняно із смт Нікіта становить величини 1,4–2,2 раза, що свідчить про незначний вплив антропогенних чинників на його мутагенний фон.

Для території м. Чернівці перевищення значень МЯ-індексу, в порівнянні з територією смт Нікіта, сягає значень 4,2–5,7, а для м. Дніпропетровськ ($0,09 \pm 0,009$ і 0,50) перевищення сягає 5,3–8,1 раза, що пов'язано з функціонуванням на їх територіях промислових підприємств та більш інтенсивного руху автотранспорту.

Екологічна ситуація за мутагенним фоном м. Рівному оцінюється як «задовільна», а територія м. Жовті Води як «катастрофічна». Поряд із цим, нами була встановлена взаємозалежність між показниками, які належать до груп індикаторів біотестування, а саме: МЯ-індексу слизової оболонки ротової порожнини дітей дошкільного віку м. Рівного, частоти стерильності клітин зерен пилку рослин-індикаторів, що ростуть на досліджуваних тест-полігонах, поширеності хвороб органів дихання населення.

У результаті кореляційного та регресійного аналізу було отримано залежності, які при коефіцієнтах детермінації R^2 від 0,361 до 0,681 мають вид зростаючих прямих (табл. 4). Згідно з отриманими залежностями при концентрації оксиду карбону у повітрі міста $1,4 \text{ мг/м}^3$ (2,8 ГДК мр) УПУ₁ рослин біоіндикаторів досягне значень

0,60, а УПУ₂ біосистем значень 0,19.

Таблиця 4

Залежність показників індикаторів від максимально разових концентрацій оксиду карбону, мг/м³

Назва показника	Вид залежності	Коефіцієнт детермінації
Умовний показник ушкодження рослин-біоіндикаторів УПУ ₁	$УПУ=0,349x+0,11$	0,681
МЯ-індекс слизової оболонки ротової порожнини дітей дошкільного віку	$МЯ-інд.=0,02125x+0,0061$	0,361
Умовний показник ушкодження біосистем УПУ ₂	$УПУ_2=0,0706x+0,0902$	0,365
Поширеності хвороб органів дихання, у ₁ на 1000 населення	$y_1=1,4196x^2-46,249x+83,363$	0,580

Примітка: x – максимальна разова концентрація оксиду карбону, мг/м³

Розрахунки і дані досліджень засвідчують, що вразливість зерен пилку рослин-біоіндикаторів була значно вищою (за ушкодженням) в порівнянні з МЯ-індексом, що пояснюється вищою стійкістю до несприятливих екологічних чинників дітей у порівнянні з зернами пилку рослин-індикаторів [9].

Підтвердженням цього факту можуть бути дані, отримані Руденко С. С. та Морозовою Т. В. при оцінці цитогенетичного ризику території Чернівецької області, згідно з якими найвищі значення індексу хромосомних порушень кореневих систем *Allium séra* L. (цибулі) було виявлено саме в тих точках біомоніторингу, де зареєстровано максимальні значення мікроядерного індексу людини [10].

Одночасно ці автори засвідчують, що в деяких точках моніторингу виявлено високі значення індексу хромосомних порушень кореневих меристем цибулі на фоні невисоких значень МЯ-індексу людини, що може свідчити про специфічну чутливість першої тест-ознаки до екологічних чинників, які не впливають на спадковий матеріал людини.

Поряд із цим для підтвердження фактів впливу забруднювачів атмосферного повітря на біологічні об'єкти нами був також проведений кореляційний і регресійний аналіз впливу обсягів викидів забруднюючих речовин до атмосфери міста та рівнями

захворюваності населення.

Установлено, що зростання поширеності хвороб серед населення міста впродовж 1996–2020 рр. відбувається майже синхронно зі зростанням обсягів викидів забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел. Отримані математичні моделі, що описують залежність видів захворювань і сумарних викидів, мають вид степеневих і поліноміальних залежностей. Тісний кореляційний зв'язок ($R^2=0,8-0,95$) між сумарними викидами забруднюючих речовин і хворобами встановлений для наступних видів захворювань: цукрового діабету; ендокринної системи; крові й кровотворних органів; нервової системи; розладів психіки та поведінки; ішемічної хвороби серця; гострого інфаркту міокарда; інсультів; вроджених аномалій; вегето-судинної дистонії.

Отже, зростання поширеності хвороб серед населення міста під впливом зростаючих обсягів викидів забруднюючих речовин до атмосфери також засвідчує, що зростає забруднення урбоєкосистеми м. Рівне.

Для зниження захворюваності населення міста необхідно скорочувати обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря шляхом заміни маршрутних таксі на багатомісні автобуси, введення в експлуатацію об'їзної дороги сполучення Луцьк – Житомир, організації одностороннього руху автотранспорту на паралельних центральних вулицях Степана Бандери, Соборна, Чорновола, Княгині Ольги.

Збільшення площ зелених насаджень у місті здійснювати посадкою дерев і кущів стійких до дій екологічних факторів, а саме: ялівця козацького (*Juniperus Sabina* L.); липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.); калини звичайної (*Viburnum opulus* L.); берези повислої (*Betula pendula* Roth.); горобини домашньої (*Sorbus domestica* L.); тополі пірамідальної (*Populus italic* Du Roi).

Висновки. На формування екологічного стану м. Рівне впродовж 1996–2017 рр. впливали такі антропогенні чинники, як викиди шкідливих речовин в атмосферу від підприємств у кількості 2060,4–5889,5 т на рік, пересувних джерел – 6820–16200 т на рік. Зростання поширення більшості хвороб у населення м. Рівного відбувається під впливом зростаючих обсягів надходження до атмосферного повітря міста забруднюючих речовин від пересувних джерел. Збільшення показників захворюваності дитячого та дорослого населення міста корелює ($R^2>0,7$) з величинами обсягів викидів забруднюючих речовин як від стаціонарних, так і від пересувних джерел, а також величинами сумарних викидів від них. За показниками

цитогенетичного моніторингу урбоекосистема м. Рівного поділена на зони найбільшого (перевищення ГДК забруднюючих речовин становить 3–4 рази) та найменшого (перевищення ГДК забруднюючих речовин становить 1–2 рази) забруднення атмосферного повітря. Ці зони відрізняються наявністю або відсутністю промислових підприємств, інтенсивністю руху автотранспорту та характером забудови. Застосування тест-системи *Taraxacum officinalis* Webb дало змогу виявити на тест-полігонах II, VII небезпечну категорію екологічної безпеки території, критичний стан біоіндикаторів, вищий за середній рівень ушкодженості біоіндикаторів. На тест-полігонах I, VIII, IX, XII – помірно небезпечну категорію, конфліктний і загрозливий стан біоіндикаторів, середній рівень їх ушкодженості. На тест-полігонах X, XI – безпечну категорію екологічної безпеки території, еталонний і сприятливий стан біоіндикаторів, низький і нижчий за середній рівень їх ушкодженості. Генетичні зміни у клітинах слизової оболонки порожнини рота дітей дошкільного віку, які проживають на тест-полігонах із різним техногенним навантаженням, характеризуються різними показниками МЯ-індексу на одну клітину (0,017–0,037) та умовним показником пошкоджуваності (0,094–0,203). У групах дітей підвищеного генетичного ризику в техногенно навантажених тест-полігонах МЯ-індекс складає 0,201–0,037, а УПП – 0,117–0,203, що є індикатором їх більш поглибленого медичного обстеження з метою подальшого обслуговування. Урбоекосистема м. Рівного перебуває на рівні «нижчий за середній» генетичних ушкоджень, «насторожуючий» за станом біосистеми, «задовільний» за мутагенним фоном. Розроблені на підставі досліджень за цитогенетичним тестом і передані до міської ради Рівного рекомендації щодо доцільності переходу існуючих в місті маршрутних таксі на багатомісні автобуси типу «Євро-5», фінансування будівництва об'їзної траси сполученням Луцьк – Житомир і реорганізації системи дорожнього руху в місті, а саме: організації одностороннього руху транспорту центральною вулицею міста та паралельною вулицею для більшої їх пропускної здатності. Перспективними дослідженнями з інтегральної оцінки стану урбоекосистем слід вважати розробку методу поєднання показників цитогенетичного моніторингу за тест-системою «Стерильність пилку рослин-біоіндикаторів», тестом «Частота епітеліоцитів з мікроядрами в слизовій оболонці ротової порожнини дітей дошкільного віку» та густини потоку радону з ґрунту.

1. Bolognesi C., Bonassi S., Knasmueller S., Fenech M., Bruzzone M., Lando C., Ceppi M. Clinical application of micronucleus test in exfoliated buccal cells: A systematic review and meta-analysis. *Mutation Research Reviews in Mutation Research*. 2015. Vol. 766. P. 20–31. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2015.07.002>.
 2. Fenech M., Knasmüller S.,
- 92

Bolognesi C., Holland N., Bonassi S., Kirsch-Volders M. Micronuclei as biomarkers of DNA damage, aneuploidy, inducers of chromosomal hypermutation and as sources of pro-inflammatory DNA in humans. *Mutation Research – Reviews in Mutation Research*. 2020. Vol. 786. Article 108342. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2020.108342>. **3.** Leonardi S., Poma A. M. G., Colafarina S., D'Aloisio F., Scatigna M., Zarivi O., Mastrantonio R., Tobia L., Fabiani L., Leila Fabiani L. Early genotoxic damage through micronucleus test in exfoliated buccal cells and occupational dust exposure in construction workers: a cross-sectional study in L'Aquila, Italy. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020. Vol. 203. Article 110989. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110989>. **4.** Горова А. І., Бобир Л. Ф., Скворцова Т. В., Дігурко В. М., Климкіна І. І. Методологічні аспекти оцінки мутагенного фону та генетичного ризику для біоти та людини від дії мутагенних екологічних факторів. *Цитологія та генетика*. 1996. № 6 (30). С. 78–86. URL: <https://eurekamag.com/research/047/681/047681438.php>. (дата звернення: 10.02.2026). **5.** Клименко М. О., Хомич Н. Р. Аналіз впливу екологічних факторів на стан здоров'я населення міста Рівне. *Вісник НУВГП: зб. наук. праць*. Рівне, 2007. Вип. 3 (39). С. 97–102. **6.** Rindita, Sudirman L. I., Koesmaryono Y. Air Quality Bioindicator Using the Population of Epiphytic Macrolichens in Bogor City, West Java. *HAYATI Journal of Biosciences*. 2015. Vol. 22, Issue 2. P. 53–59. URL: <https://doi.org/10.4308/hjb.22.2.53>. **7.** Schmid W. The micronucleus test. *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects*. 1975. Vol. 31, Issue 1. P. 9–15. URL: [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(75\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0165-1161(75)90058-8). **8.** Коршиков І. І., Гнатів П. С. Урботехногенне середовище як інтегральний чинник пристосування рослин. *Пром. Ботаніка*. 2003. Вип. 3. С. 78–82. URL: <https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/66148>. (дата звернення: 10.02.2026). **9.** Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2018 р. Рівне : Рівненська обласна державна адміністрація, 2019. 300 с. **10.** Руденко С. С., Морозова Т. В. Методика оцінки цитогенетичного ризику територій (на прикладі Чернівецької області). *Система управління екологічними ризиками: наука і практика* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2007. С. 75–79.

REFERENCES:

1. Bolognesi C., Bonassi S., Knasmueller S., Fenech M., Bruzzone M., Lando C., Ceppi M. Clinical application of micronucleus test in exfoliated buccal cells: A systematic review and metanalysis. *Mutation Research Reviews in Mutation Research*. 2015. Vol. 766. P. 20–31. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2015.07.002>. **2.** Fenech M., Knasmüller S., Bolognesi C., Holland N., Bonassi S., Kirsch-Volders M. Micronuclei as biomarkers of DNA damage, aneuploidy, inducers of chromosomal hypermutation and as sources of pro-inflammatory DNA in humans. *Mutation Research – Reviews in Mutation Research*. 2020. Vol. 786. Article 108342. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2020.108342>. **3.** Leonardi S., Poma A. M. G., Colafarina S., D'Aloisio F., Scatigna M., Zarivi O., Mastrantonio R., Tobia L., Fabiani L., Leila Fabiani L. Early genotoxic damage through micronucleus test in exfoliated buccal cells and occupational dust exposure in construction workers: a cross-sectional study in L'Aquila, Italy. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020. Vol. 203. Article 110989. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110989>. **4.** Horova A. I., Bobyr L. F., Skvortsova T. V., Dihurko V. M., Klymkina I. I. Metodolohichni aspekty otsinky

mutahennoho fonu ta henetychnoho ryzyku dlia bioty ta liudyny vid dii mutahennykh ekolohichnykh faktoriv. *Tsytolohiia ta henetyka*. 1996. № 6 (30). S. 78–86. URL: <https://eurekamag.com/research/047/681/047681438.php>. (data zvernennia: 10.02.2026). **5.** Klymenko M. O., Khomych N. R. Analiz vplyvu ekolohichnykh faktoriv na stan zdorovia naselennia mista Rivne. *Visnyk NUVHP* : zb. nauk. prats. Rivne, 2007. Vyp. 3 (39). S. 97–102. **6.** Rindita, Sudirman L. I., Koesmaryono Y. Air Quality Bioindicator Using the Population of Epiphytic Macrolichens in Bogor City, West Java. *HAYATI Journal of Biosciences*. 2015. Vol. 22, Issue 2. P. 53–59. URL: <https://doi.org/10.4308/hjb.22.2.53>. **7.** Schmid W. The micronucleus test. *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects*. 1975. Vol. 31, Issue 1. P. 9–15. URL: [https://doi.org/10.1016/0165-1161\(75\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0165-1161(75)90058-8). **8.** Korshykov I. I., Hnativ P. S. Urbotekhnohenne seredovyshe yak intehralnyi chynnyk prystosuvannia roslyn. *Prom. Botanika*. 2003. Vyp. 3. S. 78–82. URL: <https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/66148>. (data zvernennia: 10.02.2026). **9.** Dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Rivnenskkii oblasti u 2018 r. Rivne : Rivnenska oblasna derzhavna administratsiia, 2019. 300 s. **10.** Rudenko S. S., Morozova T. V. Metodyka otsinky tsytohenetychnoho ryzyku terytorii (na prykladi Chernivetskoi oblasti). *Systema upravlinnia ekolohichnymy ryzykamy: nauka i praktyka* : materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii. K. : Tsentr ekolohichnoi osvity ta informatsii, 2007. S. 75–79.

Klymenko O. M. ^[1; ORCID ID: 0000-0002-2047-8824],

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,

Klymenko L. V. ^[1; ORCID ID: 0000-0002-0591-9265],

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor,

Kaskiv M. V. ^[1; ORCID ID: 0000-0002-6914-0867],

Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Associate Professor

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

CYTOGENETIC MONITORING AS THE METHOD OF INTEGRAL EVALUATION OF URBAN SYSTEM STATE OF RIVNE

There is regularly registered exceeding of norms in the atmospheric air of Rivne as to the content of nitrogene dioxide, benzopyrene, carbon oxide, phenol dioxide of sulphur, formaldehyde and other mutagens.

The object of the work was aimed at the evaluation of urban ecosystem state of Rivne as to the indices of cytogenetic monitoring.

The following methods have been used: according to the test: «The frequency of epithelium-cytes with micronucleus in the mucous coat of oral cavity for pre-school age children (MN test)» and the test-system *Taraxacum officinalis* Webb «The sterility of plants-bioindicators pollen».

The statistic working up of the research results was carried out using the block of programmes Microsoft Office 2007.

Scientific novelty and practical significance of the work was based on

the evaluation of ecological state of the city according to the test «The sterility of pollen *Taraxacum Officinalis* Webb».

On the whole, within the years 2006–2007 ecological situation in the city according to this test is estimated as moderately dangerous with conflict and threatening state of bioindicators and medium level of their damage.

As for the concentration of CO dispersion there were discovered zones of the highest pollution of the atmospheric air of Rivne Simultaneously biotesting by micronucleus test of the children under school age residing the areas of twelve test-zones was carried out.

It is ascertained that medium value of micronucleus index in the test-zones reached the value from the lowest 0,017 to the highest 0,037 (medium $0,028 \pm 0,001$).

The highest values of micronucleus index were discovered in the territories of the city where there are located enterprises and where there is intensive traffic. The lowest ones were discovered in the territory with one-storeyed buildings.

On the whole, within the years 2011-2015 ecological situation of the city according to micronucleus test is estimated as satisfactory with alerting state of biosystems and lower than medium level of genetic damage.

It is confirmed that the growth of summary volumes of pollutants emission coming into the city atmosphere is accompanied by the growth of diseases being spreading among city residents.

Key words: biotesting; plants-bioindicators; conventional indicator of damage; epithelium cells; micronucleus test; cytogenetic damage; mucous coat; ecological condition; test-zone; morbidity.

Отримано / Received: 02.03.2026

Прийнято до друку / Accepted: 16.03.2026

Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Klymenko O. M., Klymenko L. V., Kaskiv M. V.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)