

унікальних природних об'єктів, доміантною чертою которых являється рельєф горбогорного типу. В качестве модельного об'єкта вибран Мизоцький кряж (МК) как сложный природно-антропогенный комплекс с оригинальным сочетанием природных, природно-антропогенных и антропогенных компонентов геосистем. Построена и обоснована концептуальная модель геоэкологического исследования горбогорных регионов на примере Мизоцкого кряжа. С помощью современных программ обработки геопространственных данных с использованием ДЗЗ созданы геоинформационные модели, отражающие экологическое состояние компонентов окружающей среды МК. Итоговим етапом исследования выступает модель районирования территории исследований по величине показателя геоэкологического напряжения. Опираясь на результаты исследования, мы предложили систему мероприятий по улучшению экологического состояния МК.

Ключевые слова: геоинформационное моделирование, геоэкологическая ситуация, антропогенная нагрузка, Мизоцкий кряж.

Zhdanyuk Bogdan, Andreychuk Yuriy, Kovalchuk Ivan. The Mizoch ridge territory GIS mapping of geoecological situation. The GIS use methodological approaches for estimation conditions modelling of unique hump mountain regions type was setting out. As a model place was selected Mizoch ridge, as complicated nature-anthropogenic complex with unique characteristics set of environmental components, which describe his geoecological state at all. A conceptual model of hump mountain regions geoecological research on example of Mizoch ridge was creating and grounding. Based on geospatial data processing modern software and using RS imagery was creating geoinformational models, which represent environment components ecological state of Mizoch ridge. As final stage was researched territory zoning model creation by geoecological tension quantity. Rely on research results was proposed arrangements system for improving ecological state of Mizoch ridge.

Key words: GIS modeling, geoecological situation, anthropogenic pressure, Mizoch ridge.

Стаття надійшла до редколегії
22.01.2015 р.

УДК 504.064.3:574

**Ольга Кравченко
Віктор Максін**

Оцінка чутливості *Daphnia magna* до дії наноаквацитратів цинку *in vivo*

Досліджено токсичність цитратованих наночастинок цинку, отриманих ерозійно-вибуховою нанотехнологією, для *D. magna* методами біотестування. Визначено токсикометричні показники за допомогою пробіт-аналізу. Оцінено можливість використання різних концентрацій препарату на практиці.

Ключові слова: токсичність, наноаквацитрати, *Daphnia magna*, біотестування, пробіт-аналіз

Постановка наукової проблеми та її значення. Перше десятиліття ХХІ ст. характеризується бурхливим розвитком нанотехнологій, спрямованих на одержання нових видів матеріалів, що складаються з наночастинок. Проте їх широке практичне впровадження можливе лише за умов усебічного дослідження токсикологічних аспектів впливу наночастинок на біоту та навколишнє середовище. Особливо цінну інформацію можна отримати, вивчаючи гідроекосистеми, оскільки саме вони здатні накопичувати поллютанти з усієї водозбірної площі та найуразливіші до забруднень [5; 7].

Біотестування як інтегральний метод оцінки токсичності водного середовища – не тільки важливе доповнення до наявної системи хіміко-аналітичного контролю водних об'єктів, а й засіб отримання принципово нової інформації щодо складу та властивостей поллютантів [4; 12]. На відміну від фізичних та хімічних підходів до оцінки ризику, біологічне тестування має прогностичне значення – за станом біоти, її кількісними та якісними порушеннями можна передбачати зміни, які очікують на живі організми при такому рівні забруднення [2].

Розповсюдження безхребетних у прісних та солоних водоймах зумовлює використання їх як аналітичних індикаторів якості гідроекосистем. Як тест-об'єкти застосовують циклопів, амфіпод, артемій [10], однак найрозповсюдженішим є *Daphnia magna* – планктонний ракоподібний з підряду гіллястовусих (*Cladocera*), який відповідає низці вимог до біотестів: доступність у природі, простота

лабораторного утримування, високий темп розмноження та достатні для візуального спостереження розміри [1]. Дафнії як фільтратори відіграють важливу роль у процесах самоочищення гідроєко-систем і їх трофодинаміці. Встановлено, що молодь *D. magna* сенситивніша до дії поллютантів, тому рекомендовано як біотести використовувати ракоподібних віком 15 – 26 годин [12].

Доведено [6; 8, с. 7] інгібуючу дію металів на репродуктивну функцію особин: зростання періоду ембріонального розвитку, зменшення чисельності народженої молоді, сповільнення швидкості статевого дозрівання.

Таким чином, **мета дослідження** – оцінити токсичність різних концентрацій наноаквацитратів цинку для *D. magna* за показниками виживаності та розмноження, а також обґрунтувати можливість практичного використання препаратів.

Матеріали та методи досліджень. Вплив наноаквацитратів на дафній вивчали за стандартними методиками, затвердженими як національні стандарти України, які в модифікованій формі відповідають міжнародним – ISO 6341:1996 і ISO 10706:2000.

Суть методів полягає в реєстрації різниці між виживанням або плодючістю дафній у контролі (культуральне середовище), приготовленому у лабораторних умовах (табл. 1), та в досліджуваних розчинах, приготовлених способом додавання до контролю різних концентрацій наноаквацитратів цинку.

Таблиця 1

Вміст солей у культуральному середовищі

$\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мг·дм ⁻³	NaHCO_3 , мг·дм ⁻³	KCl, мг·дм ⁻³	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мг·дм ⁻³	pH	Жорсткість, мг·дм ⁻³	Лужність, мг·дм ⁻³
60	96	4	60	7,4–7,8	80–100	60–70

Біотестування проводили на синхронізованій культурі лабораторії біомаркерів та біотестування вод ІКХХВ ім. А. В. Думанського.

Для випробування на дафніях використовували посудини місткістю 100 см³, у які наливали по 80 см³ випробуваного розчину. У кожен ємність поміщали по 10 дафній. Експерименти проводили в трьох повторностях. Для оцінки токсичності розчинів наноаквацитратів за критеріями виживаності та плодючості підтримували оптимальну температуру повітря 20 ± 2 °С, тривалість світлової доби – 16 год. Експоновані проби розчинів не аерували.

Під час оцінки гострої токсичності наноаквацитратів (тривалістю 96 год) облік *D. magna* проводили через 1, 6, 24, 48, 72, 96 год; живими вважалися особини, які вільно пересувалися у водній товщі або спливали з дна ємності не пізніше ніж через 15 с після легкого збовтування.

В експериментах обчислювали абсолютно летальну концентрацію (LC_{100}), вітальну, або недіючу, концентрацію (LC_0) і медіанну летальну концентрацію (LC_{50}). Медіанну летальну концентрацію розраховували за методом Міллера і Гейнтера, який дає змогу встановити довірчі межі похибок для значень LC_{50} [3]. Використовували програму MS Excel.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Проведено низку дослідів щодо впливу різних концентрацій наноаквацитратів цинку на процеси життєздатності дафній. Відзначалися показники смертності та морфологічні зміни. Дані щодо виживання рачків у культурному середовищі додаванні сполук цинку протягом 96-годинної експозиції представлено на рисунку 1.

При найбільших концентраціях наноаквацитратів цинку 0,5 – 1 мг/дм³ було зафіксовано повну загибель організмів на четверту добу досліду. При експозиції в 0,1 мг/дм³ препарату перший летальний випадок встановлено протягом другої доби проведення експерименту. Наприкінці досліду летальний ефект при вказаних концентраціях досягав майже 80 %, а в особин, які вижили, спостерігалися значні морфологічні відхилення – освітлення панцира, зменшення яєць у виводкових камерах. При концентрації сполук у діапазоні 0,025 – 0,05 мг/дм³ відмічено незначне зростання відсотка смертності порівняно з контролем. Тоді як у варіанті з концентрацією 0,05 мг/дм³ зрідка фіксували судомні, неупорядковані рухи антен. У контрольному варіанті та при концентрації 0,01 мг/дм³ летальних випадків морфологічних змін не зафіксовано.

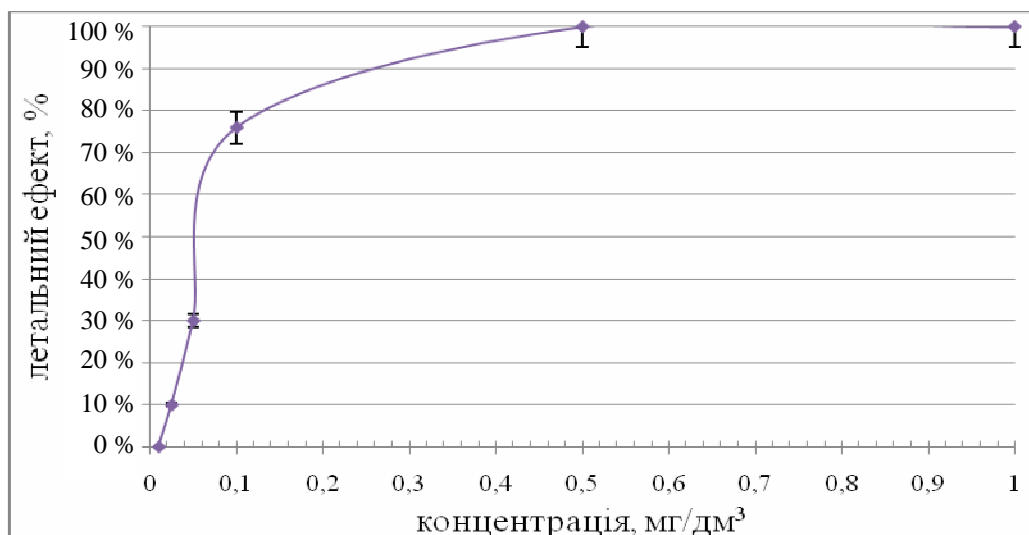


Рис. 1. Вплив різних концентрацій наноаквацитратів цинку при додаванні до культурального середовища на виживання *D. magna*

Проте ще із середини 1930-х рр. було показано, що залежність «доза–ефект», які виражені в координатах «концентрація (доза) речовини – процент лабораторних тварин, які мали біоефект», не підпорядковується закону нормального розподілення. При такому представленні немає можливості оцінити ефективність речовини та прогнозувати її дію при малій концентрації [9].

Експерти в галузі статистичних методів аналізу розробили спосіб обробки результатів спостережень – пробіт-аналіз, який ґрунтується на таких положеннях: на осі абсцис – відкладається логарифм дози, на осі ординат замість відсотків уражених тварин – величини ймовірності «пробіти» (англ. probability unites – probites). Конвертація відсотків у пробіти відбувається за допомогою аналітичних функцій і таблиць [3].

На рисунку 2 відображено «пробіт-аналіз» виникнення летальних ефектів у дафнії залежно від концентрацій наноаквацитратів цинку при 96-годинній експозиції. Крім того, подано значення коефіцієнтів кореляції, які виявилися досить високими.

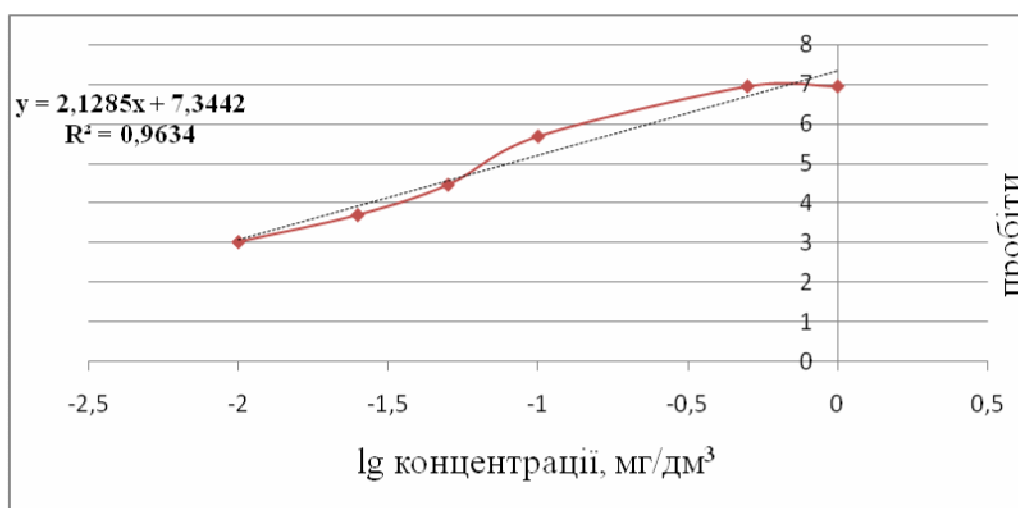


Рис. 2. Залежність «пробіт ефекту–логарифм концентрації» наноаквацитратів цинку для *D. magna*

У таблиці 2 наведено значення вітальних, летальних та медіанних концентрацій наноаквацитратів цинку, розраховані за методом Міллера і Тейнтера. Наведені вище показники використовуються у порівняльно-токсикологічних експериментах для виявлення механізму дії полютантів та екстраполювання отриманих даних на природні популяції тест-об'єктів [10].

Таблиця 2

Показники гострої токсичності наноаквацитратів цинку для молоді *D. magna*, мг/дм³

Експозиція, год	<i>LC 0</i>	<i>LC 50</i>	<i>LC 100</i>
24	0,025	0,282 ± 0,038	> 1,000
48	0,025	0,126 ± 0,028	0,633
72	0,010	0,072 ± 0,008	0,282
96	0,010	0,067 ± 0,013	0,189

Згідно із пробіт-аналізом кривих летальності медіанна концентрація наноаквацитратів цинку за результатами 96-годинних дослідів становить $0,067 \pm 0,008$ мг/дм³ (діапазон 0,059 – 0,075 мг/дм³).

Концентрацію 0,01 мг/дм³ наноаквацитратів цинку можна віднести до вітальної, оскільки вона не викликала порушень життєдіяльності та морфологічних змін у популяції дафній.

Репродуктивна функція лежить в основі існування та відтворення дафній. Від неї залежить вікова, статева та просторова структури популяції. Тест щодо пригнічення розмноження дафній є складником комплексу стандартів OECD, присвячених методам випробування хімічних речовин, які складають потенційну небезпеку для довкілля [4; 10].

Зважаючи на перераховані вище факти, наступним етапом досліджень було обрано оцінку дії наноаквацитратів на показники розмноження дафній.

Результати дослідження представлено на рисунку 3.

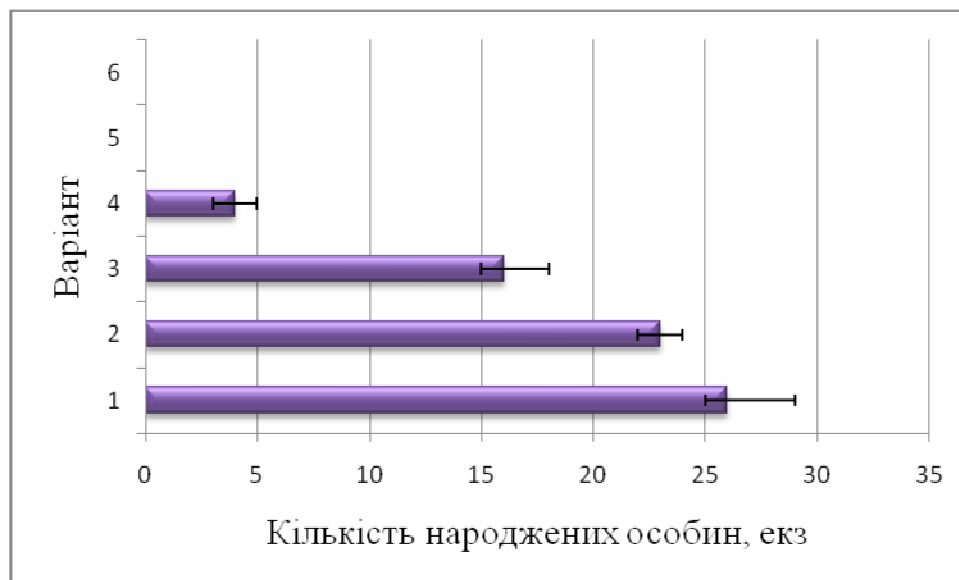


Рис. 3. Вплив наноаквацитратів цинку на репродукцію *D. magna*. Умовні позначення: 1 – контроль; 2 – 0,01 мг/дм³; 3 – 0,05 мг/дм³; 4 – 0,1 мг/дм³; 5 – 0,5 мг/дм³; 6 – 1,0 мг/дм³ ($p < 0,05$)

При експозиції дафній в 0,5 мг/дм³ та 1 мг/дм³ наноаквацитрату цинку 100 % смертність материнських особин наставала упродовж перших 96-ти год проведення експерименту, що унеможливило спостереження дії названих вище концентрацій на розмноження дафній.

При концентрації препаратів цинку 0,1 мг/дм³ кількість молоді становила 4 особини, що майже учетверо менше за показники в контрольній групі.

Особливу увагу привертає вплив концентрації наноаквацитратів цинку 0,05 мг/дм³ на дафній. Незважаючи на те, що летальний ефект перевищував контрольні значення всього на 20 %, середній показник кількості потомства був на рівні 61 % від контролю, тобто знижувався майже на 40 %. Отримані значення дають підстави вважати встановлену концентрацію речовини потенційно небезпечною для *D. magna* у природних гідроекосистемах. Через низьку народжуваність можна очікувати зміну вікової та просторової структури угруповання, що з часом може призвести до загибелі популяції дафній [Ошибка! Источник ссылки не найден.; 8].

При концентрації $0,01 \text{ мг/дм}^3$ наноаквацитратів цинку встановлено зниження народжуваності порівняно з контролем на 10 %, що входить в межі статистичної похибки. Порушень у розвитку яєць не було відмічено.

Висновки. Встановлено, що *D. magna* має високу чутливість до дії наноаквацитратів цинку і може використовуватися як тест-об'єкт для діагностики та оцінки ризику препаратів, отриманих методами нанотехнологій.

Згідно з пробіт-аналізом медіанна концентрація наноаквацитратів цинку за результатами 96-годинних дослідів становить $0,067 \pm 0,008 \text{ мг/дм}^3$ (діапазон $0,059 - 0,075 \text{ мг/дм}^3$).

Експериментально доведено, що діапазон концентрацій наноаквацитратів цинку $0,1-1 \text{ мг/дм}^3$ дуже токсичний для гіллястостусих ракоподібних, оскільки повністю пригнічує усі життєво важливі функції тест-об'єкта. Проте концентрації в межах $0,05 \text{ мг/дм}^3$ можна віднести до сублетальних, тому що їхня дія призводить до зниження репродуктивної функції дафній внаслідок загибелі яєць та ембріонів у виводкових камерах самок, що з часом може призвести до загибелі популяції дафній. Отримані дані свідчать про неприпустимість застосування названих вище концентрацій поблизу розташування водних об'єктів.

Аналіз результатів дослідження дає підстави стверджувати, що концентрації наноаквацитратів цинку $0,01 \text{ мг/дм}^3$ безпечні для планктонних тест-об'єктів і можуть використовуватися на практиці.

Джерела та література

1. Александрова В. В. Применение метода биотестирования в анализе токсичности природных и сточных вод (на примере Нижневартовского района Тюменской области) / В. В. Александрова. – Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. гос. гуманитар. ун-та, 2009. – 92 с.
2. Архипчук В. В. Биотестирование качества воды на клеточном уровне / В. В. Архипчук, В. В. Гончарук // Химия и технология воды. – 2001. – № 5. – С. 531–544.
3. Беленький М. Л. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л. : Медгиз, 1963. —152 с.
4. Брагинский Л. П. Биологические тесты как метод индикации токсичности водной среды / Л. П. Брагинский // Проблемы аналитической химии. – М. : Наука, 1977. – Т. 5. – С. 27–38.
5. Гандзюра В. П. Продуктивність біосистем у токсичному середовищі: автореф. дис ... д-ра біол. наук : 03.00.16 / Гандзюра В. П. ; Чернів. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича.– Чернівці, 2004.– 36 с.
6. Еколого-морфологічна характеристика роду *Daphnia* O. F. Muller, 1785 (Crustacea, Cladocera) Українського Розточчя [Електронний ресурс] / О. Р. Іванець // Біологічні студії. – 2014. – Т. 8, № 2. – С. 169–186. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/j-pdf/bist_2014_8_2_17.pdf
7. Злацький І. А. Особливості впливу іонів Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} на продукційні показники окремих гідробіонтів та їх популяцій : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16 / Злацький І. А. ; Нац. акад. наук України, Ін-т колоїд. хімії та хімії води ім. А. В. Думанського. – К., 2012. – 19 с.
8. Лесников Л. А. Сравнение различных методик проведения водно-токсикологических экспериментов / Л. А. Лесников // Изв. НИОРХ. – 1976. – С. 3–7.
9. Пробит-метод в оценке эффектов физиологически активных веществ при низких уровнях воздействия / Н. А. Лошадкин, В. Д. Гладких, В. А. Голденков и др. // Рос. хим. журн. – 2002. – Т.46, № 6. – С. 63–67.
10. Черкашин С. А. Биотестирование: терминология, задачи, основные требования и применение в рыбохозяйственной токсикологии / С. А. Черкашин // Изв. ТИПРО. 2001. – Т. 128. – С. 1020–1035.
11. Чувствительность *Daphnia magna* к действию пестицидов биогенного происхождения *in vivo* / Кулагина К. В., Коровина Е. В. [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 10–1. – С. 99–102.
12. Anderson B. G. The Apparent Thresholds of Toxicity to *Daphnia Magna* for Chlorides of Various Metals When Added to Lake Erie / Bertil G. Anderson // Water Transactions of the American Fisheries Society. – 1950, Vol. 78, Issue 1 – P. 96–113.

Кравченко Ольга, Максін Віктор. Оцінка чутливості *Daphnia magna* к действию наноаквацитратів цинка *in vivo*. Проведено дослідження токсичності різних концентрацій наноаквацитратів цинка для модельного об'єкта водної токсикології *Daphnia magna* методом біотестування. Визначено токсикометричні показники з допомогою пробіт-аналізу. По результатам 96-годинних дослідів медіанна концентрація наноаквацитратів цинка становить $0,067 \pm 0,008 \text{ мг/дм}^3$. Експериментально доведено, що діапазон концентрацій $0,1-1 \text{ мг/дм}^3$ являється остро токсичним для дафній і повністю подавляє всі життєво важливі функції тест-об'єкта.

Концентрації в межах $0,05 \text{ мг/дм}^3$ являються потенційно небезпечними для дафній, оскільки впливають на репродуктивну функцію внаслідок загибелі яєць та ембріонів у виводкових камерах самок. Такі порушення в

природных экосистемах неизменно приведут к возрастным и пространственным изменениям структуры популяций.

Установлено, что концентрации наноаквацитратов в пределах $0,01 \text{ мг/дм}^3$ являются безопасными для планктонных тест-объектов и могут быть использованы в практических целях.

Ключевые слова: токсичность, наноаквацитраты, *Daphnia magna*, биотестирование, пробит-анализ.

Kravchenko Olga, Maksin Viktor. Sensitivity *Daphnia Magna* to Action of zinc Nanoaquacitrates in Vivo.

The research of the toxicity of zinc nanoaquacitrates in various concentrations for modeling test-object of aqua toxicology (*Daphnia magna*) by bioassay method was conducted. It was identified the toxic metric parameters using probit-analysis. According to the results of 96-hour experiments, the median concentration zinc nanoaquacitrates was $0,067 \pm 0,008 \text{ mg / l}$. It was experimentally proved that the range of $0,1-1 \text{ mg / dm}^3$ of zinc nanoparticle was acutely toxic to *Daphnia* and completely inhibited all essential functions in the body of the test object. Concentration in the range of $0,05 \text{ mg/dm}^3$ was potentially dangerous for daphnia because impact on reproductive function due to loss of eggs and embryos in the brood pouch. These violations invariably led to changes of the age and spatial structure of populations in natural ecosystems. The concentrations of $0,01 \text{ mg / dm}^3$ were safe to plankton test-objects that's why can be used for practical purposes.

Key words: toxicity, nanoaquacirtate, *Daphnia magna*, bioassay, probit-analysis.

Стаття надійшла до редколегії
29.01.2015 р.

УДК 631.427 (477.81)

**Віта Стернік
Віталій Марциновський
Віра Мельник**

Вміст ферменту каталази в ґрунті на території АЗС м. Рівного

У статті досліджено ступінь збагачення ґрунту ферментом каталази в районі розміщення автозаправних станцій в м. Рівному. Відповідно до шкали оцінки ступеня збагачення ґрунту ферментами встановлено, що більшість ґрунтів на території АЗС міста охарактеризовані середнім та низьким ступенем збагаченості ґрунту ферментом каталази.

Ключові слова: збагачення ґрунту ферментом каталази, забруднення, АЗС, оцінка.

Постановка наукової проблеми та її значення. Забруднення навколишнього середовища на урбанізованих територіях із високою концентрацією промисловості, де проживає значна частина населення, призвело до значних якісних та кількісних змін у стані довкілля, що спричиняє серйозну небезпеку для здоров'я населення.

Охорона земель – проблема сьогодення, оскільки стан земельних ресурсів є передумовою національної безпеки кожної держави. **Актуальність** роботи зумовлена тим, що досі не піднімалося питання оцінки забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Рівного.

Аналіз досліджень цієї проблеми. Безпека довкілля значною мірою залежить від санітарного стану ґрунту, який є екологічним вузлом зв'язків біосфери, де найбільш інтенсивно відбувається взаємодія живої та неживої матерії. Він акумулює забруднення у значно більших обсягах, ніж атмосфера та природні води [5]. Саме в кумулятивному ефекті полягає особлива небезпека забруднень ґрунтів. При цьому небезпеку для здоров'я населення створює довготривала хронічна дія малих доз токсичних речовин, що може призвести до виникнення прихованої або явної патології.

У самоочищенні ґрунтів від забруднень головну роль відіграють ґрунтові мікроорганізми, а швидкість цього процесу зазвичай значно вища, ніж природних вод або атмосфери. Для контролю за змінами у ґрунтах, які виникають при надходженні до них забрудників, можна використовувати показники, що характеризують стан ґрунтової біоти та біологічну активність ґрунту. Безпосереднім показником останньої є рівень каталазної активності.