

ВІСНИК

Національного університету
водного господарства та
природокористування

ISSN 2306-5478

В И П У С К 4(108)

<https://doi.org/10.31713/vs420240>

Заснований
у 1999 р.

Збірник наукових праць
затверджений
Наказом Міністерства освіти і науки
України № 1188
від 04 вересня 2020 р. категорія «Б»
спеціальності – 101, 201

Збірник наукових праць

**Сільськогосподарські
науки**

Адреса редколегії:
33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11,
НУВГП

Телефон: (0362)63-57-31

У збірнику опубліковані наукові статті з екології, сільськогосподарських меліорацій (сільськогосподарські науки), агрогрунтознавства та агрофізики, раціонального використання природних ресурсів, водних біоресурсів. Призначений для наукових працівників, інженерів, аспірантів та студентів навчальних закладів.

Головний редактор: Мошинський В. С.,

д.с.-г.н., професор, ректор.

Заступник головного редактора: Савіна Н. Б.,

д.е.н., професор, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків.

Відповідальний секретар: Вознюк Н. М.,

к.с.-г.н., професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Редакційна колегія:

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства (НУВГП, Рівне)

Прищеп А. М., д.с.-г.н., професор, директор навчально-наукового інституту агроекології та землеустрою (НУВГП, Рівне)

Лико Д. В., д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри екології, географії та туризму (Рівненський державний гуманітарний університет, Рівне)

Польовий В. М., д.с.-г.н., професор, академік НААН України, професор кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства (НУВГП, Рівне)

Скрипчук П. М., д.е.н., професор, професор кафедри менеджменту (НУВГП, Рівне)

Гриб Й. В., д.б.н., професор, професор кафедри водних біоресурсів (НУВГП, Рівне)

Клименко О. М., д.с.-г.н., професор, професор кафедри туризму та готельно-ресторанної справи (НУВГП, Рівне)

Бєдункова О. О., д.б.н., професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства (НУВГП, Рівне)

Гроховська Ю. Р., д.с.-г.н., професор, професор кафедри водних біоресурсів (НУВГП, Рівне)

Лисиця А. В., д.б.н., професор, професор кафедри екології, географії та туризму (Рівненський державний гуманітарний університет, Рівне)

Мудрак О. В., д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри екології, природничих та математичних наук (Комунальний вищий навчальний заклад «Вінницька академія неперервної освіти» (м. Вінниця)

Вознюк Н. М., к.с.-г.н., професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства (НУВГП, Рівне)

Ковальчук Н. С., к.с.-г.н., доцент, доцент кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства (НУВГП, Рівне)

Ліхо О. А., к.с.-г.н., доцент, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства (НУВГП, Рівне)

Личук Тарас, Міністерство сільського господарства Канади, головний науковий співробітник, керівник дослідницької програми точного землеробства, Ph.D (Оттава, Канада)

Панасюк Даміан, доктор філософії (Wydział Inżynierii Środowiska), професор факультету біології та екології, Університет кардинала Стефана Вишинського (м. Варшава, Польща)

Матеріали збірника розглянуто і рекомендовано до видання
Вченою радою університету 29 листопада 2024 р., протокол № 11.
Ідентифікатор медіа: R30-05354

Адреса редколегії: 33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11, НУВГП
© Національний університет водного господарства
та природокористування, 2024
<https://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/agri>

BULLETIN
NATIONAL UNIVERSITY OF
WATER AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

ISSN 2306-5478
VOLUME 4(108)

<https://doi.org/10.31713/vs420240>

Founded
In 1999

The given Collection of Scientific Papers
is approved by the Decree of the
Ministry of Education and Science of
Ukraine # 1188 dated September
4, 2020, category "B" (majors: 101, 201)

Collection of Scientific Papers

Agricultural Sciences

Scientific Editorial Board Address:
33028 Rivne, vul. Soborna, 11, NUWEE

Tel: (0362)63-57-31

© National University of Water and
Environmental Engineering, 2024

The collection contains scientific papers on ecology, agricultural reclamation (agricultural sciences), agricultural soil science and agrophysics, rational use of natural resources and water bioresources. The given Bulletin is designed for scientists, engineers, graduate students and undergraduate students of educational establishments.

Senior Editor: Moshynskiy V. S.,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Rector.

Deputy Editor: Savina N. B., Doctor of Economics, Professor,

Vice-Rector for Research and International Relations.

Executive Secretary: Vozniuk N. M.,

Candidate of Agricultural Sciences, Professor, Professor of

Ecology, Technologies of Environmental Protection and Forestry Department.

Scientific Editorial Board:

Klymenko M. O., Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Head of Ecology, Technologies of
Environmental Protection and Forestry Department
(NUWEE, Rivne)

Pryshchepa A. M., Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Director of
Institute of Agroecology and Land
Management (NUWEE, Rivne)

Lyko D. V., Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Head of Ecology,
Geography and Tourism Department (Rivne State
Humanitarian University)

Polovyi V. M., Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Academician of NAAS of Ukraine,
Professor of Agrochemistry, Soil Science and
Agriculture Department (NUWEE, Rivne)

Skrypchuk P. M. Doctor of Economics, Professor,
Professor of Management Department
(NUWEE, Rivne)

Hryb Y. V., Doctor of Biological Sciences, Professor,
Professor of Water Bioresources Department
(NUWEE, Rivne)

Klymenko O. M., Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Professor of Tourism and Hotel and
Restaurant Business Department
(NUWEE, Rivne)

Biedunkova O. O., Doctor of Biological Sciences,
Professor, Professor of Ecology, Technologies of
Environmental Protection and Forestry Department
(NUWEE, Rivne)

Hrokhovska Y. R., Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Professor of Water Bioresources
Department (NUWEE, Rivne)

Lysytsia A. V., Doctor of Biological Sciences, Professor,
Professor of Ecology, Geography and Tourism
Department (Rivne State Humanitarian University)

Mudrak O. V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Head of the Department of Ecology, Natural and
Mathematical Sciences (Municipal Higher Educational
Institution «Vinnytsia Academy of Continuing
Education») (Vinnytsia)

Vozniuk N. M., Candidate of Agricultural
Sciences, Professor, Professor of the Department of
Ecology, Technologies of Environmental
Protection and Forestry (NUWEE, Rivne)

Kovalchuk N. S., Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor of Ecology, Technologies of
Environmental Protection and Forestry Department
(NUWEE, Rivne)

Likho O. A., Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor of Ecology, Technologies of
Environmental Protection and Forestry Department
(NUWEE, Rivne)

Lychuk Taras, Department of Agriculture
of Canada, chief researcher, head of the
research program of precision agriculture, Ph.D
(Ottawa, Canada)

Panasiuk Damian, Doctor of Philosophy, Professor of
Biology and Environmental Sciences Faculty, Cardinal
Stefan Wyszyński University in Warsaw (Warsaw,
Poland)

All papers have been reviewed and accepted for publication
by the Academic Council of the University on November 29, 2024,
Academic Council Meeting Minutes #11.
Media identifier: R30-05354

Scientific Editorial Board Address: 33028, Rivne, vul. Soborna, 11, NUWEE
© National University of Water and Environmental Engineering, 2024
<https://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/agri>

Бєдункова О. О., д.б.н., професор; Кузнєцов П. М., здобувач третього рівня вищої освіти (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua; p.m.kuznietsov@nuwm.edu.ua)

ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ВАРІАЦІЙ КОНЦЕНТРАЦІЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ПОВЕРХНЕВИХ ВОДАХ

Забруднення водних екосистем важкими металами є однією з ключових екологічних проблем, оскільки ці елементи мають токсичний вплив на водні організми та можуть накопичуватися в харчових ланцюгах, негативно впливаючи на здоров'я людини. Метою представлених досліджень був аналіз вмісту важких металів (Mn, Cr, Cu, Cd, Pb та Zn) у воді річки Стир за допомогою багатофакторних статистичних методів для ідентифікації можливих джерел забруднення та визначення мінливості їх концентрацій. Річка Стир зазнає антропогенне навантаження, включаючи ділянку річки в зоні впливу Рівненської атомної електростанції. Дослідження проводили за вмістом важких металів у воді р. Стир протягом 2023 р. Дані про концентрацію важких металів отримували на підставі аналітичного стандартизованого методу оптичної емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою. Статистичний аналіз варіацій вмісту важких металів у воді річки Стир виявив коливання концентрацій елементів, зокрема Mn, Zn та Cu, що вказує на вплив зовнішніх чинників і зміну джерел забруднення протягом року. Найбільш стабільними були концентрації Cd, що свідчить про постійне джерело забруднення. Кореляційний аналіз показав середню позитивну кореляцію між Mn, Pb і Zn, а також між Cu, Cd і Cr, що вказує на спільні джерела їх надходження. Аналіз головних компонентів підтвердив ці висновки, виокремивши дві групи металів з подібними характеристиками. Сезонні коливання концентрацій показали, що Mn і Zn були вищими зимою, а Cu – навесні та влітку.

Представлене дослідження важливе для розуміння джерел надходження та поведінки важких металів у водних екосистемах,

що є актуальною проблемою для охорони довкілля та здоров'я населення.

Ключові слова: важкі метали; поверхневі води; оптична емісійна спектроскопія; кореляційний аналіз; аналіз головних компонентів.

Вступ. Високий рівень важких металів (ВМ) у воді може мати серйозні наслідки для місцевих біоценозів та населення, яке використовує воду річки для питних та побутових потреб. Відсутність систематичної інформації про концентрації важких металів у воді р. Стир може ускладнювати розробку ефективних заходів для зниження рівня їх забруднення. У цьому дослідженні використано методи кореляційного аналізу [1] та аналізу головних компонентів (Principal Component Analysis, PCA) [2]. PCA є статистичним методом, який використовується для зниження розмірності даних шляхом перетворення оригінальних змінних у новий набір змінних, які називаються головними компонентами (Principal Component, PCi). Ці компоненти є лінійними комбінаціями вихідних змінних і представляють основні напрями варіації даних. Метод PCA вважає PCi напрямки, які пояснюють найбільшу частину варіації в даних. Перший головний компонент (PC1) є напрямом, що пояснює найбільшу дисперсію даних, другий головний компонент (PC2) – найбільшу дисперсію, що залишилася після врахування першого компонента, і так далі. Важливою особливістю є те, що ці компоненти є ортогональними, тобто вони не корелюють між собою та дозволяє дослідити варіації концентрацій, визначити ступінь зв'язку між концентраціями металів та ідентифікувати можливі джерела їх надходження. Це сприятиме більш точному визначенню основних факторів, що впливають на варіації концентрацій ВМ та розробці ефективних заходів для покращення якості води в річці Стир. Актуальність цього дослідження спрямована на виявлення закономірностей формування концентрацій ВМ у природних водах для розробки ефективних стратегій управління водними ресурсами. Дослідження спрямоване на вирішення актуальних наукових завдань, зокрема встановлення взаємозв'язків між концентраціями важких металів у воді та ідентифікацію джерел забруднення. Практичні завдання дослідження включають визначення основних факторів, що обумовлюють варіації вмісту важких металів у річковій воді.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі сучасні дослідження присвячено вивченню варіацій вмісту важких металів у водних об'єктах за допомогою статистичних методів. Зокрема, оцінюються рівні забруднення важкими металами [3], аналізуються просторовий розподіл важких металів [4], проводяться визначення джерел забруднення важкими металами [5]. Серед вітчизняних дослідників заслуговує на увагу математичне моделювання переносу забруднень важких металів [6–12]. Незважаючи на наявні дослідження, присвячені забрудненню водних об'єктів важкими металами, залишаються невирішеними кілька ключових аспектів, що потребують детальнішого вивчення. Відсутність комплексного аналізу сезонних коливань концентрацій важких металів може створювати прогалину в розумінні динаміки їх розподілу протягом року. Також, недостатньо вивчено вплив різних джерел забруднення на концентрації важких металів у воді річки. Хоча загальновідомо, що промислові викиди та сільськогосподарська діяльність є основними джерелами надходження важких металів до поверхневих вод, детальний аналіз їхнього внеску залишається неповним. Існує потреба в більш детальному вивченні кореляцій між різними важкими металами для виявлення спільних джерел та механізмів їх надходження у водні екосистеми. Крім того, відомі дослідження часто не враховують можливі комплексні впливи факторів, що може призводити до неточностей у прогнозах та оцінках екологічного стану водойм.

Мета і завдання дослідження. Дослідження спрямоване на проведення комплексного аналізу сезонних змін концентрацій важких металів, виявлення основних джерел їх надходження та визначення кореляційних зв'язків між вмістом важких металів. Було застосовано поєднання кореляційного аналізу та РСА для визначення варіацій вмісту важких металів та їх зв'язків між собою, в умовах різних сезонних змін для оцінки стану поверхневих вод річки Стер.

Мета дослідження – аналіз вмісту важких металів (Mn, Cr, Cu, Cd, Pb та Zn) у воді річки Стер за допомогою кореляційного та РСА методів для ідентифікації можливих джерел забруднення та визначення мінливості їх концентрацій. Для досягнення мети проводилось визначення концентрацій досліджуваних металів у воді річки з використанням методу оптичної емісійної спектроскопії, а

також аналіз просторової мінливості виявлених показників. Методологічне значення дослідження полягає в поєднанні статистичних методів для обробки набору фактичних даних про вміст ВМ у поверхневих водах.

Для досягнення мети були поставлені завдання, що включали оцінку рівня забруднення річкової води ВМ з урахуванням антропогенного навантаження, зокрема в зоні впливу Рівненської атомної електростанції (РАЕС). Також завдання включали проведення ідентифікації основних джерел забруднення річки ВМ та дослідження сезонної мінливості їх концентрацій. Відповідно завдань, були вивчені динамічні зміни концентрацій ВМ та проведений аналіз факторів, які сприяють накопиченню або зменшенню вмісту ВМ у певні сезони. Реалізація цих завдань передбачала низку проміжних етапів виконання дослідження, включаючи відбір проб води, проведення аналітичних досліджень методом спектроскопії, обробку отриманих даних за допомогою сучасних статистичних методів, зокрема розрахунок середніх значень, стандартних відхилень, коефіцієнтів кореляції та візуалізацію результатів.

Наукові підходи та методика цього дослідження можуть бути поширені і на інші річки.

Об'єкт дослідження. Процеси сезонних змін концентрацій ВМ (Mn, Cr, Cu, Cd, Pb, Zn) у поверхневих водах річки Стир на ділянці впливу скидів залишкових вод РАЕС.

Предмет дослідження. Варіації концентрацій ВМ (Mn, Cr, Cu, Cd, Pb, Zn) у воді річки Стир, їх взаємозв'язки, джерела забруднення та сезонна мінливість. Увага акцентується на використанні статистичних методів, таких як кореляційний аналіз та PCA, для ідентифікації основних факторів впливу та визначення джерел забруднення.

Методи і методики проведення дослідження. Відбір проб води проводили на ділянці річки Стир після водного скиду Рівненської атомної електричної станції (рис. 1).

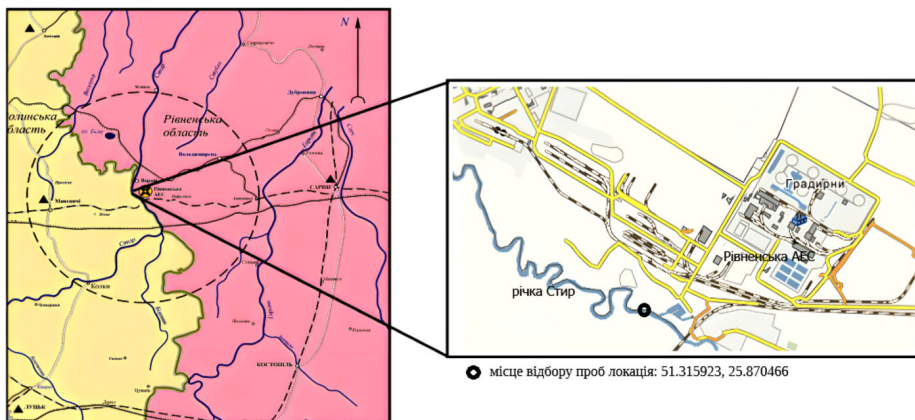


Рис. 1. Схематичне зображення ділянки контролю річки Стир

Статистичний аналіз включав обчислення середніх значень (M), стандартних відхилень (SD) та діапазону (\min – \max) для кожного з металів. Кореляційний аналіз та PCA проводили відповідно рекомендацій [14]. Терміни «сильний», «помірний» і «слабкий», що застосовуються до факторних навантажень, стосуються значень навантаження $> 75\%$, 75 – 50% і 50 – 30% відповідно. Кореляційний аналіз використовувався для визначення ступеня зв'язку між концентраціями різних металів. Силу лінійного зв'язку між двома змінними встановлювали за коефіцієнтом кореляції Пірсона (r) [15], з наступною градацією: в діапазоні $0,1 \leq r \leq 0,1$ – зв'язок між змінними дуже слабкий або відсутній; r у діапазоні від $0,3$ до $0,5$ або від $-0,3$ до $-0,5$ – середня позитивна або негативна кореляція відповідно; r у діапазоні від $0,5$ до $0,7$ або від $-0,5$ до $-0,7$ – сильна позитивна або негативна кореляція відповідно; r у діапазоні від $0,7$ до $1,0$ або від $-0,7$ до $-1,0$ – сильна позитивна або негативна кореляція відповідно. Для статистичної обробки, кореляційного аналізу та PCA було застосоване програмне забезпечення JASP (Version 0.14.3).

Для одержання інформації про концентрації ВМ використовували аналітичні звіти атестованої лабораторії філії «ВП «Рівненська АЕС»», що були сформовані на підставі проведених вимірювань методом оптичної емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (рис. 2) за стандартизованою методикою [13]. Процедура вимірювань передбачала використання аналітичних ліній (нм): Zn (213,857), Cd (226,502), Pb (220,353), Cu (324,754), Mn

(257,610), Cr (267,716). При підготовці зразків води для аналізу, воду фільтрували через мембранні фільтри з порами діаметром 0,45 мкм для видалення частинок завислих речовин.

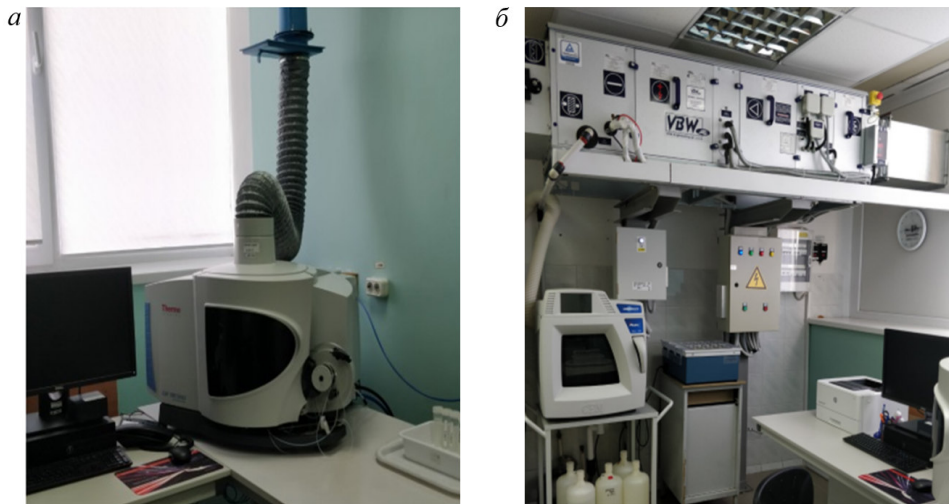


Рис. 2. Атомно-емісійний спектрометр ICAP 7400 Duo
(а – прилад, б – система пробопідготовки)

Результати дослідження. Стир – річка на північному заході України, протікає в межах Львівської, Волинської, Рівненської областей, впадає в р. Прип'ять. Довжина річки становить 494 км; площа басейну – 13100 км², витрата води в гирлі в середньому за рік становить 49,5 м³/с. У верхній течії річка вузька (від 2–3 м до 10–20 м), у середній і нижній – розширюється до 30–50 м [16]. За типологією поверхневих вод, р. Стир є низинною, піщано-суглинистою, у живленні якої беруть участь вапняки та мергельно-крейдянні відкладення [17]. Русло р. Стир на ділянці водозабору РАЕС помірно звивисте, завширшки 40–60 м, глибиною в межень 0,8–2,0 м, з невисокими, приблизно 1–3 м берегами. Витрати води річки Стир під час спостережень на гідрологічному посту в зоні водокористування РАЕС змінювались у діапазоні від 10 до 63 м³/с, за середніх показників 27 ± 18 м³/с [18].

Дослідження концентрацій ВМ у воді річки Стир показало різні діапазони для кожного з аналізованих металів (таблиця).

Таблиця

 Статистичні параметри концентрацій важких металів у воді
річки Стир (2023 р.)

Елемент	min*, мкг/дм ³	max, мкг/дм ³	M, мкг/дм ³	SD, мкг/дм ³
Zn	2,11	6,55	3,61	1,13
Cd	1,00	1,10	1,02	0,02
Pb	1,00	1,40	1,10	0,05
Cu	5,25	11,50	5,55	1,72
Mn	1,00	12,25	4,11	2,75
Cr	1,00	2,01	1,10	0,25

Примітка: * – нижня межа вимірювання за методикою [13] без попереднього концентрування складає (мкг/дм³): Zn (1,0), Cd (1,0), Pb (1,0), Cu (0,5), Mn (1,0), Cr (1,0).

Концентрація Zn варіювалася від 2,11 мкг/дм³ до 6,55 мкг/дм³, з середнім значенням $M = 3,61$ мкг/дм³ і стандартним відхиленням $SD = 1,13$ мкг/дм³. Серед досліджуваних металів, це вказує на відносно значні коливання вмісту Zn у воді річки. Концентрація Cd мала найменші варіації серед усіх досліджених металів та знаходилась в діапазоні від 1,00 мкг/дм³ до 1,10 мкг/дм³, $M = 1,02$ мкг/дм³ та $SD = 0,02$ мкг/дм³. Такий малий діапазон свідчить про стабільний рівень Cd у воді річки. Концентрація Pb коливалася від 1,00 мкг/дм³ до 1,40 мкг/дм³, із $M = 1,10$ мкг/дм³ та $SD = 0,05$ мкг/дм³, що вказує на дещо більші коливання порівняно з Cd, але все ж таки, серед решти досліджуваних металів вони були незначні. Концентрація Cu мала значно ширший діапазон концентрацій – від 5,25 мкг/дм³ до 11,50 мкг/дм³, із $M = 5,55$ мкг/дм³ та $SD = 1,72$ мкг/дм³. Це вказує на значні коливання вмісту Cu у воді річки. Концентрація Mn мала ще більший діапазон коливань – від 1,00 мкг/дм³ до 12,25 мкг/дм³, з $M = 4,11$ мкг/дм³ та $SD = 2,75$ мкг/дм³. Такий широкий діапазон свідчить про значну мінливість концентрації Mn. Отже, концентрація Cr варіювалася від 1,00 мкг/дм³ до 2,01 мкг/дм³, $M = 1,10$ мкг/дм³ та $SD = 0,25$ мкг/дм³. Це вказує на відносно стабільний, але все ж змінний рівень Cr у воді річки. Таким чином, дослідження виявило, що концентрації ВМ у воді річки Стир можуть значно варіюватися залежно від металу, зокрема найпомітніші коливання були виявлені для Mn, Zn та Cu, а коливання у відносно вузькому діапазоні для Cd.

За результатами проведеного кореляційного аналізу, позитивна кореляція між концентраціями у воді річки Стир відмічається між: Mn

із Pb та Zn; Cu із Cd та Cr; Pb із Zn та Cr; Cr та Cd (рис. 3). Певною мірою, це вказує на те, що їхній вміст має подібні характеристики змін і може мати те саме джерело.

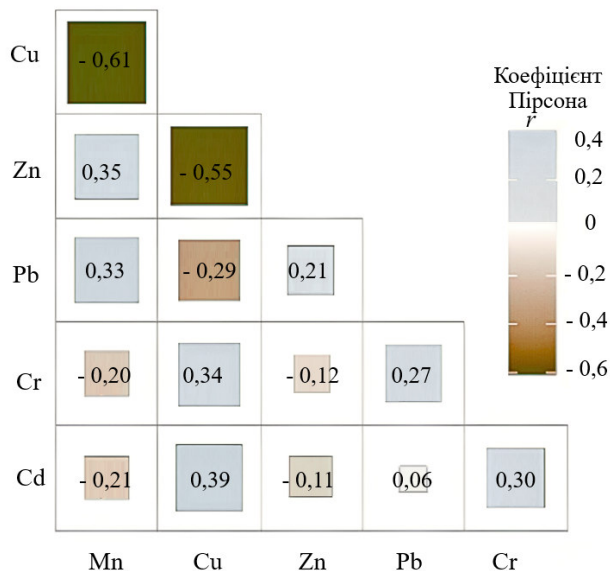


Рис. 3. Кореляційна матриця Пірсона для змін концентрацій ВМ у воді річки Стир

Коефіцієнти кореляції r на рівні середньої тисноти зв'язку спостерігаються для концентрацій Mn з Pb і Zn та становлять 0,33 і 0,35 відповідно, що вказує на те, що Mn, Pb, Zn можуть мати однакову поведінку у водному об'єкті, що обумовлюють процеси формування їх концентрації [19]. Аналогічно, коефіцієнти кореляції r на рівні середньої тисноти зв'язку Cu з Cd і Cr становлять 0,39 і 0,34 відповідно, що також вказує на те, що Cu, Cd, Cr можуть мати однакову поведінку. Негативна кореляція на рівні середньої тисноти зв'язку (r від -0,5 до -0,7) Cu з Mn та Zn свідчить про те, що формування концентрації Cu може бути пов'язане з іншим джерелом, відмінним від джерела походження Mn і Zn.

Результати PCA для ВМ у воді річки Стир показані на рис. 4. Отримані навантаження на головні компоненти для ВМ, свідчить, що два основні компоненти (PC1, PC2) можуть пояснити 65,9%

інформації, яку несуть загальні змінні. Компонент PC1 може пояснити 41,5% загальних змінних, а компонент PC2 може пояснити 24,4%.

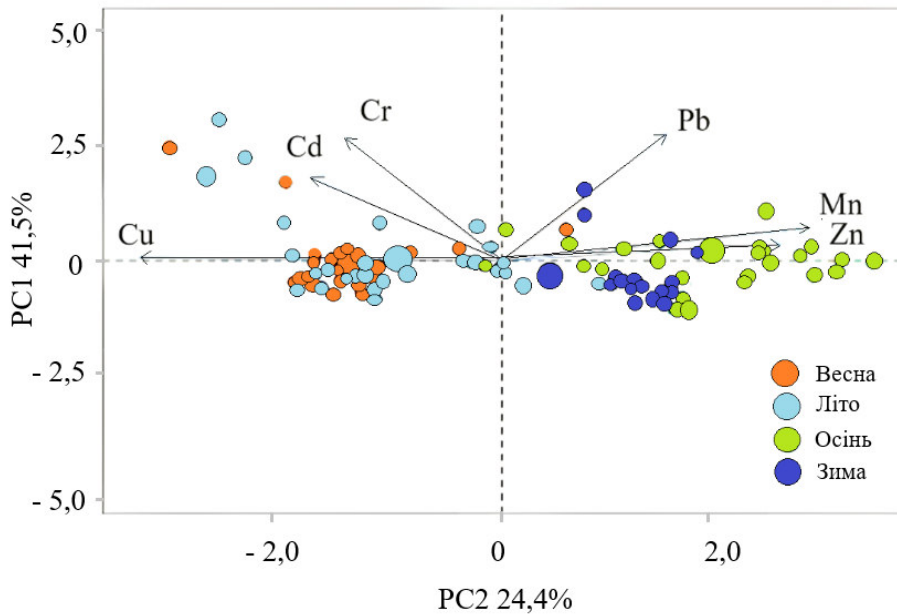


Рис. 4. Графік навантаження головних компонентів за результатами PCA для концентрацій ВМ у воді річки Стир

Розподіл факторних навантажень між концентрацією важких металів у воді річки виявляє два фактори, що визначають зміни концентрацій ВМ (рис. 5). Внесок фактору 1 більше 50% спостерігається для Cd і Mn та від 20 до 50% для Zn і Cr. Внесок фактору 2 більше 50% спостерігається для Cu, Zn, Cr і Pb. Отримані значення навантаження для головних компонентів Cr, Cd Cu на PC1 (фактор 1) становлять 89%, 90% та 35% відповідно. Значення навантаження для головних компонентів Mn, Zn, Pb на PC2 (фактор 2) становлять 83%, 74%, 73% відповідно (рис. 6). Таким чином, головний компонент PC1 має сильне позитивне навантаження на Cr і Cd помірне навантаження на Cu (рис. 4, 6).

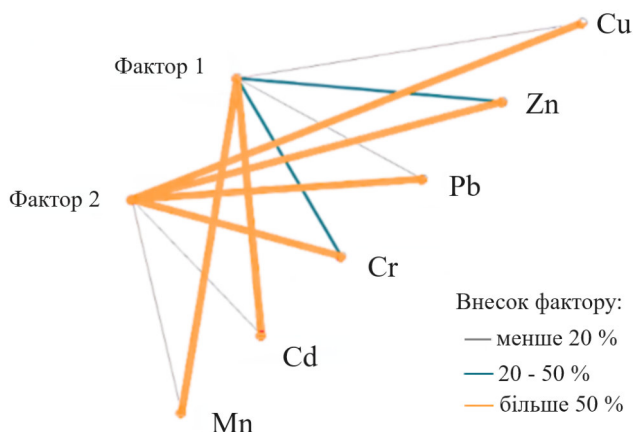


Рис. 5. Розподіл факторних навантажень між концентраціями ВМ у воді річки Стир

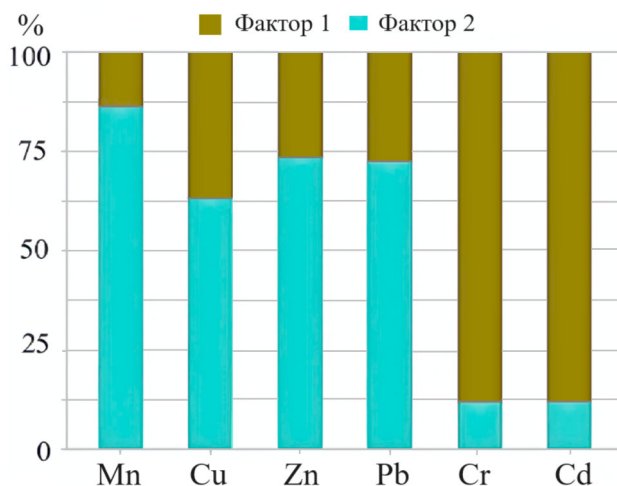


Рис. 6. Внесок факторів на головні компоненти PC1, PC2 для концентрацій ВМ у воді річки Стир

Обговорення отриманих результатів. Відомо, що основними спільними джерелами надходження ВМ у воду річки є промислові скиди та сільське господарство [20]. За результатами нашого дослідження, ВМ можуть бути поділені на дві групи: 1) Cu, Cd, Cr; 2) Mn, Pb, Zn. При цьому можна розглядати диференціацію за шляхами надходження на основі їх поведінки, зокрема гідрохімічних процесів та специфічних джерел забруднення. Важкі метали Cu, Cd, Cr, що відокремлені у PC1 (рис. 4) можуть мати різні джерела забруднення,

але часто вони потрапляють у навколишнє середовище через промислові скиди і сільськогосподарську діяльність. Важкі метали Mn, Pb, Zn, що відокремлені у РС2 (рис. 4) переважно потрапляють у поверхневі води також через промислові скиди. Результати PCA щодо диференціації груп металів співпадають з позитивними кореляціями ВМ, виявленими за коефіцієнтами Пірсона (рис. 3). Поєднуючи результати кореляційного аналізу та PCA, отримані в досліджуваній моделі можна припустити про наявність двох джерел надходження відповідних груп металів.

Виявлені навантаження PCA для важких металів у воді річки Стир за порами року (рис. 4) дозволяють оцінити сезонну мінливість концентрації ВМ. Високі концентрації Mn, Zn спостерігаються в зимовий період, що видно по синіх точках, які сконцентровані ближче до правої сторони графіка відносно векторів Mn, Zn (рис. 3). Взимку, коли температура води значно знижується, може відбуватися зниження водообміну та концентрація речовин може збільшуватися через меншу активність річкового стоку, що може призвести до збільшення концентрації деяких металів. Також можливе накопичення Mn, Zn у поверхневій воді, оскільки взимку менше опадів і змиву забруднювачів з ґрунту [21]. Високі концентрації Cu спостерігаються у весняний та літній періоди, що видно по помаранчевих і блакитних точках, які сконцентровані ближче до лівої частини графіка відносно вектору Cu (рис. 4). Високі концентрації Cu навесні та влітку можуть бути обумовлені активізацією сільськогосподарських робіт, використанням мідних пестицидів та добрив, які потрапляють у водні системи через поверхневий стік [22]. Крім того, підвищена температура води, що притаманна для літнього періоду може збільшувати розчинність Cu та сприяти більшій її мобілізації з донних відкладень [23]. Для концентрації Cr, Pb та Cd не властиві значні варіації (табл. 1), однак деяке збільшення концентрації Cr та Pb відмічаються восени, а Cd весною. Осіннє збільшення концентрації Cr та Pb може бути пов'язане з розкладанням органічної речовини, яка може вивільняти ці метали у воду [24]. Крім того, інтенсивні дощі цього сезону можуть змивати з поверхні землі забруднення, які містять різні елементи, в тому числі ВМ [25]. Весною, після танення снігу та льоду, у воду можуть потрапляти накопичені за зиму забруднення, включаючи Cd, який вивільняється внаслідок поверхневого стоку [26]. Більш того,

весною активізуються ґрунтові процеси, які можуть сприяти мобілізації Cd у воду [27].

Таким чином, результати дослідження виявили специфіку надходження ВМ у воду річки Стир. РСА дозволив розділити метали на дві групи залежно від джерел і особливостей їхнього розподілу. До першої групи увійшли Cu, Cd та Cr, які можуть бути пов'язані з комбінованим впливом промислових викидів і сільськогосподарських процесів, тоді як до другої – Mn, Pb та Zn, що характеризуються переважно промисловим походженням. Сезонний характер зміни концентрацій також продемонстрував різні моделі поведінки металів: взимку зростання концентрацій Mn і Zn було зумовлено можливим зменшенням водообміну, а весняно-літній період відзначився збільшенням Cu, що можна пов'язати з активізацією сільськогосподарських робіт на фоні змін гідрологічних та активізації гідробіологічних процесів. Поєднання кореляційного аналізу та РСА підтвердило існування різних джерел забруднення для виділених груп металів та надало цілісне розуміння їх сезонної динаміки у воді річки Стир.

Висновки. Результати дослідження варіацій вмісту ВМ у воді річки Стир показали коливання концентрацій досліджених елементів. Концентрації Mn, Zn та Cu виявились найбільш мінливими, що вказує на значний вплив зовнішніх чинників та можливу зміну джерел забруднення протягом року. Найстабільніші концентрації спостерігалися для Cd, що свідчить про постійне джерело надходження або стабільні умови формування його концентрацій. Кореляційний аналіз показав середню позитивну кореляцію між концентраціями Mn, Pb і Zn, а також між Cu, Cd і Cr, що свідчить про схожість у джерелах надходження цих металів до річки. Негативна кореляція між Cu із Zn та Mn вказує на можливість різних джерел забруднення для цих металів. РСА підтвердив ці висновки, виокремивши дві групи металів, що мають схожі характеристики вмісту. Дослідження сезонної мінливості показали, що концентрації Mn і Zn були вищими в зимовий період, що може бути обумовлено зменшенням водообміну та збільшенням концентрації речовин через меншу активність річкового стоку. Високі концентрації Cu спостерігалися навесні та влітку, що може бути пов'язано з використанням мідних пестицидів та добрив під час сільськогосподарських робіт. Невеликі сезонні варіації

спостерігалися для Cr і Pb восени, а також для Cd навесні, що може бути пов'язано з розкладанням органічної речовини та поверхневим стоком.

1. Kuznietsov P. M., Biedunkova O. O. Multivariate regression studies for the investigation of the COD, BOD, and TOC concentrations in the water of the Styr River within the zone of influence of the power plant discharge. *Water Practice and Technology*. 2024. Vol. 19(4). P. 1412–1426. **2.** Бєдункова О. О., Кузнєцов П. М. Факторний аналіз динаміки азотних речовин води річки Стир у зоні впливу Рівненської АЕС. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*. 2023. Вип. 1(101). С. 3–17. **3.** Varol M. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 195. P. 355–364. **4.** Jin Y., Zhou Q., Wang X. et al. Heavy Metals in the Mainstream Water of the Yangtze River Downstream: Distribution, Sources and Health Risk Assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19. **5.** Gomes D. F., Pinto T. J., Raymundo L. B. et al. Ecological risk assessment for metals in sediment and waters from the Brazilian Amazon region. *Chemosphere*. 2023. Vol. 345. P. 140413. **6.** Kizilova N., Rychak N., Chebukin D., Lukienko M. Ecological assessment of surface water quality in a rainless period under the conditions of urban water collection. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*. 2021. № 54. S. 289–305. **7.** Бєдункова О. Факторний аналіз формування токсичності донних відкладів річок Рівненської області. *Вісник Львівського університету. Сер. Біологічна*. 2016. Вип. 71. С. 146–156. **8.** Бєдункова О. О. Оцінка вибіркової накопичення важких металів у компонентах водної екосистеми за коефіцієнтом дискримінації. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*. 2013. Вип. 1(61). С. 100–106. **9.** Бєдункова О. О., Петрук А. М. Оцінка стану водних екосистем за коефіцієнтами накопичення та акумуляції токсичних речовин. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*. 2012. Вип. 2(58). С. 60–68. **10.** Скиба О. І., Грубінко В. В., Федонюк Л. Я. Запобігання забрудненню гідроекосистем важкими металами як одна з форм реалізації цілей сталого розвитку в Україні. *Теоретична Екологія*. 2018. № 5. С. 101–105. **11.** Захарова М. В., Яров Я. С. Залежності між гідрохімічними показниками води у річці Барабой з використанням кореляційного аналізу. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2012. № 13. С. 165–170. **12.** Боруцька Ю., Сахнюк І., Телегуз О. та ін. Гідрогеохімічний аналіз басейну р. Стрий (екологічний аспект).

Геологія і геохімія горючих копалин. 2015. Вип. 1–2. С. 108–117. **13.** ДСТУ EN ISO 11885:2019. Якість води. Визначення вибраних елементів методом оптичної емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-OES). URL: <https://online.budstandart.com/> (дата звернення: 15.11.2024). **14.** Liu C. W., Lin K. H., Kuo Y. M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Science of The Total Environment*. 2003. Vol. 313(1–3). С. 77–89. **15.** Pearson K. On a New Method of Determining Correlation Between a Measured Character A, and a Character B. *Biometrika*. 1909. Vol. 7(1/2). P. 96–105. **16.** Кузнєцов П. М., Бєдункова О. О. Дослідження впливу водокористування електростанції на гідрологічний режим річки (на прикладі річки Стир). *Слобожанський науковий вісник. Сер. Природничі науки*. 2024. Вип. 1. С. 69–76. **17.** Kuznietsov P. M., Biedunkova O. O. Study of temperature impact of discharges and balance of biogenic elements in the water of the Styr river in the impact zone of the Rivne NPP. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2023. Вип. № 3 (28). С. 49–58. **18.** Кузнєцов П. М., Бєдункова О. О. Ідентифікація та просторово-часові зміни показників вмісту органічних речовин в поверхневих водах р. Стир. *Таврійський науковий вісник. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2024. Вип. 135(2). С. 249–256. **19.** Elbaz-Poulichet F. et al. Biogeochemistry of trace metals in a river-wetland-lake system (Balaton Region, Hungary). *Aquat Geochem*. 1996. № 2. P. 379–402. **20.** Bhuiyan M. A. H. et al. Source apportionment and pollution evaluation of heavy metals in water and sediments of Buriganga River, Bangladesh. *Environ. Monit. Assess*. 2015. Vol. 187. С. 4075. **21.** Oberts G. L., Marsalek J., Viklander M. Review of Water Quality Impacts of Winter Operation of Urban Drainage. *Water Quality Research Journal*, 2000, 35(4). P. 781–808. **22.** Karadede-Akin H., Ünlü E. Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, Fish and Some Benthic Organisms from Tigris River, Turkey. *Environ. Monit. Assess*. 2007. Vol. 131. P. 323–337. **23.** Senze M., Kowalska-Góralaska M., Czyż K., Wondotowska-Grabowska A. Release of Selected Metals (Al, Cd, Cu, Mn, Ni, Fe, Zn) from River Bottom Sediments: An Experimental Study. *Limnological Review*. 2023. Vol. 23(2). P. 50–69. **24.** Kucuksezgin F., Uluturhan E., Batki H. Distribution of heavy metals in water, particulate matter and sediments of Gediz River (Eastern Aegean). *Environ. Monit. Assess*. 2008. Vol. 141. P. 213–225. **25.** Landre A. L., Watmough S. A., Dillon P. J. The effects of dissolved organic carbon, acidity and seasonality on metal geochemistry within a forested catchment on the Precambrian Shield, central Ontario, Canada. *Biogeochemistry*. 2009. Vol. 93. P. 271. **26.** Hur S. D. et al. Seasonal patterns of heavy metal deposition to the snow on Lambert Glacier basin, East Antarctica. *Atmospheric Environment*. 2007. Vol. 41(38). P. 8567–8578. **27.** Mahar A. et al. Promising Technologies for Cd-Contaminated Soils: Drawbacks and Possibilities. *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth* / Fahad S. et al. Springer, Cham. 2020.

REFERENCES:

1. Kuznietsov P. M., Biedunkova O. O. Multivariate regression studies for the investigation of the COD, BOD, and TOC concentrations in the water of the Styr River within the zone of influence of the power plant discharge. *Water Practice and Technology*. 2024. Vol. 19(4). P. 1412–1426.
2. Biedunkova O. O., Kuznietsov P. M. Faktornyi analiz dynamiky azotnykh rehovyn vody richky Styr u zoni vplyvu Rivnenskoï AES. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Silskohospodarski nauky*. 2023. Vyp. 1(101). S. 3–17.
3. Varol M. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 195. P. 355–364.
4. Jin Y., Zhou Q., Wang X. et al. Heavy Metals in the Mainstream Water of the Yangtze River Downstream: Distribution, Sources and Health Risk Assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19.
5. Gomes D. F., Pinto T. J., Raymundo L. B. et al. Ecological risk assessment for metals in sediment and waters from the Brazilian Amazon region. *Chemosphere*. 2023. Vol. 345. P. 140413.
6. Kizilova N., Rychak N., Chebukin D., Lukienko M. Ecological assessment of surface water quality in a rainless period under the conditions of urban water collection. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*. 2021. № 54. S. 289–305.
7. Biedunkova O. Faktornyi analiz formuvannia toksychnosti donnykh vidkladiv richok Rivnenskoï oblasti. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Ser. Biolohichna*. 2016. Vyp. 71. S. 146–156.
8. Biedunkova O. O. Otsinka vybirkovosti nakopychennia vazhkykh metaliv u komponentakh vodnoi ekosystemy za koefitsiientom dyskryminatsii. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Silskohospodarski nauky*. 2013. Vyp. 1(61). S. 100–106.
9. Biedunkova O. O., Petruk A. M. Otsinka stanu vodnykh ekosystem za koefitsiientamy nakopychennia ta akumulatsii toksychnykh rehovyn. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Silskohospodarski nauky*. 2012. Vyp. 2(58). S. 60–68.
10. Skyba O. I., Hrubinko V. V., Fedoniuk L. Ya. Zapobihannia zabrudnenniu hidroekosystem vazhkymy metalamy yak odna z form realizatsii tsilei staloho rozvytku v Ukraini. *Teoretychna Ekolohiia*. 2018. № 5. S. 101–105.
11. Zakharova M. V., Yarov Ya. S. Zalezhnosti mizh hidrokhimichnymy pokaznykamy vody u richtsi Baraboi z vykorystanniam koreliatsiinoho analizu. *Visnyk Odeskoho derzhavnoho ekolohichnoho universytetu*. 2012. № 13. S. 165–170.
12. Borutska Yu., Sakhniuk I., Telehuz O. ta in. Hidroheokhimichni analiz baseinu r. Stryi (ekolohichni aspekt). *Heolohiia i heokhimii horiuchykh kopalyn*. 2015. Vyp. 1–2. S. 108–117.
13. DSTU EN ISO 11885:2019. Yakist vody. Vyznachennia vybranykh elementiv metodom optychnoi emisiinoi spektrometrii z induktyvno zviazanoi plazmoiu (ICP-OES). URL:

<https://online.budstandart.com/> (data zvernennia: 15.11.2024). **14.** Liu C. W., Lin K. H., Kuo Y. M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Science of The Total Environment*. 2003. Vol. 313(1–3). C. 77–89. **15.** Pearson K. On a New Method of Determining Correlation Between a Measured Character A, and a Character B. *Biometrika*. 1909. Vol. 7(1/2). P. 96–105. **16.** Kuznietsov P. M., Biedunkova O. O. Doslidzhennia vplyvu vodokorystuvannia elektrostantsii na hidrolohichniy rezhym richky (na prykladi richky Styr). *Slobozhanskyi naukovyi visnyk. Ser. Pryrodnychi nauky*. 2024. Vyp. 1. S. 69–76. **17.** Kuznietsov P. M., Biedunkova O. O. Study of temperature impact of discharges and balance of biogenic elements in the water of the Styr river in the impact zone of the Rivne NPP. *Yaderna enerhetyka ta dovkillia*. 2023. Vyp. № 3 (28). S. 49–58. **18.** Kuznietsov P. M., Biedunkova O. O. Identyfikatsiia ta prostoro-vasovyi zminy pokaznykiv vmistu orhanichnykh rehovyn v poverkhnevyykh vodakh r. Styr. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2024. Vyp. 135(2). S. 249–256. **19.** Elbaz-Poulichet F. et al. Biogeochemistry of trace metals in a river-wetland-lake system (Balaton Region, Hungary). *Aquat Geochem*. 1996. № 2. P. 379–402. **20.** Bhuiyan M. A. H. et al. Source apportionment and pollution evaluation of heavy metals in water and sediments of Buriganga River, Bangladesh. *Environ. Monit. Assess.* 2015. Vol. 187. C. 4075. **21.** Oberts G. L., Marsalek J., Viklander M. Review of Water Quality Impacts of Winter Operation of Urban Drainage. *Water Quality Research Journal*, 2000, 35(4). P. 781–808. **22.** Karadede-Akin H., Ünlü E. Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, Fish and Some Benthic Organisms from Tigris River, Turkey. *Environ. Monit. Assess.* 2007. Vol. 131. P. 323–337. **23.** Senze M., Kowalska-Góralaska M., Czyż K., Wondotowska-Grabowska A. Release of Selected Metals (Al, Cd, Cu, Mn, Ni, Fe, Zn) from River Bottom Sediments: An Experimental Study. *Limnological Review*. 2023. Vol. 23(2). P. 50–69. **24.** Kucuksezgin F., Uluturhan E., Batki H. Distribution of heavy metals in water, particulate matter and sediments of Gediz River (Eastern Aegean). *Environ. Monit. Assess.* 2008. Vol. 141. P. 213–225. **25.** Landre A. L., Watmough S. A., Dillon P. J. The effects of dissolved organic carbon, acidity and seasonality on metal geochemistry within a forested catchment on the Precambrian Shield, central Ontario, Canada. *Biogeochemistry*. 2009. Vol. 93. P. 271. **26.** Hur S. D. et al. Seasonal patterns of heavy metal deposition to the snow on Lambert Glacier basin, East Antarctica. *Atmospheric Environment*. 2007. Vol. 41(38). P. 8567–8578. **27.** Mahar A. et al. Promising Technologies for Cd-Contaminated Soils: Drawbacks and Possibilities. *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth* / Fahad S. et al. Springer, Cham. 2020.

**Biedunkova O. O., Doctor of Biological Sciences, Professor,
Kuznietsov P. M., Post-graduate Student** (National University of Water
and Environmental Engineering, Rivne)

APPLICATION OF STATISTICAL METHODS TO THE STUDY OF VARIATIONS IN HEAVY METAL CONCENTRATIONS IN THE SURFACE WATER

Pollution of aquatic ecosystems with heavy metals is one of the key environmental problems, as these elements have a toxic effect on aquatic organisms and can accumulate in food chains, negatively affecting human health. The purpose of the presented research was to analyse the content of heavy metals (Mn, Cr, Cu, Cd, Pb and Zn) in the water of the Styr River using multivariate statistical methods to identify possible sources of pollution and determine the variability of their concentrations. The Styr River is subject to anthropogenic load, including the river section in the area of influence of the Rivne Nuclear Power Plant. The study was carried out on the content of heavy metals in the water of the Styr River during 2023. Data on the concentration of heavy metals were obtained on the basis of an analytical standardised method of optical emission spectroscopy with inductively coupled plasma. Statistical analysis of variations in the content of heavy metals in the water of the Styr River revealed fluctuations in the concentrations of elements, in particular Mn, Zn and Cu, indicating the influence of external factors and changes in pollution sources during the year. Cd concentrations were the most stable, indicating a constant source of pollution. The correlation analysis showed an average positive correlation between Mn, Pb and Zn, as well as between Cu, Cd and Cr, indicating common sources of pollution. The principal component analysis confirmed these findings by identifying two groups of metals with similar characteristics. Seasonal fluctuations in concentrations showed that Mn and Zn were higher in winter, and Cu in spring and summer.

This study is important for understanding the sources of heavy metals and their behaviour in aquatic ecosystems, which is an urgent problem for environmental protection and public health.

***Keywords:* heavy metals; the Styr river; optical emission spectroscopy; correlation analysis; principal component analysis.**

Валерко Р. А., к.с.-г.н., доцент (Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, valerko_ruslana@ukr.net)

ОЦІНКА СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ З ВИКОРИСТАННЯМ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ

Забезпечення населення якісною питною водою є одним із пріоритетних завдань державної політики у сфері охорони здоров'я та екологічної безпеки. Нітрати є одним із найбільш поширених забруднювачів, особливо у джерелах нецентралізованого водопостачання, таких як колодязі та свердловини. Високий рівень нітратів у воді створює значні ризики для здоров'я, включаючи розвиток метгемоглобінемії, канцерогенні ефекти, а також вплив на серцево-судинну та ендокринну системи.

Дослідження охоплює 12 територіальних громад Житомирського району. У 2020–2023 роках було зібрано та проаналізовано проби води із приватних колодязів та свердловин, які досліджувалися на вміст нітратів іонометричним методом. Результати показали, що середній рівень нітратів перевищує норматив (50 мг/дм³) у всіх громадах. Максимальна концентрація досягла 660 мг/дм³ у селі Вереси Житомирської громади, що перевищує норматив у 13 разів.

Застосування ризик-орієнтованого підходу дозволило розподілити громади за зонами ризику: допустимого ризику (Житомирська, Любарська, Новогуївська, Березівська, Глибочицька, Станишівська, Тетерівська) і критичного ризику (Пулинська, Черняхівська, Вільшанська, Волицька, Оліївська). Жодна громада не потрапила до безризикової або катастрофічної зон.

Статистична обробка даних із використанням регресійної моделі підтвердила значне перевищення допустимих рівнів. Дійсна середня концентрація нітратів у досліджуваних громадах коливалася від 28,2 до 301,7 мг/дм³. Діаграма Парето показала, що 59% проб перевищують встановлену норму, що свідчить про масштабність проблеми.

Результати дослідження підкреслюють необхідність запровадження ефективного моніторингу та заходів для зменшення рівня забруднення питної води нітратами. Використання ризик-орієнтованого підходу дозволяє оптимізувати контроль якості води, мінімізувати екологічні та соціальні ризики, а також сприяти покращенню стану здоров'я населення та стійкому розвитку сільських територій Житомирського району.

Ключові слова: питна вода; нітрати; сільські населені пункти; джерела нецентралізованого водопостачання; ризик.

Постановка проблеми. Забезпечення населення якісною питною водою є одним із ключових завдань державної політики у сфері охорони здоров'я та екологічної безпеки. Нітрати є одними з найбільш поширених забруднювачів питної води, особливо в джерелах нецентралізованого водопостачання, як-от колодязі та свердловини. Високий рівень вмісту нітратів у воді становить серйозну загрозу для здоров'я людей, зокрема дітей, вагітних жінок та осіб із хронічними захворюваннями [1]. Основними ризиками є розвиток метгемоглобінемії, канцерогенні ефекти, порушення роботи серцево-судинної та ендокринної систем.

У сільських селітебних територій України, де переважає використання нецентралізованих джерел водопостачання, ситуація ускладнюється через: відсутність належного моніторингу стану води, вплив аграрної діяльності, яка є основним джерелом нітратного забруднення через використання азотних добрив та низький рівень поінформованості населення щодо ризиків, пов'язаних із вживанням забрудненої води [2].

Попри те, що нормативи вмісту нітратів у питній воді закріплені законодавством, їх дотримання в умовах нецентралізованого водопостачання залишається проблематичним. Існуючі підходи до моніторингу якості води часто є недостатньо ефективними через відсутність інтегрованих стратегій, які враховують екологічні, соціальні та економічні аспекти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема забруднення питної води нітратами в децентралізованих сільських джерелах водопостачання широко досліджується українськими, а також зарубіжними вченими. Більшість таких досліджень присвячено аналізу шляхів надходження нітратів у джерела

водопостачання [3–7], причинам перевищення їх допустимих рівнів у питній воді та впливу цих сполук на здоров'я людини [8–14].

Проте в Україні ризик-орієнтовані методики поки не знайшли широкого застосування в контексті контролю вмісту нітратів у воді джерел нецентралізованого водопостачання, що ускладнює прийняття ефективних рішень для зменшення ризиків, особливо у сільських громадах.

Розробка та впровадження ризик-орієнтованого підходу є актуальним завданням, яке спрямоване на підвищення ефективності контролю за якістю питної води та забезпечення здоров'я населення. Вивчення та адаптація таких підходів дозволить не лише зменшити вплив забруднення, але й сприяти стійкому розвитку територій, де проблема забруднення води є найбільш гострою.

Мета і завдання дослідження. Отже, метою даного дослідження є використання ризик-орієнтованого підходу для громад Житомирського району Житомирської області за вмістом нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів.

Для досягнення поставленої мети необхідним стало виконання таких завдань:

- оцінити вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів територіальних громад Житомирського району;
- здійснити статистичну обробку отриманих результатів;
- згрупувати територіальні громади за вмістом нітратів у питній воді, використовуючи ризик-орієнтований підхід.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проходили у межах сільських населених пунктів 12 територіальних громад Житомирського району, де відбирались зразки питної води із приватних колодязів і свердловин протягом 2020–2023 років. Аналітичні дослідження зразків води на вміст нітратів (мг/дм^3) здійснювали у сертифікованій вимірювальній лабораторії Поліського національного університету іонометричним методом. Отримані результати порівнювали із ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [15].

З метою оцінки стану екологічної безпеки питного водопостачання сільських населених пунктів за вмістом нітратів було

застосовано ризик-орієнтований підхід, відповідно якого виділено 4 зони ризику:

— *безризикова зона* – перевищення немає, вміст нітратів знаходиться у межах $\leq 50,0$ мг/дм³ (≤ 1 ГДК);

— *зона допустимого ризику* – значення нітратів знаходяться у межах 50,01 – 100,0 мг/дм³ (1–2 ГДК);

— *зона критичного ризику* – значення нітратів знаходяться у межах 100,01–250,0 мг/дм³ (2–5 ГДК);

— *зона катастрофічного ризику* – значення нітратів перевищує 250 мг/дм³ (> 5 ГДК).

У результаті досліджень було встановлено, що середній вміст нітратів у всіх досліджуваних громадах перевищував норматив, що встановлено на рівні 50 мг/дм³. Зокрема, перевищення нормативу зафіксовано на рівні від 1,4 раза у Новогуйвинській громаді до 3,5 рази у Волицькій. Максимальний вміст нітратів на рівні 660 мг/дм³ було зафіксовано у колодязній воді населеного пункту Вереси, що входить до складу Житомирської міської громади. Загалом же максимальна концентрація нітратів варіювала у межах 167–660 мг/дм³, а мінімальна – 0,508–2,06 мг/дм³ (табл. 1, рис. 1).

Таблиця 1

Вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання у розрізі об'єднаних громад Житомирського району, мг/дм³

Громада	Середній вміст, мг/дм ³	Мінімальне значення, мг/дм ³	Максимальне значення, мг/дм ³	Інтервал значень
Житомирська	88,3±6,4	0,75	660	659,25
Любарська	92,1±3,21	0,6	476	475,4
Новогуйвинська	68,1±9,8	1,4	368	366,6
Пулинська	101,8±26,5	1,8	363	361,2
Черняхівська	134,3±37,4	2,06	423	420,94
Березівська	70,9±12,6	0,4	322	321,6
Вільшанська	106,3±28,4	11,3	167	155,7
Волицька	175,1±68,1	6,2	470,2	464
Глибочицька	73,04±19	0,508	410	409,492
Оліївська	128,4±18,8	1,6	544	542,4
Станишівська	84,9±12,9	1,8	564	562,2
Тетерівська	82,3±18,4	0,96	410,5	409,54

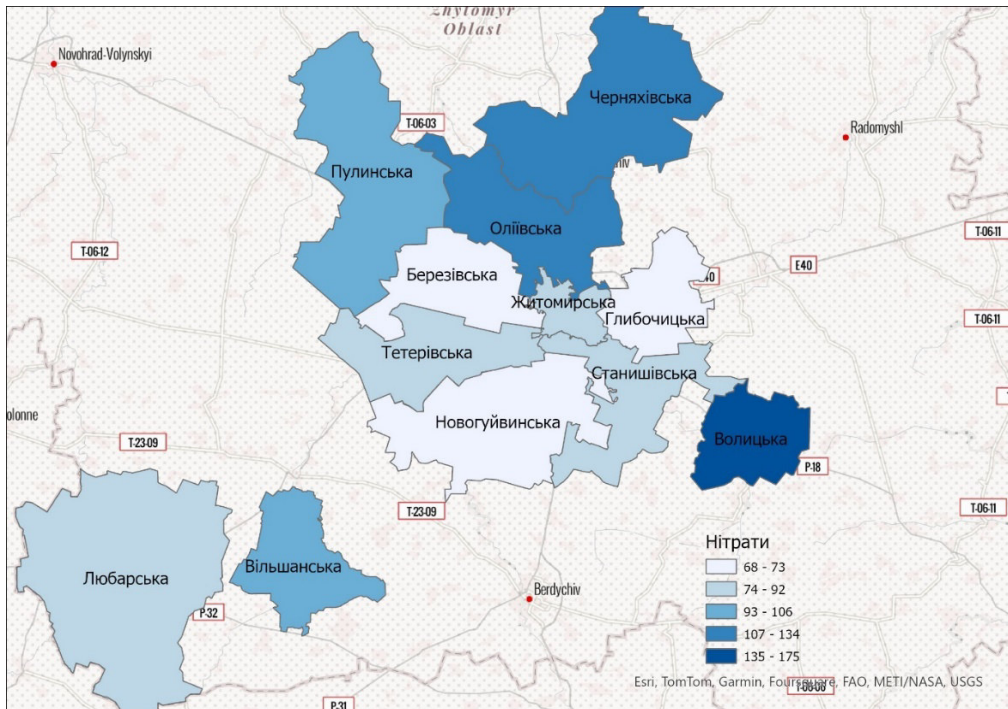


Рис. 1. Середній вміст нітратів у питній воді громад Житомирського району, мг/дм³

Крім того, для оцінки дійсної величини середньої концентрації нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання використано регресійну модель:

$$C = \theta + e, \quad (1)$$

де C – результати вимірювань; θ – дійсна середня концентрація; e – вплив випадкових факторів.

Розрахункові залежності мають такий вигляд:

$$\hat{\theta} = \frac{1}{n} \sum c_i, \quad (2)$$

$$s_e = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (c_i - \hat{\theta})^2}. \quad (3)$$

З ймовірністю 95% величина дійсної середньої концентрації знаходиться у межах:

$$\hat{\theta} - \frac{s_e}{\sqrt{n}} * t_{n-1, \alpha} < \theta < \hat{\theta} + \frac{s_e}{\sqrt{n}} * t_{n-1, \alpha}, \quad (4)$$

де $t_{n-1, \alpha} = t_{69; 0,05} = 1,995$ є зворотний розподіл Стюдента з $n-1$ ступенями свободи і рівнем значущості $\alpha=0,05$.

Розраховані дійсні середні концентрації вмісту нітратів з використанням регресійної моделі для усіх досліджуваних громад коливались у межах: $28,2 < \theta < 301,7$ (табл. 2).

Таблиця 2

Статистична обробка даних вмісту нітратів у питній воді територіальних громад Житомирського району, мг/дм³

Громада	Середній вміст, $\bar{\theta}$	Середнє відхилення, $S_{\bar{\theta}}$	Дійсна концентрація, θ
Житомирська	88,3±6,4	86,2	75,7–100,9
Любарська	92,1±32,1	147,3	28,2–156,0
Новогуївська	68,1±9,8	69,8	48,5–87,7
Пулинська	101,8±26,5	112,6	48,3–155,3
Черняхівська	134,3±37,4	149,4	59,8–208,8
Березівська	70,9±12,6	85,2	45,9–95,9
Вільшанська	106,3±28,4	63,5	48,7–163,9
Волицька	175,1±68,1	177,8	48,4–301,7
Глибочицька	73,04±19	93,1	34,3–111,7
Оліївська	128,4±18,8	131,3	90,8–165,6
Станишівська	84,9±12,9	96,4	59,3–110,5
Тетерівська	82,3±18,4	104,1	44,5–120,1

Відповідно до показника перевищення середнього вмісту нітратів у питній воді було проведено групування громад. У такий спосіб встановлено, що перевищення вмісту нітратів від 1,1 до 2 разів зафіксовано у семи громадах, а перевищення ГДК більше двох разів виявлено у п'яти громадах.

Діаграма Парето розподілу зразків питної води за вмістом нітратів вказує на те, що 59% відібраних проб містять наднормативні кількості нітратів (рис. 2).

Використання ризик-орієнтованого підходу дозволило віднести Житомирську, Любарську, Новогуївську, Березівську, Глибочицьку, Станишівську і Тетерівську громади до зони допустимого ризику, а Пулинську, Черняхівську, Вільшанську, Волицьку та Оліївську – до зони критичного ризику за вмістом нітратів (табл. 3).

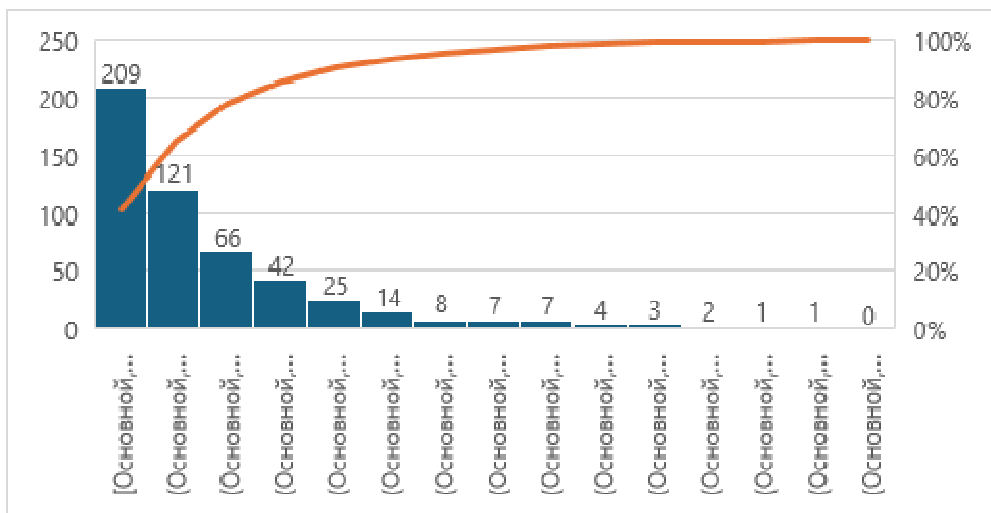


Рис. 2. Діаграма Парето розподілу вмісту нітратів у питній воді громад Житомирського району

Таблиця 3

Групування громад за показником перевищення середнього вмісту нітратів у питній воді

Зона ризику	Громади
Безризикова	-
Допустимий ризик	Житомирська, Любарська, Новогуйвинська, Березівська, Глибочицька, Станишівська, Тетерівська
Критичний ризик	Пулинська, Черняхівська, Вільшанська, Волицька, Оліївська
Катастрофічний ризик	-

Отже, отримані результати дозволяють встановити, що 41,7% досліджуваних громад належать до зони критичного ризику за середнім вмістом нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання.

Висновки. Результати досліджень засвідчили значне перевищення нормативів вмісту нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів Житомирського району. У всіх громадах середній вміст нітратів перевищував граничний вміст, який встановлено на рівні 50 мг/дм³, що свідчить про серйозну екологічну проблему.

Максимальні концентрації нітратів у воді варіювали у межах від 167 мг/дм³ у Вільшанській громаді до 660 мг/дм³ у селі Вереси Житомирської міської громади, перевищуючи норматив до 13 разів. Середній вміст нітратів варіював від 68,1 мг/дм³ (Новогуївинська громада) до 175,1 мг/дм³ (Волицька громада).

Статистична обробка даних із застосуванням регресійної моделі показала, що дійсна середня концентрація нітратів коливалася у межах від 28,2 мг/дм³ до 301,7 мг/дм³.

Аналіз за діаграмою Парето показав, що 59% відібраних проб містили концентрації нітратів, які перевищують встановлену норму. Це свідчить про поширеність забруднення питної води у сільських територіях.

Використання ризик-орієнтованого підходу дозволило класифікувати громади Житомирського району за ступенем ризику: до зони допустимого ризику (1–2 ГДК) віднесено Житомирську, Любарську, Новогуївинську, Березівську, Глибочицьку, Станишівську та Тетерівську громади, до зони критичного ризику (2–5 ГДК) потрапили Пулинська, Черняхівська, Вільшанська, Волицька та Оліївська громади.

Жодна з громад не була віднесена до безризикової або катастрофічної зони.

Встановлено, що 41,7% досліджуваних громад належать до зони критичного ризику, що свідчить про потребу у невідкладних заходах для покращення якості питної води та забезпечення екологічної безпеки населення.

1. Blaisdell J., Turyk M. E., Almberg K. S., Jones R. M., Stayner L. T. Prenatal exposure to nitrate in drinking water and the risk of congenital anomalies. *Environ Res.* 2019. Vol. 176. P. 108553. Doi: 10.1016/j.envres.2019.108553.
2. Палапа Н. В. Оцінка сільських селітебних територій за якістю питної води. *Агроекологічний журнал.* 2015. № 4. С. 41–47.
3. Гущук І. В., Лях Ю. Є., Сафонов Р. В., Седляр Н. В., Смулка Л. С., Янків В. А., Рудницька О. П. Еколого-гігієнічна оцінка якості питної води із джерел централізованого та децентралізованого водопостачання Володимирецького району Рівненської області. *Гігієна населених місць.* 2022. № 72. С. 30–40. URL: <https://doi.org/10.32402/hygiene2022.72.030>. (дата звернення: 10.07.2024).
4. Romanchuk L. D., Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Kravchuk M. M. Assessment of the impact of organic Agriculture on Nitrate Content in Drinking Water in Rural Settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2021. Vol.

- 11(2). Р. 17–26. DOI: 10.15421/2021_65. **5.** Валерко Р. А., Герасимчук Л. О. Екологічна оцінка стану питної води у межах об'єднаних територіальних громад укрупненого Житомирського району. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2021. Вип. 35. С. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-04>. **6.** Валерко Р. А., Герасимчук Л. О. Агроекологічне навантаження на сільські селітебні території Житомирської області як чинник вмісту нітрогену у питній воді. *Агробіологія*. 2021. № 2. С. 200–207. Doi: 10.33245/2310-9270-2021-167-2-200-207. **7.** Ліхо О. А., Гакало О. І., Гущук І. В. Моніторинг стану децентралізованого водопостачання в Рівненській області. *Вісник НУВГП. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2020. Вип. 1(89). С. 41–51. URL: <https://doi.org/10.31713/vs120204>. (дата звернення: 10.07.2024). **8.** Feng W., Wang C., Lei X., Wang H., Zhang X. Distribution of Nitrate Content in Groundwater and Evaluation of Potential Health Risks: A Case Study of Rural Areas in Northern China. *International journal of environmental research and public health*. 2020. Vol. 17(24). P. 9390. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17249390>. (дата звернення: 10.07.2024). **9.** Chen J., Wu H., Qian H. Groundwater Nitrate Contamination and Associated Health Risk for the Rural Communities in an Agricultural Area of Ningxia, Northwest China. *Exposure and Health*. 2016. Vol. 8. P. 349–359. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12403-016-0208-8>. (дата звернення: 10.07.2024). **10.** Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Пацева І. Г., Устименко В. І., Шацило Є. Г. Встановлення причинно-наслідкових зв'язків між захворюваністю населення та якістю питної води джерел нецентралізованого водопостачання. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 1 (52), Т. 2. С. 23–28. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.4>. **11.** Lototska O. V., Prokopov V. O. Assessment of the risk of the consumption of drinking water with the increased content of nitrates for the health of the people of the Ternopil Region. *Environment & Health*. 2018. № 4. С. 20–24. URL: <https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.020>. (дата звернення: 10.07.2024). **12.** Данчишин М. В. Оцінка впливу нітратів на здоров'я населення при надходженні з питною водою. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*. 2023. № 2(96). С. 27–33. DOI: 10.11603/1681-2786.2023.2.14031. **13.** Лотоцька О. В., Кондратюк В. А., Кучер С. В. Якість питної води як одна з детермінант громадського здоров'я в Західному регіоні України. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*. 2019. № 1(79). С. 12–18. DOI: 10.11603/1681-2786.2019.1.10278. **14.** Лотоцька-Дудик У. Б., Лотоцька Л. Б., Станько О. М. Медично-гігієнічна оцінка впливу нітратів джерел децентралізованого водопостачання на захворюваність систем серцево-судинної та кровообігу. *XXVI AML*. 2020. № 2–3. С. 61–67. DOI: <https://doi.org/10.25040/aml2020.02-03>. **15.** ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. [Чинний від 2010-05-12]. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>. (дата звернення: 10.07.2024).

REFERENCES:

1. Blaisdell J., Turyk M. E., Almberg K. S., Jones R. M., Stayner L. T. Prenatal exposure to nitrate in drinking water and the risk of congenital anomalies. *Environ Res.* 2019. Vol. 176. P. 108553. doi: 10.1016/j.envres.2019.108553.
2. Palapa N. V. Otsinka silskykh selitebnykh terytorii za yakistiu pytnoi vody. *Ahroekolohichniy zhurnal.* 2015. № 4. S. 41–47.
3. Hushchuk I. V., Liakh Yu. Ye., Safonov R. V., Sedliar N. V., Smulka L. S., Yankiv V. A., Rudnytska O. P. Ekolohohihienichna otsinka yakosti pytnoi vody iz dzherel tsentralizovanoho ta detsentralizovanoho vodopostachannia Volodymyretskoho raionu Rivnenskoï oblasti. *Hihiena naselenykh mists.* 2022. № 72. S. 30–40. URL: <https://doi.org/10.32402/hygiene2022.72.030>. (data zvernennia: 10.07.2024).
4. Romanchuk L. D., Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Kravchuk M. M. Assessment of the impact of organic Agriculture on Nitrate Content in Drinking Water in Rural Settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2021. Vol. 11(2). P. 17–26. DOI: 10.15421/2021_65.
5. Valerko R. A., Herasymchuk L. O. Ekolohichna otsinka stanu pytnoi vody u mezhakh obiednanykh terytorialnykh hromad ukрупnenoho Zhytomyrskoho raionu. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neokolohii.* 2021. Vyp. 35. S. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-04>.
6. Valerko R. A., Herasymchuk L. O. Ahroekolohichne navantazhennia na silski selitebni terytorii Zhytomyrskoi oblasti yak chynnyk vmistu nitrohenu u pytnii vodi. *Ahrobiolohiia.* 2021. № 2. S. 200–207. Doi: 10.33245/2310-9270-2021-167-2-200-207.
7. Likho O. A., Hakalo O. I., Hushchuk I. V. Monitorynh stanu detsentralizovanoho vodopostachannia v Rivnenskoï oblasti. *Visnyk NUVHP. Ser. Silskohospodarski nauky.* 2020. Vyp. 1(89). S. 41–51. URL: <https://doi.org/10.31713/vs120204>. (data zvernennia: 10.07.2024).
8. Feng W., Wang C., Lei X., Wang H., Zhang X. Distribution of Nitrate Content in Groundwater and Evaluation of Potential Health Risks: A Case Study of Rural Areas in Northern China. *International journal of environmental research and public health.* 2020. Vol. 17(24). P. 9390. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17249390>. (data zvernennia: 10.07.2024).
9. Chen J., Wu H., Qian H. Groundwater Nitrate Contamination and Associated Health Risk for the Rural Communities in an Agricultural Area of Ningxia, Northwest China. *Exposure and Health.* 2016. Vol. 8. P. 349–359. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12403-016-0208-8>. (data zvernennia: 10.07.2024).
10. Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Patseva I. H., Ustyenko V. I., Shatsylo Ye. H. Vstanovlennia prychnno-naslidkovykh zviyazkiv mizh zakhvoriuvanistiu naselennia ta yakistiu pytnoi vody dzherel

netsentralizovanoho vodopostachannia. *Ekolohichni nauky*. 2024. Vyp. 1 (52), T. 2. S. 23–28. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.4>.
11. Lototska O. V., Prokopov V. O. Assessment of the risk of the consumption of drinking water with the increased content of nitrates for the health of the people of the Ternopil Region. *Environment & Health*. 2018. № 4. S. 20–24. URL: <https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.020>. (data zvernennia: 10.07.2024).
12. Danchyshyn M. V. Otsinka vplyvu nitrativ na zdorovia naseleння pry nadkhodzhenni z pytnoiu vodoiu. *Visnyk sotsialnoi hihiieny ta orhanizatsii okhorony zdorovia Ukrainy*. 2023. № 2(96). S. 27–33. DOI: 10.11603/1681-2786.2023.2.14031. **13.** Lototska O. V., Kondratiuk V. A., Kucher S. V. Yakist pytnoi vody yak odna z determinant hromadskoho zdorovia v Zakhidnomu rehioni Ukrainy. *Visnyk sotsialnoi hihiieny ta orhanizatsii okhorony zdorovia Ukrainy*. 2019. № 1(79). S. 12–18. DOI: 10.11603/1681-2786.2019.1.10278. **14.** Lototska-Dudyk U. B., Lototska L. B., Stanko O. M. Medychno-hihiienichna otsinka vplyvu nitrativ dzherel detsentralizovanoho vodopostachannia na zakhvoriuvanist system sertsevo-sudynnoi ta krovoobihu. *XXVI AML*. 2020. № 2–3. S. 61–67. DOI: <https://doi.org/10.25040/aml2020.02-03>. **15.** DSanPiN 2.2.4-171-10. Hihiienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoї. [Chynnyi vid 2010-05-12]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>. (data zvernennia: 10.07.2024).

Valerko R. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr)

ASSESSMENT OF THE STATE OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF DRINKING WATER SUPPLY IN RURAL SETTLEMENTS USING A RISK-BASED APPROACH

Ensuring access to safe drinking water is a key priority of public health and environmental safety policies. Nitrates are among the most common contaminants, especially in decentralized water sources such as wells and boreholes. High nitrate levels in water pose significant health risks, including the development of methemoglobinemia, carcinogenic effects, and impacts on the cardiovascular and endocrine systems.

The study covers 12 territorial communities in the Zhytomyr district. Between 2020 and 2023, water samples from private wells and boreholes were collected and analyzed for nitrate content using

the ionometric method. Results revealed that the average nitrate level exceeded the normative value (50 mg/dm³) in all communities. The maximum concentration reached 660 mg/dm³ in the village of Veresy, Zhytomyr community, exceeding the normative limit by 13 times.

A risk-oriented approach was used to categorize communities into risk zones: acceptable risk (Zhytomyr, Lyubar, Novohuivynske, Berezivka, Hlybochytsia, Stanyshivka, Teterivka communities) and critical risk (Pulyny, Cherniakhivka, Vilshanka, Volytsia, and Oliiv communities). None of the communities fell into the no-risk or catastrophic zones.

Statistical analysis, including regression modeling, confirmed significant exceedances of permissible levels. The actual average nitrate concentrations across the studied communities ranged from 28.2 to 301.7 mg/dm³. A Pareto chart indicated that 59% of the samples exceeded the established norm, highlighting the scale of the issue.

The study results emphasize the need for effective monitoring and measures to reduce nitrate contamination in drinking water. The application of a risk-oriented approach optimizes water quality control, minimizes environmental and social risks, and contributes to improving public health and the sustainable development of rural areas in the Zhytomyr district.

Keywords: drinking water; nitrates; rural settlements; sources of non-centralized water supply; risk.

Налобіна О. О., д.т.н., професор, Полтавченко Т. В., к.вет.н., доцент, Ковальчук Н. С., к.с.-г.н., доцент, Голотюк М. В., к.т.н., доцент, Пилипака Т. С., к.т.н., доцент, Ювчик Н. О., старший викладач, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.v.valetska@nuwm.edu.ua; t.v.poltavchenko@nuwm.edu.ua; n.s.kovalchuk@nuwm.edu.ua; m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua; t.s.pylypaka@nuwm.edu.ua; n.o.yuvchik@nuwm.edu.ua)

ОПТИМІЗАЦІЯ МІКРОКЛІМАТУ У ТВАРИННИЦЬКИХ КОМПЛЕКСАХ

Оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах є важливим аспектом, що безпосередньо впливає на здоров'я та продуктивність тварин. У статті розглядаються математичні моделі, що дозволяють ефективно керувати температурними режимами, вологістю та концентрацією шкідливих газів у тваринницьких приміщеннях. Вивчено ключові фактори, що впливають на створення комфортних умов для тварин, зокрема ефективність систем вентиляції, обігріву та управління вологістю повітря. Одним із основних завдань є підтримання стабільної температури в приміщенні, яка повинна бути адаптована до зовнішніх погодних умов. За допомогою математичних моделей проаналізовано взаємозв'язок між температурою зовнішнього середовища та внутрішніми умовами приміщення. Моделі дозволяють передбачати зміни температури залежно від сезонних коливань і налаштувань обігрівальних систем, що забезпечує оптимальний температурний режим для тварин. Особливу увагу приділено управлінню вологою, оскільки надмірна вологість або її нестача можуть викликати захворювання або знижувати продуктивність тварин. Висвітлено методи регулювання рівня вологості в приміщеннях за допомогою різних технологій, що забезпечують стабільний мікроклімат. Крім того, в статті розглядається оптимізація вентиляції, що сприяє зниженню концентрації шкідливих газів, таких як аміак і вуглекислий газ. Вентиляційні системи, зокрема інтелектуальні, здатні ефективно виводити ці гази з приміщення, тим самим знижуючи їх концентрацію до безпечного рівня. На основі

побудованих математичних моделей проведено аналіз ефективності різних методів оптимізації мікроклімату та їх впливу на продуктивність тварин. Результати показують, що використання сучасних технологій для управління мікрокліматом дозволяє значно покращити умови утримання тварин, знижуючи рівень захворюваності та збільшуючи продуктивність.

Стаття є важливим кроком до впровадження наукових підходів в аграрну практику, оскільки вона надає можливість передбачити й ефективно регулювати умови утримання тварин, що є основою для стабільного розвитку тваринництва.

Ключові слова: основи тваринництва; мікроклімат; приміщення; оптимізація; математичні моделі; тваринницькі комплекси.

Вступ. Сучасне тваринництво є важливою складовою частиною аграрного сектора економіки, яка сприяє забезпеченню продовольчої безпеки, розвитку сільських територій та створенню робочих місць. Продуктивність і ефективність тваринницьких господарств безпосередньо залежать від багатьох факторів, серед яких одним із найбільш важливих є мікроклімат у приміщеннях для утримання тварин. Тварини, як і люди, потребують комфортних умов для нормального росту, розвитку і функціонування організму, тому оптимізація мікроклімату є запорукою високої продуктивності та здоров'я тварин. У сучасних умовах інтенсивного розвитку аграрного виробництва, коли використовуються новітні технології та методи ведення господарства, підтримання стабільного та комфортного мікроклімату стає одним із головних завдань для аграріїв.

Мікроклімат в тваринницьких приміщеннях охоплює різноманітні параметри, такі як температура, вологість, вентиляція, концентрація шкідливих газів, освітлення та інші фізичні і хімічні умови, що безпосередньо впливають на здоров'я тварин, їхню продуктивність і відтворювальну здатність. Незважаючи на значний розвиток сучасних технологій та механізмів для оптимізації цих параметрів, багато тваринницьких господарств стикаються з проблемами, які виникають через неправильну організацію мікроклімату. Це може призвести до підвищеного рівня стресу серед тварин, розвитку захворювань, зниження продуктивності, а також до

економічних втрат через зниження ефективності використання кормів та інших ресурсів.

Особливістю сучасних тваринницьких комплексів є потреба в інтеграції новітніх технологій для автоматизації процесів контролю і регулювання мікроклімату. Це дозволяє забезпечити не лише ефективне використання ресурсів, але й сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Зокрема, автоматизовані системи вентиляції, опалення, охолодження та освітлення дозволяють більш точно підтримувати оптимальні умови для тварин, регулюючи параметри в реальному часі залежно від зовнішніх умов і потреб тварин. Водночас зменшення енергоспоживання та використання альтернативних джерел енергії є важливими аспектами для зниження витрат і підвищення економічної ефективності.

Сучасні наукові дослідження, спрямовані на оптимізацію мікроклімату у тваринницьких комплексах, базуються на розробці нових підходів до проектування таких приміщень, удосконаленні технологій вентиляції та кондиціонування, використанні енергозберігаючих та екологічно чистих технологій. Все це створює сприятливі умови для здоров'я тварин, покращує їхню продуктивність та дозволяє зменшити витрати на енергоресурси, що особливо важливо в умовах зростаючої конкуренції на ринку сільськогосподарської продукції [1; 2; 3].

Питання оптимізації мікроклімату є надзвичайно актуальним для сучасного тваринництва, оскільки впливає на економічні результати господарства, здоров'я та добробут тварин, а також на екологічну ситуацію в регіоні. Це також є важливим аспектом для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва в цілому. У зв'язку з цим, дослідження і впровадження нових підходів до управління мікрокліматом тваринницьких комплексів є ключовим фактором для досягнення сталого розвитку цієї галузі [4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення і оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах є предметом численних наукових досліджень як в Україні, так і за кордоном. Протягом останніх років було здійснено значну кількість публікацій, що висвітлюють різноманітні аспекти цього питання, зокрема, вплив параметрів мікроклімату на здоров'я та продуктивність тварин, а також застосування сучасних технологій для покращення умов

утримання.

Зокрема, дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених підтверджують важливість температурного режиму як одного з головних факторів, що впливають на продуктивність сільськогосподарських тварин. Деякі автори відзначають, що температурний стрес може значно знижувати продуктивність молочних корів, свиней та птиці. Наприклад, дослідження, проведене в університетах США та Європи, показали, що оптимальна температура для великої рогатої худоби складає 10–15° С, тоді як температури, що відхиляються від цієї межі, можуть призвести до зниження молочної продуктивності на 10–20%. Ті ж самі дослідження вказують на негативний вплив високих температур на показники зростання молодяку свиней та птиці, що обумовлюється порушенням терморегуляції організму тварин.

Одним із значущих напрямів останніх досліджень є впровадження автоматизованих систем моніторингу мікроклімату. Завдяки використанню інтернету речей та датчиків для вимірювання температури, вологості, концентрації аміаку та інших шкідливих газів, вдалося значно полегшити процес регулювання мікроклімату. Зокрема, роботи, проведені в Німеччині та Франції, показують високу ефективність автоматизованих систем, які не лише відслідковують параметри мікроклімату, а й вживають необхідні заходи для їх корекції. Такі системи допомагають підтримувати оптимальні умови при мінімальних витратах енергоресурсів і забезпечують максимальну продуктивність тварин [6; 7; 8; 9; 10].

Матеріали та методи дослідження. Для визначення оптимальних параметрів мікроклімату використовувалися сенсори температури, вологості, вмісту газів та інші цифрові пристрої моніторингу. Дані збиралися протягом року у кількох типових тваринницьких комплексах, включаючи ферми для вирощування свиней, корів і птиці. Паралельно проводилося спостереження за фізіологічними показниками та продуктивністю тварин. У дослідженні також використовували математичне моделювання для оцінки впливу різних параметрів мікроклімату на продуктивність.

Виклад основного матеріалу. Оптимальний мікроклімат є сукупністю умов, що забезпечують комфортні умови для тварин із мінімальними витратами ресурсів. Температурний режим є ключовим фактором. Для великої рогатої худоби оптимальними є температури в

межах 8–15° С, для свиней – 18–24° С, для птиці – 18–22° С. Відхилення від цих параметрів може призвести до зниження продуктивності. Системи вентиляції є важливими для регулювання вологості та видалення шкідливих газів. Ефективна вентиляція зменшує концентрацію аміаку, що запобігає виникненню респіраторних захворювань.

Вологість повітря повинна становити 60–80% для підтримання нормального обміну речовин і запобігання пересиханню слизових оболонок у тварин. Використання зволожувачів або осушувачів повітря дозволяє підтримувати оптимальний рівень вологості навіть у складних кліматичних умовах. Освітлення також відіграє важливу роль. Для птиці, наприклад, тривалість світлового дня повинна бути регульованою для стимулювання яйценосності. Системи автоматичного освітлення дозволяють налаштовувати режими залежно від виду та віку тварин.

Застосування автоматизованих систем моніторингу та управління мікрокліматом значно спрощує підтримання оптимальних умов. Ці системи включають датчики для збору даних і програмне забезпечення, що аналізує ці дані в реальному часі та автоматично регулює параметри мікроклімату. Наприклад, у разі підвищення температури система може автоматично активувати вентиляцію або охолоджувальні пристрої.

Важливим аспектом є використання енергоефективних технологій, таких як теплові насоси, сонячні панелі або біогазові установки для забезпечення систем опалення та вентиляції. Це дозволяє знизити витрати на електроенергію та зменшити негативний вплив на довкілля.

Оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах має на меті опис та регулювання параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, швидкість повітря, рівень концентрації газів, з урахуванням фізіологічних потреб тварин, а також енергоефективності. Вона може бути використана для автоматизації управління мікрокліматом у приміщеннях для утримання сільськогосподарських тварин.

Однією з основних задач є оптимізація температури в приміщеннях для тварин. Багатофакторні математичні моделі для оптимізації мікроклімату у тваринницьких комплексах враховують одночасний вплив кількох параметрів, таких як температура,

вологість, швидкість повітря, концентрація газів, а також взаємозв'язки між ними. Такі моделі дозволяють оптимізувати мікроклімат з урахуванням складної динаміки процесів та фізіологічних потреб тварин.

Для оптимізації параметрів мікроклімату можна використати інтегральну модель, що враховує взаємодію ключових параметрів:

$$Z = \alpha_1(T - T_{opt})^2 + \alpha_2(H - H_{opt})^2 + \alpha_3(V - V_{opt})^2 + \alpha_4(CO_2 - CO_{2opt})^2, \quad (1)$$

де Z – інтегральний показник відхилення мікроклімату від оптимальних умов; T, H, V, CO_2 – відповідно температура, відносна вологість, швидкість повітря, концентрація вуглекислого газу; $T_{opt}, H_{opt}, V_{opt}, CO_{2opt}$ – оптимальні значення параметрів; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – вагові коефіцієнти, що визначають вплив кожного параметра на загальний мікроклімат.

Енергетичний баланс у тваринницькому приміщенні залежить від параметрів мікроклімату. Загальний енергетичний баланс можна представити як:

$$E_{total} = \beta_1 Q_{heat}(T, H) + \beta_2 Q_{vent}(T, CO_2, V) + \beta_3 Q_{humid}(T, H) + \beta_4 Q_{cool}(T, H), \quad (2)$$

де E_{total} – загальні витрати енергії на забезпечення мікроклімату; $Q_{heat}, Q_{vent}, Q_{humid}, Q_{cool}$ – енергетичні витрати відповідно на опалення, вентиляцію, зволоження та охолодження; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – коефіцієнти енергетичної ефективності.

Модель дозволяє враховувати вплив параметрів мікроклімату на енергоспоживання та оптимізувати витрати енергії.

Взаємозв'язків між параметрами мікроклімату описується, як зміна одного параметра впливає на інші. Так, взаємозалежність між температурою, вологістю та концентрацією газів можна описати системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = \gamma_1(Q_{in} - Q_{out}) - \gamma_2(H - H_{opt}) \\ \frac{dH}{dt} = \gamma_3(P_{in} - P_{out}) - \gamma_4(T - T_{opt}) \\ \frac{dCO_2}{dt} = \gamma_5(\dot{V}_{in} - \dot{V}_{out}) - \gamma_6(V - V_{opt}) \end{cases}, \quad (3)$$

де $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6$ – коефіцієнти, що визначають швидкість змін параметрів; Q_{in}, Q_{out} – тепло, що надходить і виходить; P_{in}, P_{out} – потоки вологи; $\dot{V}_{in}, \dot{V}_{out}$ – потоки повітря, що надходять і виходять.

Ця модель дозволяє прогнозувати динаміку змін мікроклімату залежно від різних факторів.

Для мінімізації енергетичних витрат можна використовувати багатофакторну оптимізаційну модель:

$$\min Z = E_{total}, \text{ за умови } \begin{cases} T_{min} \leq T \leq T_{max} \\ H_{min} \leq H \leq H_{max} \\ CO_{2max} \geq CO_2 \\ V_{min} \leq V \leq V_{max} \end{cases}, \quad (4)$$

де $T_{min}, T_{max}, H_{min}, H_{max}, V_{min}, V_{max}, CO_{2max}$ – допустимі межі параметрів мікроклімату.

Оптимізація проводиться чисельними методами Лагранжа або генетичними алгоритмами.

Розв'язок математичного моделювання оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах покажемо у вигляді графічних залежностей (рис. 1–3).

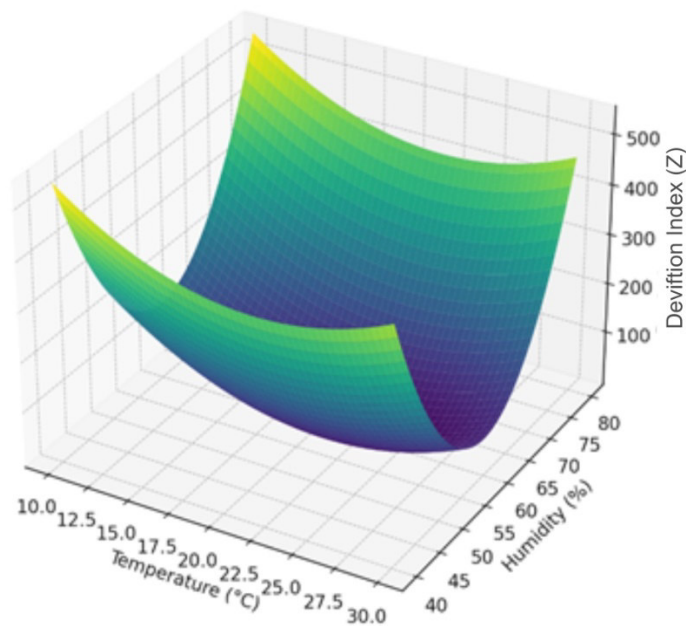


Рис. 1. Відхилення параметрів мікроклімату

На графіку (рис. 1) представлено відхилення температури і вологості від оптимальних значень. Залежність демонструє, що

38

мінімальне відхилення спостерігається в точці, близькій до оптимальних параметрів. Відхилення різко збільшується при віддаленні від цих значень. Це свідчить про чутливість мікроклімату до змін параметрів і необхідність точного регулювання температури та вологості.

Аналіз графічної залежності (рис. 2), що витрати мінімальні у точці оптимальних параметрів, але суттєво зростають при значних відхиленнях. Так, при низькій температурі або високій вологості потреба в енергоресурсах зростає експоненційно. Це підкреслює важливість балансу для зменшення витрат.

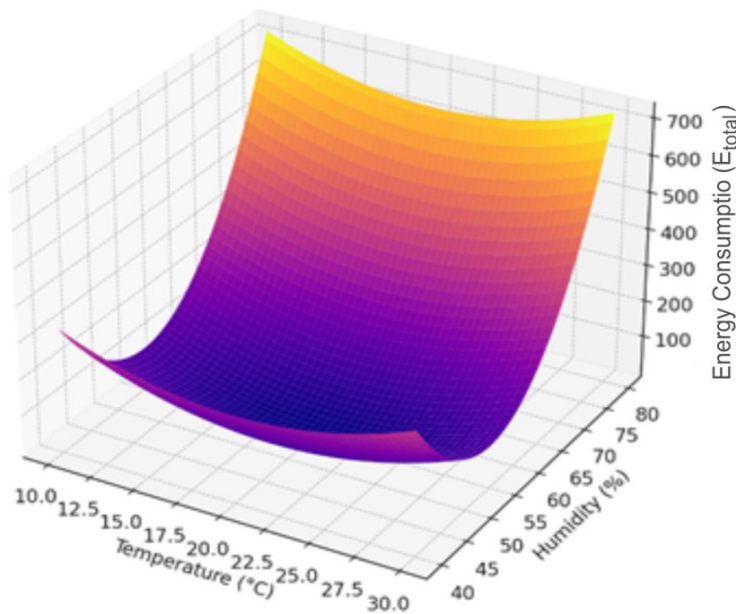


Рис. 2. Енергетичні витрати на підтримання комфортного мікроклімату

На графіку (рис. 3) наведено залежність між температурою і концентрацією CO₂. Найнижчі значення відхилення спостерігаються в районі оптимальних параметрів, однак будь-яке збільшення або зменшення концентрації CO₂ різко підвищує індекс відхилення. Це свідчить про те, що контроль за CO₂ є критично важливим для підтримання комфортного середовища.

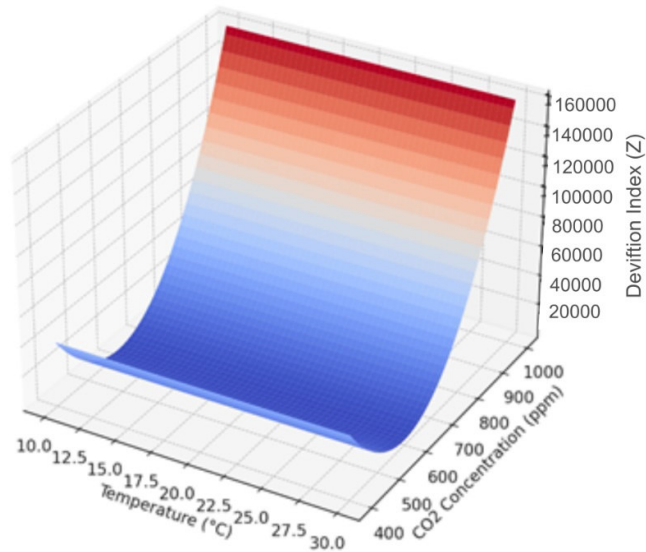


Рис. 3. Відхилення температури і концентрації CO₂

Графічні залежності підтверджують, що оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах дозволяє суттєво зменшити енергетичні витрати та покращити комфортність середовища. Мінімізація відхилень мікрокліматичних параметрів є ключовим завданням, оскільки навіть невеликі зміни можуть призвести до значного погіршення умов та зростання витрат. Застосування моделювання дозволить більш точно визначити налаштування систем управління мікрокліматом, що сприятиме ефективному функціонуванню тваринницьких комплексів.

Висновки. Оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах є важливою складовою забезпечення здоров'я та продуктивності тварин. У статті розглянуто математичні моделі, які дозволяють ефективно управляти температурним режимом, вологістю повітря та концентрацією шкідливих газів у приміщеннях. Використання цих моделей на практиці може значно підвищити якість умов утримання тварин, що сприятиме зростанню їх продуктивності та зниженню рівня захворюваності.

Температурний режим у тваринницьких комплексах залежить від зовнішніх погодних умов та ефективності систем обігріву і вентиляції. Врахування зовнішніх температурних коливань і адаптація внутрішніх параметрів дозволяють зберігати стабільну температуру, необхідну для комфортного перебування тварин.

Вологість повітря, як важливий фактор для здоров'я тварин, також оптимізується шляхом управління вологісними потоками в приміщенні. Правильне регулювання вологості дозволяє уникати небезпечних коливань, що можуть спричинити хвороби або знижувати продуктивність тварин.

Концентрація шкідливих газів контролюється за допомогою ефективних вентиляційних систем, що сприяє створенню безпечних умов для життя тварин, запобігаючи накопиченню газів, таких як аміак чи вуглекислий газ.

Використання багатофакторних математичних моделей для аналізу та оптимізації мікроклімату є ефективним інструментом для проєктування і управління тваринницькими комплексами. Ці моделі дозволяють передбачати зміни в мікрокліматичних умовах і своєчасно коригувати параметри, що забезпечує стабільне і здорове середовище для тварин. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на вдосконалення цих моделей, враховуючи нові технічні рішення та технології, що дозволяють ще точніше регулювати умови утримання тварин.

1. Барбашова О. І., Бобкова О. В. Вплив мікрокліматичних умов на продуктивність тварин. *Науковий вісник аграрного університету*. 2021. № 15. С. 45–50. **2.** Давиденко В. В., Коваленко М. О. Оцінка впливу температурного режиму на продуктивність великої рогатої худоби. *Журнал тваринництва України*. 2020. Т. 4, № 7. С. 112–118. **3.** Ткаченко Ю. І., Семенов А. В. Моделювання впливу мікроклімату на здоров'я та продуктивність тварин. *Аграрні технології та інженерія*. 2022. № 3. Т. 29. С. 89–95. **4.** Нечипорук С. М., Левченко І. П. Автоматизація управління мікрокліматом у тваринницьких комплексах. *Сільськогосподарські механізми та інженерія*. 2021. Т. 13, № 6. С. 45–51. **5.** Федоренко В. І., Петренко О. Ю. Вентиляція та освітлення в тваринницьких приміщеннях: оптимізація параметрів для покращення здоров'я тварин. *Агротехніка та біотехнології*. 2022. Т. 19, № 4. С. 110–116. **6.** Маркевич А. Г. Використання інтернету речей у моніторингу мікроклімату тваринницьких комплексів. *Інноваційні технології в аграрній науці*. 2021. Т. 5, № 2. С. 70–75. **7.** Гречанюк М. В., Каплун Л. Ю. Мікроклімат як фактор ризику для продуктивності сільськогосподарських тварин. *Аграрна наука України*. 2020. Т. 24, № 12. С. 98–104. **8.** Іванов О. А., Мельник О. І. Вплив вологості та газового складу повітря на здоров'я тварин в умовах сучасних комплексів. *Тваринницька наука України*. 2022. Т. 10, № 3. С. 57–63. **9.** Дьяків О. І., Морозова Н. І. Системи вентиляції у тваринницьких комплексах: підвищення ефективності. *Аграрні інженерні технології*. 2021. Т. 7, № 5.

С. 35–41. **10.** Литвиненко А. В. Технології зниження енергоспоживання в тваринницьких приміщеннях. *Енергозберігаючі технології в аграрному виробництві*. 2021. Т. 16, № 4. С. 91–97.

REFERENCES:

1. Barbashova O. I., Bobkova O. V. Vplyv mikroklimatychnykh umov na produktyvnist tvaryn. *Naukovyi visnyk ahrarnoho universytetu*. 2021. № 15. S. 45–50.
 2. Davydenko V. V., Kovalenko M. O. Otsinka vplyvu temperaturnoho rezhymu na produktyvnist velykoi rohatoi khudoby. *Zhurnal tvarynnytstva Ukrainy*. 2020. Т. 4, № 7. S. 112–118.
 3. Tkachenko Yu. I., Semenov A. V. Modeliuvannia vplyvu mikroklimatu na zdorovia ta produktyvnist tvaryn. *Ahrarni tekhnologii ta inzheneriia*. 2022. № 3. Т. 29. S. 89–95.
 4. Nechyporuk S. M., Levchenko I. P. Avtomatyzatsiia upravlinnia mikroklimatom u tvarynnytskykh kompleksakh. *Silskohospodarski mekhanizmy ta inzheneriia*. 2021. Т. 13, № 6. S. 45–51.
 5. Fedorenko V. I., Petrenko O. Yu. Ventyliatsiia ta osvittleniia v tvarynnytskykh prymishchenniakh: optymizatsiia parametriv dlia pokrashchennia zdorovia tvaryn. *Ahrotekhnika ta biotekhnologii*. 2022. Т. 19, № 4. S. 110–116.
 6. Markevych A. H. Vykorystannia internetu rechei u monitorynhu mikroklimatu tvarynnytskykh kompleksiv. *Innovatsiini tekhnologii v ahrarnii nautsi*. 2021. Т. 5, № 2. S. 70–75.
 7. Hrechaniuk M. V., Kaplun L. Yu. Mikroklimat yak faktor ryzyku dlia produktyvnosti silskohospodarskykh tvaryn. *Ahrarna nauka Ukrainy*. 2020. Т. 24, № 12. S. 98–104.
 8. Ivanov O. A., Melnyk O. I. Vplyv volohosti ta hazovoho skladu povitria na zdorovia tvaryn v umovakh suchasnykh kompleksiv. *Tvarynnytska nauka Ukrainy*. 2022. Т. 10, № 3. S. 57–63.
 9. Diakiv O. I., Morozova N. I. Systemy ventyliatsii u tvarynnytskykh kompleksakh: pidvyshchennia efektyvnosti. *Ahrarni inzhenerni tekhnologii*. 2021. Т. 7, № 5. S. 35–41.
 10. Lytvynenko A. V. Tekhnologii nyzhennia enerhospozhyvannia v tvarynnytskykh prymishchenniakh. *Enerhozberihaiuchi tekhnologii v ahrarnomu vyrobnytstvi*. 2021. Т. 16, № 4. S. 91–97.
-

Nalobina O. O., Doctor of Engineering, Professor, Poltavchenko T. V., Candidate of Veterinary Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Kovalchuk N. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Holotiuk M. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Pylypaka T. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Yuvchyk N. O., Senior Lecturer (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

OPTIMIZATION OF THE MICROCLIMATE IN LIVESTOCK COMPLEXES

Optimizing the microclimate in livestock complexes is an important aspect that directly affects the health and productivity of animals. The article examines mathematical models that allow effective management of temperature regimes, humidity and concentration of harmful gases in livestock premises. The key factors affecting the creation of comfortable conditions for animals, including the effectiveness of ventilation, heating and air humidity management systems, were studied. One of the main tasks is to maintain a stable temperature in the room, which must be adapted to the external weather conditions. With the help of mathematical models, the relationship between the temperature of the external environment and the internal conditions of the room was analyzed. The models allow predicting temperature changes depending on seasonal fluctuations and settings of heating systems, which ensures the optimal temperature regime for animals. Particular attention is paid to moisture management, as excess or lack of moisture can cause disease or reduce animal productivity. The methods of regulating the level of humidity in the premises using various technologies that ensure a stable microclimate are highlighted. In addition, the article considers the optimization of ventilation, which helps to reduce the concentration of harmful gases, such as ammonia and carbon dioxide. Ventilation systems, in particular intelligent ones, are able to effectively remove these gases from the room, thereby reducing their concentration to a safe level. On the basis of the constructed mathematical models, an analysis of the effectiveness of various microclimate optimization methods and their impact on animal productivity was carried out. The results show that the use of modern technologies for microclimate management can significantly improve

the conditions of keeping animals, reducing the level of morbidity and increasing productivity.

The article is an important step towards the implementation of scientific approaches in agricultural practice, as it provides an opportunity to predict and effectively regulate the conditions of animal husbandry, which is the basis for the stable development of animal husbandry.

***Keywords:* basics of animal husbandry; microclimate; premises; optimization; mathematical models; livestock complexes.**

Гриб Й. В., д.б.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, y.v.hryb@nuwm.edu.ua), **Ковальчук С. В., к.с.-г.н., голова циклової комісії** (ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП», м. Рівне, s.v.kovalchuk@nuwm.edu.ua), **Калько А. Д., д.геогр.н., професор** (ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП», м. Рівне, edissey@meta.ua)

КОМПЛЕКС ВІДРОДЖЕННЯ АГРОЕКОЛОГІЇ ВОДНИХ БАСЕЙНІВ ЯК ОСЕРЕДКУ ЖИТТЯ АБОРИГЕННОЇ ІХТІОФАУНИ

На сьогодні водні екосистеми України перебувають у кризовому стані через недостатньо ефективне очищення стічних і зливових вод з надто урбанізованих територій (біля 70% домішок) та агросистем (в межах 20%), внаслідок чого за якістю поверхневі води переважно належать до III і IV класів. Крім того, із стічними водами, що у масі складають від 25 до 50% добового стоку, у довкілля потрапляють і значні маси біогенних елементів – органічного вуглецю, різні форми азоту та фосфору, а на обширних розораних територіях вносяться у ґрунт мінеральні добрива, майже 30% яких виносяться у річкову мережу. Для поліпшення ситуації, особливо під час воєнного стану та для заощадження часу і коштів, доцільним є проектування систем природного доочищення наявних ставів і використання їх в існуючих агроекосистемах, що дозволить підвищити врожайність культур, вміст гумусу у ґрунтах та покращити якісні показники води. Пропонується запроєктувати вилучення донних відкладів з поліських озер разом із добавками крейди (Ca^{2+}) та залишками відходів сільськогосподарських тварин. Виходячи з економічного критерію доцільним є використання біотропів – системи отримання сільськогосподарської продукції з обезводнених ставів, використання їх для рибопродукції та накопичення чистої води.

Ключові слова: екосистема; ґрунт; біотропи; водоохоронна зона; сапропелі; заплава; річкова мережа; самоочищення; аквакультура.

Постановка проблеми. Процес очищення водойм, викладений Інститутом нанотехнологій та здорових продуктів «Arelife» у Програмі оновлення родючості ґрунтів України за рахунок оновлення водогонів (розробник Тимур Левада), ставиться у пряму залежність від екологічного стану водойм або якості води, що, на нашу думку, є некоректним. Та й власне сама назва програми сформульована некоректно, потрібно її викласти під назвою «Оновлення родючості ґрунтів України за рахунок очищення водойм».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження особливостей масштабного порушення природного стану річок і суттєвого руйнування балансу водної екосистеми відображені у працях вітчизняних та зарубіжних вчених: Клименка М. О. [1–3], Гриба Й. В. [1–5; 7], Гродзинського Д. М. [6], Гроховської Ю. Р., Куньчик Т. М. [5], Сондака В. В. [1–4], Яцика А. В. [7] та інших.

Мета і завдання досліджень. Визначити екологічне значення та доцільність використання біотропів як системи отримання сільськогосподарської продукції з обезводнених ставів та їх комплексного використання.

Виклад основного матеріалу досліджень. Якість води і її маса формується за рахунок поверхневого стоку, атмосферних опадів, комунального і зливового стоку з урбанізованих територій, підземного і ґрунтового живлення. Скільки не поглиблюй водойми, формуватиме якість води те, що входить до системи. Позитивним в роботі є аналіз виникнення донних відкладів з корекції домішок підстеляючих порід, що підвищить на деякий період урожайність зернових (насамперед вівса) та підвищить утилізацію біотехногенних домішок (*C, N, P*).

Авторами, науковцями НУВГП, Грибом Й., Клименком М. та Ковальчуком С., опрацьовано монографію «Відродження екосистем трансформованих ставів, річок та озер» з рекомендаціями для розробки ЕВНС меліорованих гідросистем. Показано, що первинною ланкою будь-якої гідросистеми є водні об'єкти з певною структурою порушених і непорушених територій (при оптимальному співвідношенні 50:50. Водночас площа лише порушених територій України складає 56,7%, а по водних басейнах малих річок – до 90,0%), формування гідрологічного режиму, впливу стоків урботериторій та агросистем. При цьому природний стік формується лише на 5–10% території.

За існуючої системи природокористування є доволі прогнозованими:

а) зменшення біологічних видів флоро-фауністичних комплексів;

б) зникнення або трансформація ландшафтів, урочищ в результаті агроеліорації, гідромеліорації, зарегулювання річок, будівництва каналів, урбанізації (осушення боліт, живлення малих річок, ремонт);

в) зміна біогеоценозів рослинності;

г) порушення умов відтворення та існування іхтіофауни й орнітофауни;

д) зниження самоочисної здатності річок та показника якості води і деградація ґрунтів;

е) розселення інвазивних видів рослин і тварин.

Ведення еколого-обґрунтованого природокористування можливо і в зоні антропогенних ландшафтів.

Системи землекористування нами розділені наступні класи агросистем з метою оптимізації природокористування:

А – природні агроекосистеми;

Б – штучні агроекосистеми (орні, поливні землі, осушені);

В – урбоекосистеми (водозбір маси стічних вод навколо міст);

Г – озерно-водорослево-сапропелеві агроекосистеми (видучення сапропелів);

Д – тваринницькі комплексні агроекосистеми (видалення відходів, очищення ставів і їх використання на зрошення);

Е – теплові агроекосистеми на зворотних водах АЕС (овочівництво, рибництво);

Є – комплексні проєктовані біотропи (замкнуті системи від виробництва до його використання та отримання чистої води від тваринницьких комплексів та урботериторій);

Ж – біотропи за рахунок мулів шельфової зони Балтійського моря з метою змоги впливу на шляхи міграції вугра);

З – природні ландшафтні агроекосистеми (управління стоками річок і озерних систем).

Стан поверхні водозбору річкових русел на сьогодні формують сільгоспугіддя на розораних територіях. Коефіцієнт трансформації – виразиться за відношенням суми коефіцієнтів природних чинників

(заліснення, залуження, заболочування та ін.) до суми коефіцієнтів антропогенних (розораність, урбанізація т. і.), тобто:

$$K_c = \frac{\sum_{\text{пр}} K}{\sum_{\text{антр}} K} \leq 1,0, \quad (1)$$

де враховані чинники: антропогенні:

K_1 – розораності угідь;

K_2 – урбанізації території;

K_3 – меліоративні роботи з осушення територій;

K_4 – індустріалізація (промійні ставки, кар'єри);

K_5 – стічні води урботериторій;

природні чинники стійкості річкової системи, компенсацій:

K_6 – залісненість;

K_7 – залуженість річкових заплав;

K_8 – заболочення;

K_9 – вкритість (щільність річкової мережі);

K_{10} – очищення стічних вод;

K_{11} – економія питної води;

K_{12} – заповідність території.

Серед чинників впливу переважають залісненість, розораність територій, що має загальні риси фізико-географічних районів.

Усі озерні системи Західного Полісся, як у працях зазначав П. Тутковський, приречені на старіння та перетворення на болотні масиви [8]. Інтенсивність старіння (відкладення донних мулів) складає від 2 мм (оліготрофи тощо) до 2,0–5,0 см на рік залежно від рівня евтрофікації. При цьому обміління веде до заростання фітомасою вищої водної рослинності, підвищення транспірації та порушення кормової бази іхтіофауни.

Екологічний стан озера виражається як складова діючих чинників: просторово-складових (S_1), якості водного середовища (S_2), антропогенної трансформації паводкового водозбору (S_3), ландшафтометрична характеристика озера (S_4), тобто:

$$S_{\text{оз}} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \dots S_n. \quad (2)$$

Органічні сапропелі – це універсальний тип озерних відкладів. Їх частка складає до 30%. Вміст органічної речовини в органічних сапропелях складає від 80 до 94%, колір сіруватий. Це ефективний удобрювальний матеріал, що має сільськогосподарське, кормове і

лікувальне значення та використовується переважно у переробній промисловості і будівництві.

Інтерес для використання складають сапропелі в періоди зміни структури ґрунтів за перекисом кремнію, тобто кремнієвмісні сапропелі. Основним компонентом мінеральної частини сапропелю є двоокис кремнію, частка якого складає від 30 до 70%. Також на екосистеми озер впливає висока концентрація окису заліза, при кислих умовах видно перехід у закисне і зв'язує розчини у водоймах. Мінеральна складова за двоокисом кремнію – до 33%, до 5,8% – окису амонію і заліза, до 8% – окису кальцію та магнію. Варто враховувати значення коефіцієнтів важких металів у ґрунті, вмісту цинку, міді, свинцю, нікелю, кадмію, ртуті.

Агрохімічними дослідженнями встановлено позитивний вплив сапропелево-кремнієвих домішок на урожай вівса, однак у цілому за рахунок біогенних домішок (*C, N, P*) і кремнію тут буде відчуватися роль мінеральної стимуляції рослинного покриву.

У цілому запаси сапропелю під торфом у Волинській області складають в межах залягання 9707 тис. м³, а в межах промивної глини (кар'єр) – 5335 тис. м³.

У Рівненській області геологічні запаси сапропелю 13900 тис. т (за розвіданими запасами). З них пластичного типу 3876,6 (46,3%), змішаного – 3832,0 тис. т (45,7%) та біогенного – 672,5 тис. т (8%).

На стариці сапропель добувають шляхом використання земснарядів, грейферним способом без пониження рівня води або без нього. Недоліком є проблема зневоднення, використання дренажних карт без врахування проблеми збереження їх аборигенної іхтіофауни та втратою води.

Нами пропонується наступна схема видобування сапропелів (рис. 1, 2).

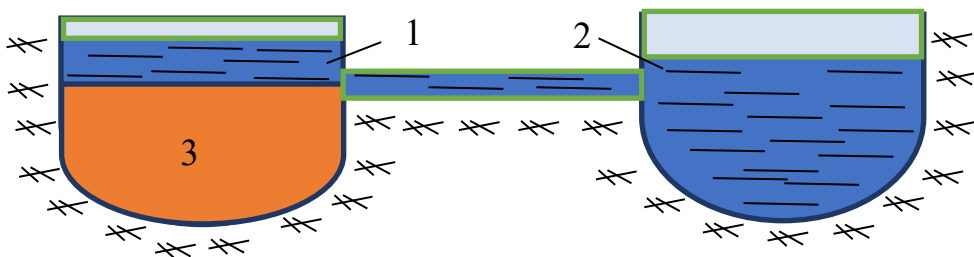


Рис. 1. Схема зневоднення старіючих озер: 1 – старіюче озеро; 2 – фактичне озеро; 3 – сапропель

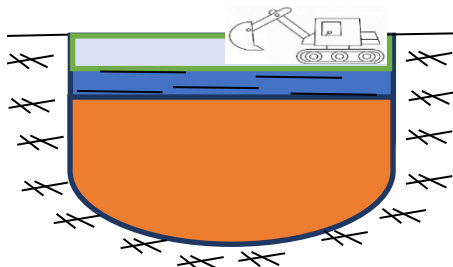


Рис. 2. Схема видобування сапропелю

Поряд із старіючим озером, що через постійний розвиток екосистеми веде до формування болота і його перетворення у заболочений суходіл, за нашою пропозицією, у приводній улоговині варто сформувати дублююче фактичне озеро з конкретною вибіркою торфу до піщаного дна. Туди за допомогою допоміжного каналу перекидається вода, яка перетікає за законом сполучених посудин разом із наявною іхтіофауною. Фактичне озеро, крім збереження іхтіофауни, є переселеним природним середовищем та існує джерелом розвитку рибальства.

Водночас старіюче озеро осушується, що дає можливість добування сапропелю відкритим способом з подальшою його переробкою (виморожуванням, корекцією за вмістом кальцію шляхом внесення меленої крейди або мулу від переробки цукрового буряка на цукор чи фосфогіпсу).

Висновки. За сучасних умов, коли відбувається збіднення складу аборигенної іхтіофауни, важливо активно розглядати можливості поліпшення ситуації для заощадження часу і коштів з проєктуванням систем природного доочищення наявних водних об'єктів і використання їх в існуючих агроекосистемах, що дозволить підвищити врожайність культур, вміст гумусу у ґрунтах та покращити якісні показники води.

1. Гриб Й. В., Клименко М. О., Сондак В. В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем. Рівне : Волинські обереги, 1999. 348 с. 2. Гриб Й. В., Клименко М. О., Сондак В. В. Відродження екосистем трансформованих басейнів річок та озер (Рекомендації до розробки ОВНС) Рівне : НУВГП, 2012. 246 с. 3. Гриб Й. В., Клименко М. О., Сондак В. В. Реабілітація порушених річкових та озерних систем. Рівне-Вінниця, 2015. 424 с. 4. Гриб Й. В., Сондак В. В., Куньчик Т. М. Компенсаційні заходи з відтворення аборигенної іхтіофауни у річково-озерній мережі Західного

Полісся. *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2005. Вип. 38. С. 161–164. **5.** Ковальчук С. В., Гриб В. Й., Калько А. Д. Роль заплави річково-озерної мережі як осередку життя водної екосистеми і відтворення аборигенної іхтіофауни. Фахове видання. *Вісник НУВГП. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2024. Вип. 3(107). С. 120–133. **6.** Гродзинський Д. М. Основи ландшафтної екології : підручник. К. : Либідь, 1993. 224 с. **7.** Денисова О. І., Серебрякова Т. М., Чернявська А. П., Яцик А. В., Гриб Й. В., Сіренко Л. Я., Верніченко Г. А., Руденко Л. О., Разов В. П. Сучасний стан поверхневих вод України: методичні підходи та екологічна оцінка. *Водне господарство України*. 1996. № 6. С. 24–28. **8.** Тутковский П. А. Зональность ландшафтов и почв Волинской губернии. *Тр. о-ва исследователей Волини*. Житомир, 1910. Т. 2. С. 143–165.

REFERENCES:

1. Hryb Y. V., Klymenko M. O., Sondak V. V. Vidnovna hidroekolohiia porushenykh richkovykh ta ozernykh system. Rivne : Volynski oberehy, 1999. 348 s. **2.** Hryb Y. V., Klymenko M. O., Sondak V. V. Vidrozhennia ekosystem transformovanykh baseiniv richok ta ozer (Rekomendatsii do rozrobky OVNS) Rivne : NUVHP, 2012. 246 s. **3.** Hryb Y. V., Klymenko M. O., Sondak V. V. Reabilitatsiia porushenykh richkovykh ta ozernykh system. Rivne-Vinnytsia, 2015. 424 s. **4.** Hryb Y. V., Sondak V. V., Kunchyk T. M. Kompensatsiini zakhody z vidtvorennia aboryhennoi ikhtiofauny u richkovo-ozernii merezhi Zakhidnoho Polissia. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. Kherson, 2005. Vyp. 38. S. 161–164. **5.** Kovalchuk S. V., Hryb V. Y., Kalko A. D. Rol zaplavy richkovo-ozernoi merezhi yak oseredku zhyttia vodnoi ekosystemy i vidtvorennia aboryhennoi ikhtiofauny. Fakhove vydannia. *Visnyk NUVHP. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2024. Vyp. 3(107). S. 120–133. **6.** Hrodzynskiy D. M. Osnovy landshaftnoi ekolohii : pidruchnyk. K. : Lybid, 1993. 224 s. **7.** Denysova O. I., Serebriakova T. M., Cherniavska A. P., Yatsyk A. V., Hryb Y. V., Sirenko L. Ya., Vernichenko H. A., Rudenko L. O., Razov V. P. Suchasnyi stan poverkhnevyykh vod Ukrainy: metodychni pidkhody ta ekolohichna otsinka. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*. 1996. № 6. S. 24–28. **8.** Tutkovskiy P. A. Zonalnost landshaftov y pochv Volynskoi hubernii. *Tr. o-va issledovatelei Volyni*. Zhytomyr, 1910. T. 2. S. 143–165.

Hryb Y. V., Doctor of Biological Sciences, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Kovalchuk S. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Chairman of the Cycle Commission** (SSU «Rivne Technical Professional College of NUWEE», Rivne), **Kalko A. D., Doctor of Geological Sciences, Professor** (SSU «Rivne Technical Professional College of NUWEE», Rivne)

COMPLEX OF REHABILITATION OF AGROECOLOGY OF WATER BASINS AS A CENTRE OF LIFE OF ABORIGINAL ICHTHYOFAUNA

Today, Ukraine's aquatic ecosystems are in a state of crisis due to insufficiently effective treatment of wastewater and stormwater from overly urbanized areas (about 70% of impurities) and agricultural systems (within 20%), as a result of which surface waters mainly belong to classes III and IV in terms of quality. In addition, with wastewater, which by mass makes up from 25 to 50% of the daily runoff, significant masses of biogenic elements enter the environment – organic carbon, various forms of nitrogen and phosphorus, and in vast plowed areas, mineral fertilizers are applied to the soil, almost 30% of which is carried out into the river network. To improve the situation, of course, especially during martial law and to save time and money, it is advisable to design systems for natural additional treatment of existing ponds and use them in existing agricultural ecosystems, which will allow to increase crop yields, humus content in soils and, in turn, improve water quality indicators. It is proposed to design the extraction of bottom sediments from Polissia lakes together with chalk additives (Cu^{2+}) and residues of farm animal waste. Based on the economic criterion, it is advisable to use biotropes – a system for obtaining agricultural products from drained ponds, using them for fish production and accumulating clean water.

In addition, agrochemical studies have established a positive effect of spropel-silicon admixtures on the yield of oats, however, in general, due to biogenic admixtures (*C, N, P*) and silicon, the role of mineral stimulation of the vegetation cover will be felt.

The disadvantage of traditional extraction of spropels on old lakes using dredgers, a grab method without lowering the water level or without it is the problem of dehydration, the use of drainage maps without taking into account the problem of preserving their native

ichthyofauna and water loss. We propose to form a duplicate actual lake with a specific peat sample to the sandy bottom in the catchment basin next to the aging lake, which due to the constant development of the ecosystem leads to the formation of a swamp and its transformation into a swampy land. There, using an auxiliary channel, water is transferred, which flows according to the law of connected vessels together with the existing ichthyofauna. The new lake, in addition to preserving the ichthyofauna, is a resettled natural environment and a source of fishing development. At the same time, the aging lake is being drained, which makes it possible to extract sapropel in an open-pit manner with its subsequent processing.

***Keywords:* ecosystem; soil; biotopes; water protection zone; sapropels; floodplain; river network; self-purification; aquaculture.**

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31713/vs420245>

Грищенко О. М., к.с.-г.н., учений секретар, ORCID: 0000-0002-1241-7183 (Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, grischenkoel@ukr.net), **Куліджанов Е. В., к.с.-г.н., доцент, директор**, ORCID: 0000-0003-2808-0199 (Південний міжрегіональний центр ДУ «Держґрунтохорона», м. Одеса), **Гунчак М. В., к.с.-г.н., директор**, ORCID: 0000-0002-3521-8531 (Чернівецький регіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Чернівці), **Яценко Ю. М., науковий співробітник**, ORCID: 0009-0006-3402-3093, **Грищенко В. О., провідний фахівець**, ORCID: 0009-0003-8550-2033, (Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ), **Вознюк Н. М., к.с.-г.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, n.m.voznyuk@nuwm.edu.ua)

ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ПІДТОПЛЕННЯ ВНАСЛІДОК РУЙНУВАННЯ КАХОВСЬКОЇ ГЕС

Висвітлено вплив руйнування дамби Каховської ГЕС та тривалого підтоплення на екологічний стан земель сільськогосподарського призначення. Наведено результати експериментальних досліджень вмісту рухомих сполук важких металів у тринадцяти збірних пробах ґрунту, відібраних на території Березнегуватської та Снігурівської ТГ Баштанського району Миколаївської області.

За результатами проведених досліджень встановлено перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК) рухомих сполук важких металів лише за вмістом свинцю, яке відмічено в ґрунті ділянки 6 на території с.Тернівка Березнегуватської ТГ Баштанського району. Також одна ділянка характеризується дуже високим ступенем забруднення рухомими сполуками свинцю, по чотири ділянки – підвищеним та середнім, три ділянки – помірним ступенем забруднення. Дев'ять ділянок мають слабкий ступінь забруднення ґрунтів за вмістом рухомих сполук кадмію, дві ділянки – помірний та середній. На ділянці 6 встановлено слабкий рівень

забруднення ґрунту за вмістом рухомих сполук нікелю та високий ступінь забруднення за вмістом рухомих сполук кобальту. Ґрунти однієї ділянки характеризуються слабким рівнем забруднення за вмістом рухомих сполук марганцю. Забруднення ґрунтів досліджуваних ділянок за вмістом цинку та міді не виявлено. ГДК заліза не нормується. Найбільш забрудненою є ділянка 6 на території с. Тернівка Березнегуватської ТГ Баштанського району Миколаївської області.

Здійснено кореляційний аналіз залежності вмісту досліджуваних рухомих сполук важких металів.

Ключові слова: руйнування греблі Каховської ГЕС; ґрунт; мул; намул; забруднювачі; важкі метали; рухомі сполуки; свинець; кадмій; залізо, магній; цинк, кобальт; мідь; нікель; клас небезпеки; ГДК.

Постановка проблеми. Руйнування греблі Каховської ГЕС стало справжньою техногенною катастрофою для південних регіонів України. Терористичний акт російських окупантів спровокував потужне неконтрольоване виливання води об'ємом до 19 м³, як наслідок, масштабне затоплення правого і значною мірою лівого берега Дніпра площею 5 тис. км², а також людські жертви, затоплення населених пунктів, втрати унікальних екосистем, забруднення довкілля та значні фінансові збитки [1; 2]. Руйнування дамби призвело до значних негативних наслідків і для земель сільськогосподарського призначення. До 6 червня 2023 року Каховська ГЕС забезпечувала зрошення та водозабезпечення південних регіонів України. Без води залишилося 94% зрошувальних систем в Херсонській, 74% – Запорізькій та 30% – Дніпропетровській областях [3; 4]. Унаслідок підтоплення втрачено врожаї сільськогосподарських культур. Вода, яка зі значною швидкістю рухалася вниз за течією Дніпра, призвела до змивання верхнього родючого шару ґрунту, виникнення деградаційних та ерозійних процесів, замулення та нанесення мулових мас з дна Каховського водосховища [5; 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження впливу тривалого підтоплення та забруднення ґрунтового покриву внаслідок руйнування водних об'єктів є новими для України. Дослідженнями науковців ДУ «Держґрунтохорона» встановлено перевищення ГДК

рухомих сполук важких металів у пробах ґрунту, мулу та замулу, відібраних на землях сільськогосподарського призначення, які зазнали підтоплення внаслідок руйнування Каховської ГЕС на території Херсонського та Бериславського районів Херсонської області. Перевищення ГДК рухомих сполук свинцю виявлено у 4 з 10 проб ґрунту (від 1,04 до 2,9 раза), пробах замулу (у 1,04 раза) та мулу (у 4,2 раза), кадмію – в одній пробі ґрунту (у 1,07 раза) та мулу (у 1,01 раза), нікелю та цинку – у пробі мулу (у 1,03 та 1,01 раза відповідно). Також встановлено, що замул та мул містять вищий вміст забруднювачів, ніж ґрунтові зразки та, переміщуючись з потоком води, саме вони забруднили ґрунти на підтоплених територіях [7]. За даними В. Зацерковного [8] та Є. Обухова [9], Каховське водосховище зазнало значного техногенного навантаження та акумулювало не лише запаси води, але й усі забруднення, що надходили із площі водозбору. Води, мули та донні відклади водосховища були забруднені біогенними, органічними і поверхнево-активними речовинами, нафтопродуктами, фенолами, пестицидами, важкими металами тощо. Серед водосховищ Дніпра найбільшу кількість важких металів (Fe, Cd, Pb, Cr, Zn, Mg, Ni, Cu, Mn та ін.) містили саме донні відклади та мули Каховського водосховища. Забруднення донних відкладів Каховського водосховища також підтверджено фахівцями ДУ «Держґрунтохорона» [10]. За результатами досліджень встановлено перевищення ГДК (для ґрунту) рухомих сполук свинцю, цинку, кадмію та нікелю в усіх досліджуваних пробах донних відкладів. За вмістом валових форм забруднювачів перевищення ГДК (ґрунту) встановлено у всіх досліджуваних пробах за вмістом свинцю.

Потужне виливання води з водосховища призвело до руйнування складів сільгосппідприємств, пошкоджено герметичність і цілісність ємностей зберігання добрив, отруйних речовин, нафтопродуктів тощо. Шкідливі речовини рознесені водою на значну відстань. Всі ці речовини можуть призвести до забруднення ґрунтового покриву та зробити його непридатним для вирощування сільськогосподарської продукції без належного відновлення [11]. Тому особливої уваги потребує вивчення стану підтоплених ґрунтів земель сільськогосподарського призначення на вміст токсикантів.

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень було встановлення еколого-токсикологічного стану земель сільськогосподарського призначення, що зазнали підтоплення

внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС.

Об'єктом досліджень слугували 13 проб ґрунту, відібраних на території Березнегуватської та Снігурівської ТГ Баштанського району Миколаївської області (табл. 1, рис. 1, 2). Агровиробничі групи ґрунтів досліджуваних ділянок наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Місця відбору проб для досліджень

№ проби	Кадастровий номер	Місце відбору
1	4821183000:10:000:0014	с. Тернівка, Березнегуватська ТГ, Баштанський р-н
2	4821183000:10:000:0030	
	4821183000:10:000:0029	
	4821183000:10:000:0039	
3	4821183000:10:000:0028	
4	4821183000:10:000:0071	
5	4821183000:10:000:0057	
6	4821183000:10:000:0019	
	4821183000:10:000:0020	
	4821183000:10:000:0021	
7	4821183000:10:000:0022	
8	4821183000:10:000:0981	
9	4821183000:10:000:0012	
	4821183000:10:000:0013	
	4821182200:08:000:0060	с. Яковлівка, Березнегуватська ТГ, Баштанський р-н
4821182200:08:000:0065		
4821182200:08:000:0062		
11	4821182200:05:000:0050	с. Веселий Кут, Березнегуватська ТГ, Баштанський р-н
12	4825782000:37:000:0015	с. Новопавлівське, Снігурівська ТГ, Баштанський р-н
	4825782000:37:000:0017	
	4825782000:37:000:0011	
	4825782000:37:000:0006	
	4825782000:37:000:0014	
13	4825782000:37:000:0009	
	4825782000:36:000:0031	



Рис. 1. Місця відбору проб ґрунту



Рис. 2. Місця відбору проб ґрунту

Таблиця 2

Агровиробничі групи ґрунтів на обстежених ділянках

Кадастровий номер ділянки	Шифр та назва агровиробничої групи
1	2
4821183000:10:000:0014	133в – лучні ґрунти та їх слабосолонцюваті і слабоосолоділі відміни супіщані; 134е – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
4821183000:10:000:0030	134е – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
4821183000:10:000:0029	133в – лучні ґрунти та їх слабосолонцюваті і слабоосолоділі відміни супіщані; 134е – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
4821183000:10:000:0039	133в – лучні ґрунти та їх слабосолонцюваті і слабоосолоділі відміни супіщані
4821183000:10:000:0028	134е – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
4821183000:10:000:0071	134л – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені легкоглинисті ґрунти
4821183000:10:000:0057	
4821183000:10:000:0019	133в – лучні ґрунти та їх слабосолонцюваті і слабоосолоділі відміни супіщані; 134е – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти; 176б – дернові глибокі неоглесні і глеюваті глинисто-піщані ґрунти та їх опідзолені відміни
4821183000:10:000:0020	133в – лучні ґрунти та їх слабосолонцюваті і слабоосолоділі відміни супіщані; 134е – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти; 176б – дернові глибокі неоглесні і глеюваті глинисто-піщані ґрунти та їх опідзолені відміни
4821183000:10:000:0021	
4821183000:10:000:0022	133в – лучні ґрунти та їх слабосолонцюваті і слабоосолоділі відміни супіщані; 134е – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти

продовження табл. 2

4821183000:10: 000:0981	133в – лучні ґрунти та їх слабосолонцюваті і слабоосолоділі відміни супіщані; 176б – дернові глибокі неоглеєні і глеюваті глинисто-піщані ґрунти та їх опідзолені відміни
4821183000:10: 000:0012	133в – лучні ґрунти та їх слабосолонцюваті і слабоосолоділі відміни супіщані; 134е – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти; 176б – дернові глибокі неоглеєні і глеюваті глинисто-піщані ґрунти та їх опідзолені відміни
4821183000:10: 000:0013	134е – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
4821182200:08: 000:0060	209е – намиті чорноземи і лучно-чорноземні важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
4821182200:08: 000:0065	
4821182200:08: 000:0062	74е – чорноземи південні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті; 209е – намиті чорноземи і лучно-чорноземні важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
4821182200:05: 000:0050	135е – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні середньо- і сильносолонцюваті засолені важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти
4825782000:37: 000:0015	134л – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені легкоглинисті ґрунти
4825782000:37: 000:0017	
4825782000:37: 000:0011	
4825782000:37: 000:0006	
4825782000:37: 000:0014	
4825782000:37: 000:0009	
4825782000:36: 000:0031	104д – чорноземи щепенюваті сильнозмиті та дернові слабозвинені ґрунти на елювії щільних карбонатних порід середньосуглинкові; 134л – лучні, чорноземно-лучні і каштаново-лучні несолонцюваті і слабосолонцюваті засолені легкоглинисті ґрунти

Уміст рухомих сполук важких металів визначали відповідно до ДСТУ 4770:1–7,9:2007 [12–19]. Оцінку еколого-токсикологічного стану
60

ґрунтів за вмістом важких металів та встановлення придатності земельних ділянок для вирощування сільськогосподарської продукції здійснювали шляхом порівняння їх вмісту з ГДК [20] та групуванням ґрунтів за вмістом рухомих форм елементів забруднювачів [21].

Розрахунки кореляційних взаємозв'язків виконували методом кореляційного аналізу за такою градацією: коефіцієнт кореляції (r) менше 0,3 – залежність слабка, від 0,3 до 0,7 – середня, вище 0,7 – сильна (перевищує критичне значення).

Статистичну обробку отриманих результатів виконували в пакеті програм Microsoft Office Excel.

Виклад основного матеріалу дослідження. За результатами проведених досліджень встановлено, що вміст рухомих сполук свинцю у відібраних пробах варіював від 1,59 до 9,86 мг/кг ґрунту. Перевищення ГДК вмісту свинцю виявлено в одній пробі ґрунту (6), відібраній на території с. Тернівка Березнегуватської ТГ Баштанського району. У цій пробі показник у 1,6 раза перевищував ГДК. На усіх інших досліджуваних ділянках уміст рухомих сполук свинцю був від 0,61 до 3,77 раза нижчим від ГДК.

Також відмічено дуже високий ступінь забруднення ґрунту рухомими сполуками свинцю на ділянці 13, підвищений – ділянках 7, 8, 9, 12, середній – 3, 4, 10, 11, помірний ступінь забруднення – на ділянках 1, 2 та 5. Найвищий ступінь забруднення рухомими сполуками свинцю виявлено в пробі ґрунту 6, відібраній на території с. Тернівка Березнегуватської ТГ Баштанського р-ну Миколаївської області (табл. 3, рис. 3).

Цей показник є одним з найбільш варіабельних показників. Коефіцієнт варіації за вмістом елемента становив 59,7%.

Таблиця 3

Уміст рухомих сполук важких металів I класу небезпеки у пробах ґрунту, відібраних на територіях Березнегуватської та Снігурівської ТГ Баштанського району Миколаївської області

№ проби	Свинець, мг/кг ґрунту		Цинк, мг/кг ґрунту		Кадмій, мг/кг ґрунту	
	уміст	% до ГДК	уміст	% до ГДК	уміст	% до ГДК
1	2,06	34,3	1,19	5,2	0,15	21,4
2	1,59	26,5	0,98	4,3	0,17	24,3

продовження табл. 3

3	2,84	47,3	0,52	2,3	0,1	14,3
4	2,51	41,8	0,44	1,9	0,06	8,6
5	2,24	37,3	0,46	2,0	0,12	17,1
6	9,86*	164,3	1,05	4,6	0,6	85,7
7	3,44	57,3	0,8	3,5	0,21	30,0
8	3,82	63,7	0,58	2,5	0,17	24,3
9	3,23	53,8	0,64	2,8	0,19	27,1
10	2,71	45,2	0,695	3,0	0,13	18,6
11	2,89	48,2	0,85	3,7	0,155	22,1
12	3,5	58,3	0,41	1,8	0,135	19,3
13	5,27	87,8	0,62	2,7	0,18	25,7
Середнє значення	3,54	58,9	0,71	3,09	0,18	26,0
Стандартна помилка	0,58		0,07		0,04	
Середньоквадратичне відхилення	2,1		0,25		0,13	
Коефіцієнт варіації	59,7		34,9		72,2	
Min	1,59		0,41		0,06	
Max	9,86		1,19		0,60	

*Показник перевищує ГДК (ГДК для рухомих сполук свинцю – 6 мг/кг ґрунту, цинку – 23 мг/кг ґрунту, кадмію – 0,7 мг/кг ґрунту [20])

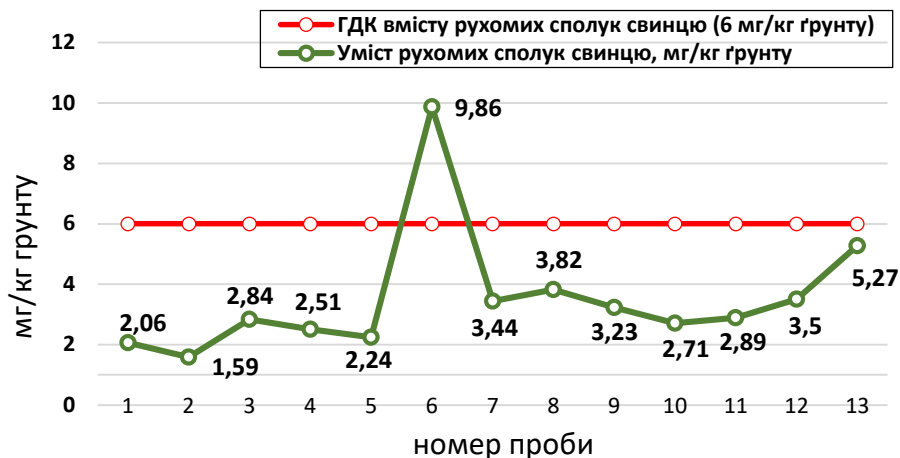


Рис. 3. Уміст рухомих сполук свинцю

Уміст рухомих сполук цинку у відібраних пробах варіював від 0,41 до 1,19 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК та забруднення ґрунтів за вмістом цинку не виявлено (див. табл. 3, рис. 4). Коефіцієнт варіації за вмістом елемента становить 34,9%.

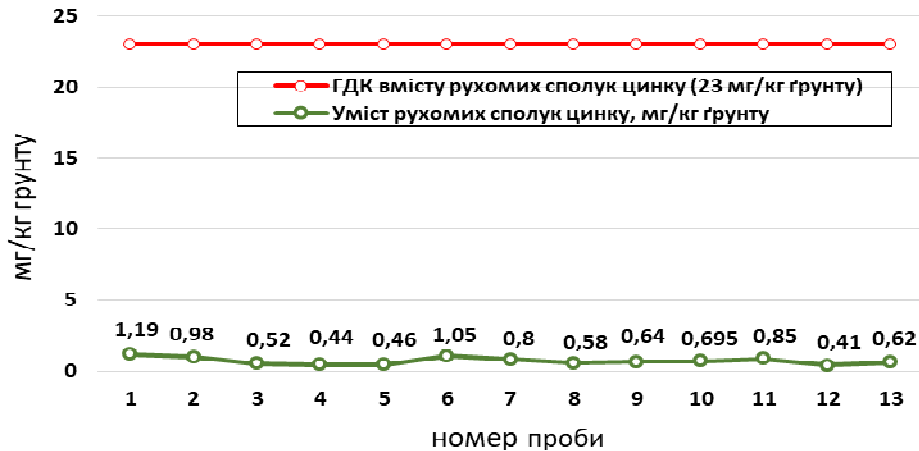


Рис. 4. Уміст рухомих сполук цинку

Дослідженнями встановлено, що вміст рухомих сполук кадмію у відібраних пробах варіював від 0,06 до 0,6 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК за вмістом кадмію не виявлено. Варто зазначити, що на ділянках 1, 2, 5, 8–13 виявлено слабе забруднення елементом, на ділянці 7 – помірне, 6 – середнє. На ділянках 3 та 4 вміст рухомих сполук кадмію був на рівні фонових значень. Найвищий ступінь забруднення за вмістом забруднювача виявлено в пробі 6, відібраній на території с. Тернівка Березнегуватської ТГ Баштанського району. Показник у цій пробі у 4 рази перевищує середній показник, зафіксований на інших досліджуваних ділянках (див. табл. 3, рис. 5).

Уміст рухомих сполук кадмію є одним з найбільш варіабельних показників, а коефіцієнт варіації за вмістом елемента становить – 72,2%.

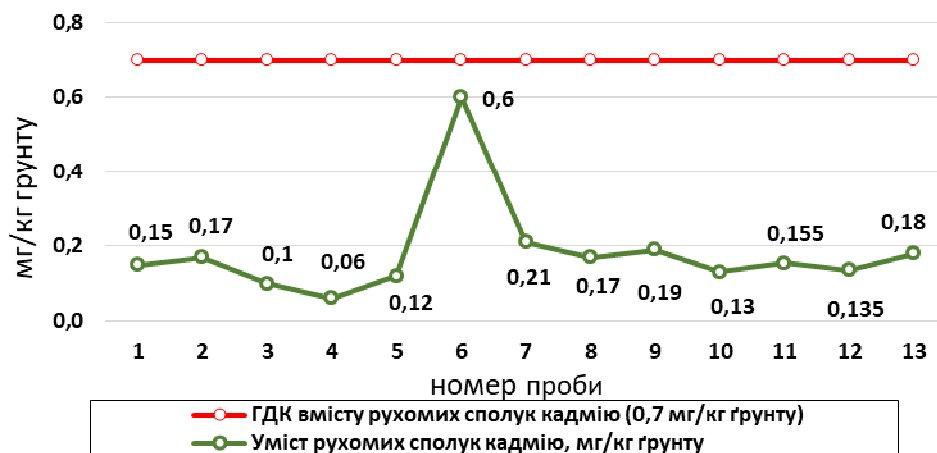


Рис. 5. Уміст рухомих сполук кадмію в зразках ґрунту

Уміст рухомих сполук міді у досліджуваних пробах варіював від 0,04 до 0,64 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК та забруднення ґрунтів за вмістом міді не виявлено (табл. 4, рис. 6).

Коефіцієнт варіації вмісту рухомих сполук магнію у відібраних пробах становив 99,7 % та є одним з найбільш варіабельних.

Таблиця 4

Уміст рухомих сполук важких металів II класу небезпеки у пробах ґрунту, відібраних на територіях Березнегуватської та Снігурівської ТГ Баштанського району Миколаївської області

№ проби	Мідь, мг/кг ґрунту		Нікель, мг/кг ґрунту		Кобальт, мг/кг ґрунту	
	уміст	% до ГДК*	уміст	% до ГДК*	уміст	% до ГДК*
1	0,19	0,14	0,76	5,26	0,007	0,1
2	0,11	0,56	0,58	6,90	0,028	0,6
3	0,06	2,74	0,23	17,39	0,137	2,7
4	0,09	3,56	0,36	11,11	0,178	3,6
5	0,036	0,12	0,18	22,22	0,006	0,1
6	0,1	55,00	2,51	1,59	2,75	55,0
7	0,065	3,92	0,47	8,51	0,196	3,92
8	0,075	1,34	0,78	5,13	0,067	1,3
9	0,042	5,00	0,6	6,67	0,25	5,0
10	0,2235	3,02	0,835	4,79	0,151	3,0
11	0,315	5,12	0,785	5,10	0,256	5,1

продовження табл. 4

12	0,465	5,00	0,6	6,67	0,25	5,0
13	0,64	2,36	0,8	5,00	0,118	2,4
Середнє значення	0,19	6,18	0,73	2,51	0,34	6,76
Стандартна помилка	0,05		0,17		0,20	
Середньоквадратичне відхилення	0,18		0,58		0,73	
Коефіцієнт варіації	99,7		79,1		216,0	
Min	0,04		0,18		0,006	
Max	0,64		2,51		2,75	

*ГДК для рухомих сполук міді – 3 мг/кг ґрунту, нікелю – 4 мг/кг ґрунту, кобальту – 5 мг/кг ґрунту [20]

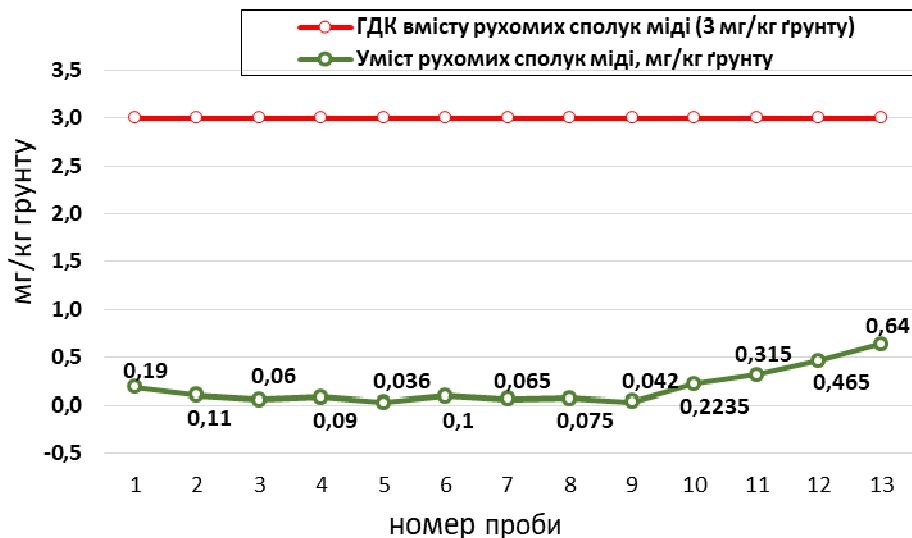


Рис. 6. Уміст рухомих сполук міді

Уміст рухомих сполук нікелю у досліджуваних пробах варіював від 0,18 до 2,51 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК за вмістом нікелю у пробах ґрунту не виявлено. Слабке забруднення ґрунту за вмістом рухомих сполук нікелю встановлено на ділянці 6, а показник у цій пробі у 4,3 раза перевищував середній показник, зафіксований в інших досліджуваних пробах ґрунту (див. табл. 4, рис. 7). На інших

досліджуваних ділянок вміст елемента знаходився в межах фонових значень

Коефіцієнт варіації вмісту рухомих сполук нікелю у відібраних пробах становив 79,1%.

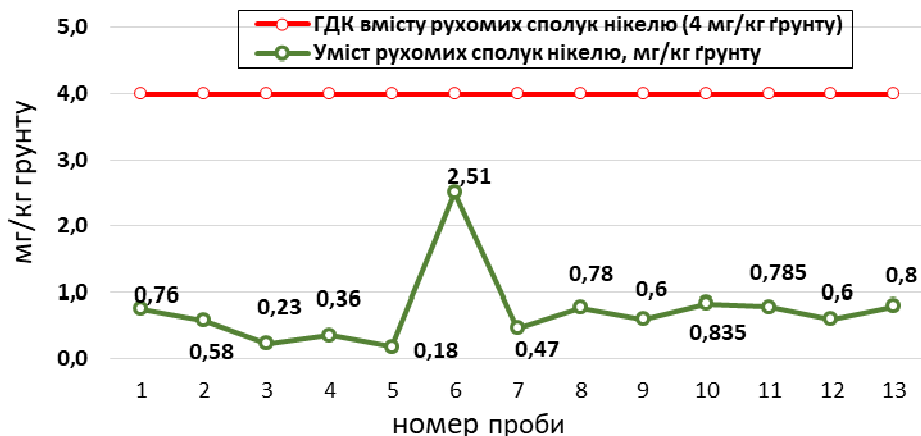


Рис. 7. Уміст рухомих сполук нікелю

За результатами досліджень, вміст рухомих сполук кобальту у досліджуваних пробах варіював від 0,006 до 2,75 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК за вмістом кобальту у пробах ґрунту не виявлено, проте відмічено високий ступінь забруднення ґрунту рухомими сполуками кобальту на ділянці 6 (див. табл. 4, рис. 8). На інших ділянках вміст елемента знаходився в межах фонових значень.

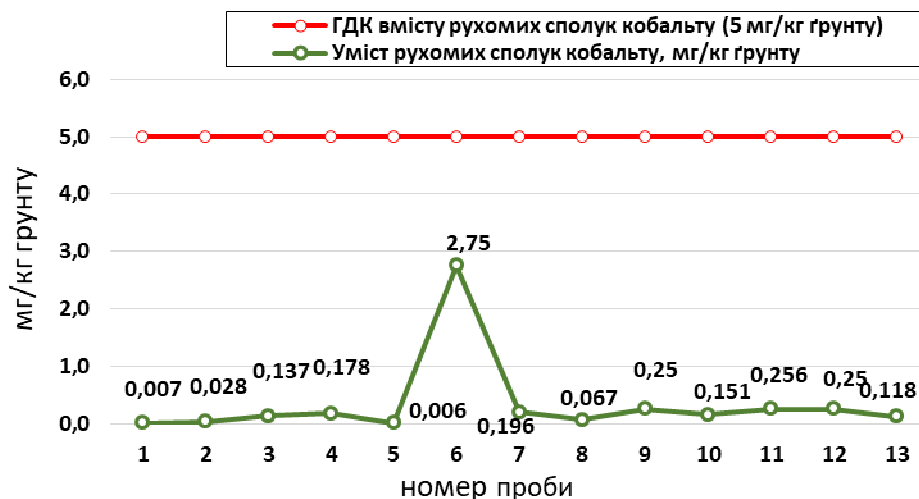


Рис. 8. Уміст рухомих сполук кобальту

Уміст рухомих сполук нікелю серед досліджуваних рухомих сполук забруднювачів є найбільш варіабельним та становить 216%.

Уміст рухомих сполук заліза у пробах, відібраних з досліджуваних ділянок, варіював від 0,75 до 6,74 мг/кг ґрунту. Найвищий вміст заліза виявлено в пробі 10. У цій пробі вміст елемента у 3,6 раза перевищує середній показник, зафіксований в інших досліджуваних пробах ґрунту. ГДК вмісту заліза не нормується (табл. 5, рис. 9). Коефіцієнт варіації показників становив 75,2%.

Таблиця 5

Уміст рухомих сполук важких металів III класу небезпеки у пробах ґрунту відібраних на територіях Березнегуватської та Снігурівської ТГ Баштанського району Миколаївської області

№ проби	Залізо, мг/кг ґрунту	Марганець, мг/кг ґрунту	
		вміст	% до ГДК*
1	2,69	44,23	31,6
2	1,84	50,41	36,0
3	0,84	27,44	19,6
4	1,12	25,13	18,0
5	0,75	52,02	37,2
6	3,35	34,99	25,0
7	1,56	41,31	29,5
8	3,93	36,15	25,8
9	2,98	34,84	24,9
10	6,735	42,56	30,4
11	1,785	43,65	31,2
12	0,94	29	20,7
13	0,9	40,9	29,2
Середнє значення	2,26	38,66	27,6
Стандартна помилка	0,47	2,31	
Середньоквадратичне відхилення	1,70	8,35	
Коефіцієнт варіації	75,2	21,6	
Min	0,75	25,13	
Max	6,74	52,02	

*ГДК для рухомих сполук марганцю – 140 мг/кг ґрунту, ГДК заліза не нормується [20]

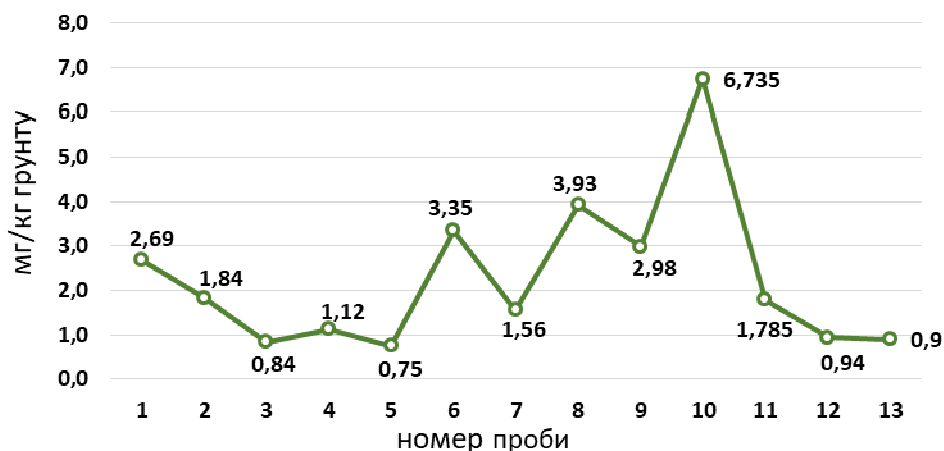


Рис. 9. Уміст рухомих сполук заліза

Уміст рухомих сполук марганцю у пробах ґрунту варіює від 25,13 до 52,02 мг/кг ґрунту. Перевищень ГДК за вмістом марганцю не виявлено, проте проба 5 характеризується слабким рівнем забруднення (див. табл. 5, рис. 10). На інших ділянках уміст елемента знаходився в межах фонових значень.

Коефіцієнт варіації вмісту рухомих сполук марганцю у відібраних пробах становив 21,6%, а показник є одним з найменш варіабельних.

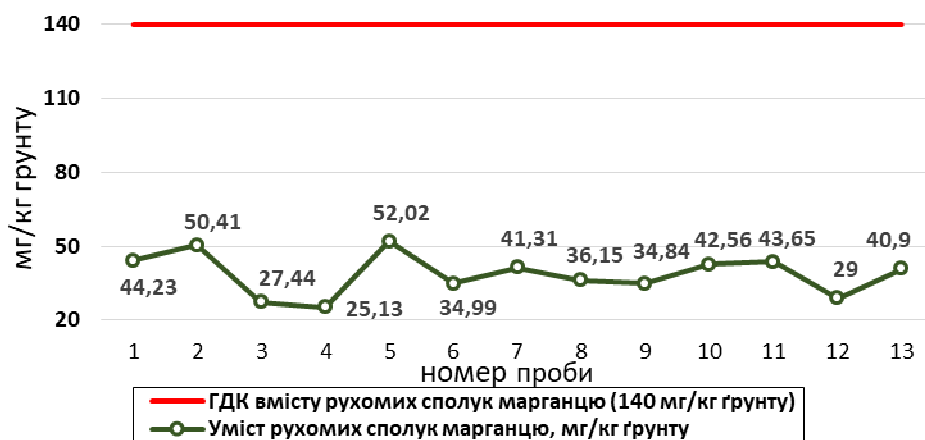


Рис. 10. Уміст рухомих сполук марганцю

За результатами досліджень встановлено кореляційні зв'язки між умістом рухомих сполук важких металів у відібраних пробах ґрунту (табл. 6).

Таблиця 6

Кореляції між умістом рухомих сполук важких металів у пробах ґрунту, відібраних на територіях Березнегуватської та Снігурівської ТГ Баштанського району Миколаївської області

Ознака	Свинець	Цинк	Кадмій	Мідь	Нікель	Кобальт	Залізо	Манган
Свинець	1							
Цинк	0,22	1						
Кадмій	0,91	0,52	1					
Мідь	0,14	-0,1	-0,09	1				
Нікель	0,89	0,37	0,94	0,07	1			
Кобальт	0,91	0,37	0,95	-0,11	0,92	1		
Залізо	0,13	0,29	0,23	-0,17	0,4	0,19	1	
Манган	-0,25	0,45	0,01	-0,01	-0,05	-0,2	0,12	1

У результаті проведених досліджень встановлено, що взаємозв'язок між умістом рухомих сполук:

свинцю та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від $-0,25$ до $0,91$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом кадмію, кобальту та нікелю ($r = 0,91$ та $0,89$ відповідно), з усіма іншими досліджуваними рухомими сполуками мікроелементів встановлено слабкий взаємозв'язок ($r =$ від $+0,22$ до $-0,25$). Найслабший позитивний взаємозв'язок був з залізом та міддю ($r = 0,13$ та $0,14$ відповідно);

цинку та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від $-0,1$ до $0,52$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено між умістом цинку та вмістом кадмію і марганцю ($r = 0,52$ та $0,45$ відповідно); дещо слабший позитивний взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом нікелю та кобальту ($r = 0,37$). Найслабший взаємозв'язок був з міддю ($r = -0,1$);

кадмію та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від $-0,09$ до $0,95$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом кобальту, нікелю та свинцю ($r = 0,95$; $0,94$ та $0,91$ відповідно);

слабший взаємозв'язок цього показника виявлено з умістом цинку ($r = 0,52$); найслабший взаємозв'язок був з марганцем ($r = -0,01$);

міді та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від $-0,17$ до $0,14$. З усіма рухомими сполуками важких металів встановлено слабку позитивну та негативну залежність;

нікелю та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від $-0,05$ до $0,94$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено з умістом кадмію, кобальту та свинцю ($r = 0,94$; $0,92$ та $0,89$ відповідно), середній взаємозв'язок — з умістом заліза та цинку ($r = 0,4$ та $0,37$ відповідно). Найслабший взаємозв'язок був з марганцем та міддю ($r = -0,05$ та $0,07$ відповідно);

кобальту та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від $-0,2$ до $0,95$. Найтіснішу позитивну залежність показника відмічено з умістом кадмію, нікелю та свинцю ($r = 0,95$, $0,92$ та $0,91$ відповідно), середній взаємозв'язок — з умістом цинку ($r = -0,37$). Найслабший взаємозв'язок був з міддю ($r = -0,11$);

заліза та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від $-0,17$ до $0,45$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено між умістом заліза та вмістом нікелю ($r = 0,4$), найслабший взаємозв'язок був з марганцем ($r = 0,12$);

марганцю та інших рухомих сполук важких металів варіював у межах від $-0,25$ до $0,17$. Найтіснішу позитивну залежність відмічено між умістом марганцю та вмістом цинку ($r = 0,45$), найслабший взаємозв'язок був з міддю, кадмієм та нікелем ($r = -0,01$, $0,01$ та $-0,05$).

Висновки. За результатами проведених досліджень встановлено перевищення ГДК рухомих сполук важких металів лише за вмістом свинцю. Перевищення ГДК свинцю відмічено в ґрунті ділянки 6 на території с. Тернівка Березнегуватської ТГ Баштанського району. Також одна ділянка характеризується дуже високим ступенем забруднення рухомими сполуками свинцю, по чотири ділянки – підвищеним та середнім, три ділянки – помірним ступенем забруднення. Дев'ять ділянок мають слабкий ступінь забруднення ґрунтів за вмістом рухомих сполук кадмію, дві ділянки – помірний та середній. На ділянці 6 встановлено слабкий рівень забруднення ґрунту за вмістом рухомих сполук нікелю та високий ступінь забруднення за вмістом рухомих сполук кобальту. Ґрунти однієї ділянки характеризуються слабким рівнем забруднення за вмістом

рухомих сполук марганцю.

Забруднення ґрунтів досліджуваних ділянок за вмістом цинку та міді не виявлено. ГДК заліза не нормується.

Найбільш забрудненою є ділянка 6 на території с. Тернівка Березнегуватської ТГ Баштанського району Миколаївської області. Зважаючи на еколого-токсикологічну характеристику, цю ділянку можливо використовувати лише після проведення додаткових токсикологічних досліджень та рекультиваційних заходів. Усі інші досліджувані ділянки можна використовувати за цільовим призначенням, а саме: для вирощування сільськогосподарських культур.

За результатами кореляційного аналізу встановлено сильну залежність між умістом свинцю та вмістом кадмію, кобальту та нікелю ($r = 0,91$ та $0,89$ відповідно); кадмію з умістом кобальту, нікелю та свинцю ($r = 0,95$; $0,94$ та $0,91$ відповідно); нікелю з умістом кадмію, кобальту та свинцю ($r = 0,94$; $0,92$ та $0,89$ відповідно), кобальту з умістом кадмію, нікелю та свинцю ($r = 0,95$, $0,92$ та $0,91$ відповідно).

1. Саніна І. В., Люта Н. Г. Екологічні наслідки підриву греблі Каховської ГЕС і шляхи вдосконалення водопостачання населення. *Мінеральні ресурси*. 2023. № 2. С. 50–55. **2.** Підрив Каховської ГЕС: В «Укргідроенерго» попередньо оцінили втрати. URL: <https://news.vn.ua/pidryv-kakhovskoi-hes-v-ukrhydroener-ho-poperedno-otsinyly-vtraty/>. (дата звернення: 10.11.2024). **3.** Підрив Каховської ГЕС: чотири категорії наслідків та план подальших дій. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/06/14/701156/>. (дата звернення: 10.11.2024). **4.** Підрив Каховської ГЕС: трагедія, яка змінить сільське господарство півдня та всієї України. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3721075-pidriv-kahovskoi-ges-tragedia-aka-zminit-silске-gospodarstvo-pivdna-ta-vsiei-ukraini.html>. (дата звернення: 10.11.2024). **5.** Паламарчук Р. П., Грищенко О. М., Жукова Я. Ф., Грищенко В. О., Вознюк Н. М. Агрохімічна оцінка земель сільськогосподарського призначення Херсонської області, які зазнали підтоплення внаслідок руйнування Каховської ГЕС. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2024. Вип. 2(106). С. 111–125. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220249>. **6.** Грищенко О. М., Паламарчук Р. П., Куліджанов Е. В., Грищенко В. О., Вознюк Н. М. Агрохімічна оцінка земель сільськогосподарського призначення Миколаївської області, які зазнали підтоплення внаслідок руйнування Каховської ГЕС. *Вісник Національного*

університету водного господарства та природокористування. Сер. Сільськогосподарські науки. 2024. Вип. 3(107). С. 71–89. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs320246>. **7.** Грищенко О. М., Паламарчук Р. П., Мельник М. А., Жученко С. І., Вознюк Н. М. Еколого-токсикологічна оцінка земель сільськогосподарського призначення Херсонської області, які зазнали підтоплення внаслідок руйнування Каховської ГЕС. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2023. Вип. 4(104). С. 17–37. **8.** Зацерковний В. І., Оберемок Н. В., Тішаєв І. В., Казанюк Т. А. Використання технологій геоінформаційних систем та дистанційне зондування землі для моніторингу водних об'єктів. *Наукоємні технології*. 2017. № 1 (33). С. 78–88. **9.** Обухов Є. В. Каховському водосховищу – 55 років. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 10. С. 119–125. **10.** Грищенко О. М., Паламарчук Р. П., Циганов І. В., Сироватко В. О., Яценко Ю. М. Уміст важких металів у донних відкладах осушеного Каховського водосховища. *Агроекологічний журнал*. 2024. № 1. С. 53–65. **11.** Підрив Каховської ГЕС: у Greenpeace повідомили про затоплення 32 об'єктів з хімікатами, нафтою та бензином. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/pidriv-кахovskoji-ges-greenpeace-ocinili-naslidki-rosiyskogo-teraktu-50332171.html>. (дата звернення: 10.11.2024). **12.** ДСТУ 4770.1:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **13.** ДСТУ 4770.2:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **14.** ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **15.** ДСТУ 4770.4:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук заліза в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **16.** ДСТУ 4770.5:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **17.** ДСТУ 4770.6:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: «Держспоживстандарт», 2008. 4 с. **18.** ДСТУ 4770.7:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук

нікелю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **19.** ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2009. 14 с. **20.** Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин : Постанова від 17.12.2021 р. № 243. *Урядовий кур'єр*. 2021. **21.** Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. І. П. Яцука, С. А. Балюка. К., 2019. 108 с.

REFERENCES:

1. Sanina I. V., Liuta N. H. Ekologichni naslidky pidryvu hrebli Kakhovskoi HES i shliakhy vdoskonalennia vodopostachannia naselennia. *Mineralni resursy*. 2023. № 2. S. 50–55. **2.** Pidryv Kakhovskoi HES: V «Ukrhydroenerho» poperedno otsynyly vtraty. URL: <https://news.vn.ua/pidryv-kakhovskoi-hes-v-ukrhydroener-ho-poperedno-otsynyly-vtraty/>. (data zvernennia: 10.11.2024). **3.** Pidryv Kakhovskoi HES: chotyry katehorii naslidkiv ta plan podalshykh dii. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/06/14/701156/>. (data zvernennia: 10.11.2024). **4.** Pidryv Kakhovskoi HES: trahediia, yaka zminyt silske gospodarstvo pivdnia ta vsiiei Ukrainy. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3721075-pidriv-kahovskoi-ges-tragedia-aka-zminyt-silske-gospodarstvo-pivdna-ta-vsiei-ukraini.html>. (data zvernennia: 10.11.2024). **5.** Palamarchuk R. P., Hryshchenko O. M., Zhukova Ya. F., Hryshchenko V. O., Vozniuk N. M. Ahrokhimichna otsinka zemel silskohospodarskoho pryznachennia Khersonskoi oblasti, yaki zaznaly pidtoplennia vnaslidok ruinuvannia Kakhovskoi HES. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2024. Vyp. 2(106). S. 111–125. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220249>. **6.** Hryshchenko O. M., Palamarchuk R. P., Kulidzhanov E. V., Hryshchenko V. O., Vozniuk N. M. Ahrokhimichna otsinka zemel silskohospodarskoho pryznachennia Mykolaivskoi oblasti, yaki zaznaly pidtoplennia vnaslidok ruinuvannia Kakhovskoi HES. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2024. Vyp. 3(107). S. 71–89. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs320246>. **7.** Hryshchenko O. M., Palamarchuk R. P., Melnyk M. A., Zhuchenko S. I., Vozniuk N. M. Ekolohe-toksykologichna otsinka zemel silskohospodarskoho pryznachennia Khersonskoi oblasti, yaki zaznaly pidtoplennia vnaslidok ruinuvannia Kakhovskoi HES. *Visnyk Natsionalnoho*

universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Ser. Silskohospodarski nauky. 2023. Vyp. 4(104). S. 17–37. **8.** Zatserkovnyi V. I., Oberemok N. V., Tishaiev I. V., Kazaniuk T. A. Vykorystannia tekhnolohii heoinformatsiinykh system ta dystantsiine zonduvannia zemli dlia monitorynhu vodnykh obiektiv. *Naukoiemni tekhnolohii.* 2017. № 1 (33). S. 78–88. **9.** Obukhov Ye. V. Kakhovskomu vodoskhovyschchu – 55 rokiv. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal.* 2012. № 10. S. 119–125. **10.** Hryshchenko O. M., Palamarchuk R. P., Tsyhanov I. V., Syrovatko V. O., Yatsenko Yu. M. Umist vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh osushenoho Kakhovskoho vodoskhovyscha. *Ahroekolohichnyi zhurnal.* 2024. № 1. S. 53–65. **11.** Pidryv Kakhovskoi HES: u Greenpeace povidomyly pro zatoplennia 32 obiektiv z khimikatamy, naftoiu ta benzynom. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/pidriv-kahovskoji-ges-greenpeace-ocinili-naslidki-rosiyskogo-teraktu-50332171.html>. (data zvernennia: 10.11.2024). **12.** DSTU 4770.1:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk marhantsiu v gruntii v bufernii amoniino-atsetatnii vytyazhtsi z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **13.** DSTU 4770.2:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk tsynku v gruntii v bufernii amoniino-atsetatnii vytyazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **14.** DSTU 4770.3:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kadmiiu v gruntii v bufernii amoniino-atsetatnii vytyazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **15.** DSTU 4770.4:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk zaliza v gruntii v bufernii amoniino-atsetatnii vytyazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **16.** DSTU 4770.5:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk kobaltu v gruntii v bufernii amoniino-atsetatnii vytyazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **17.** DSTU 4770.6:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk midi v gruntii v bufernii amoniino-atsetatnii vytyazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2008. 4 s. **18.** DSTU 4770.7:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk nikeliu v gruntii v bufernii amoniino-atsetatnii vytyazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **19.** DSTU 4770.9:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk svyntsiu v gruntii v bufernii amoniino-atsetatnii vytyazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi

спектрофотометрії. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. 14 s. **20**. Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopustymykh kontsentratsii nebezpechnykh rehovyn u gruntakh, a takozh pereliku takykh rehovyn : Postanova vid 17.12.2021 r. № 243. Uriadovyi kurier. 2021. **21**. Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia / za red. I. P. Yatsuka, S. A. Baliuka. K., 2019. 108 s.

Hryshchenko O. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Scientific Secretary (State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Kyiv), **Kulidzhanov E. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Director** (Southern Interregional Center State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Odesa), **Hunchak M. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Director** (Chernivtsi regional center of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Chernivtsi), **Yatsenko Y. M., Research Fellow**, **Hryshchenko V. O., Leading Specialist** (State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Kyiv), **Vozniuk N. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ENVIRONMENTAL AND TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF AGRICULTURAL LANDS IN THE MYKOLAIV REGION THAT WERE FLOODED AS A RESULT OF THE KAKHOVKA HPP DESTRUCTION

The impact of the destruction of the Kakhovka HPP dam and long-term flooding on the ecological condition of agricultural lands is highlighted. The results of experimental studies of the content of mobile compounds of heavy metals in thirteen collective soil samples taken on the territory of Berezhneuvate and Snihurivka TG of Bashtan district of Mykolaiv region are given.

According to the results of the conducted research, it was established that the maximum permissible concentration (MPC) of mobile compounds of heavy metals was exceeded only by the content of lead, which was noted in the soil of plot 6 on the territory of the village. Ternivka of Berezhneguvatska TG of Bashtan district. Also, one site is characterized by a very high degree of pollution by mobile lead compounds, four sites by high and medium pollution, three sites by a

moderate degree of pollution. Nine plots have a weak degree of soil contamination by the content of mobile cadmium compounds, two plots have moderate and medium contamination. In site 6, a weak level of soil contamination by the content of mobile nickel compounds and a high degree of contamination by the content of mobile cobalt compounds was established. The soils of one area are characterized by a weak level of pollution in terms of the content of mobile manganese compounds. No contamination of the soils of the studied areas by the content of zinc and copper was detected. The MPC of iron is not normalized. The most polluted is site 6 on the territory of the village. Ternivka of Bereznehuvate TG of Bashtan district of Mykolaiv region.

Correlation analysis of the dependence of the content of the studied mobile compounds of heavy metals was carried out.

***Keywords:* destruction of the dam of the Kakhovka HPP; soil; silt; silt; pollutants; heavy metals; mobile compounds; lead; cadmium; iron; magnesium; zinc; cobalt; copper; nickel; danger class; MPC.**

Гунчак М. В., к.с.-г.н., директор (Чернівецький регіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Чернівці, gunchak00@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3521-8531), **Грищенко О. М., к.с.-г.н., учений секретар** (Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, ORCID: 0000-0002-1241-7183), **Маменко П. М., с.н.с.** (ORCID: 0009-0001-9945-8462), **Колодяжний О. Ю., с.н.с.** (Інститут агроєкології та природокористування НААН, м. Київ, ORCID: 0000-0001-5359-1738), **Турчина К. П., к.с.-г.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, k.p.turchina@nuwm.edu.ua)

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЯБЛУНІ ПРОТИ БОРОШНИСТОЇ РОСИ

Вивчено показники економічної ефективності різних біологічних препаратів для захисту яблуні від борошністої роси у 2021–2023 роках в умовах Західного Лісостепу України. Всі досліджувані біологічні препарати показали високі показники умовно-чистого доходу (573,0–2448,0 грн/га) та рентабельності (26,9–280,8%). Найефективнішим з погляду економіки у 2021–2023 роках було застосування Флуоресцину БТ, р. у нормі 1,5 л/га, що дозволило отримати 2448,0 грн/га умовно-чистого доходу. Найвищий рівень рентабельності захисних заходів вдалося отримати за застосування препарату Ампеломіцин БТ, р. у нормі 4,0 л/га – 280,8%. Найнижчий умовно-чистий дохід та рентабельність серед застосованих препаратів отримали від застосування препарату Бактофіт БТ, р. 573,0 грн/га та 26,9% відповідно. Застосування досліджуваних біологічних препаратів дозволило на високому рівні забезпечити захист яблуні від однієї з найпоширеніших у зоні досліджень хвороби – борошністої роси, що у підсумку забезпечило отримання високого рівня врожайності яблуневих насаджень (11,4–11,6 т/га).

Ключові слова: яблуня; економічна ефективність; біопрепарати; борошніста роса.

Постановка проблеми. Поширення хвороб у яблуневих

насадженнях дуже суттєво впливає на економічні показники ведення садівництва. Ураження хворобами може призвести до погіршення кількісних та якісних показників плодової продукції, а відповідно й до нижчої її ціни. Шкідливі організми суттєво впливають на багаторічну продуктивність насаджень, затримують дерева в рості, інколи призводять до втрат всього врожаю або й до всихання дерев. Так, наприклад, за сильного ураження борошнистою россою втрата маси плодів може становити до 60%. В таких випадках товаровиробник не лише не отримає прибутку, а й матиме суттєві збитки від ведення садівництва. Тому питання захисту яблуневих насаджень, особливо від борошнистої роси, є надзвичайно актуальним та відіграє важливу роль у процесі садівництва, а вартість захисних заходів складає до 45–50% собівартості вирощування плодової продукції [1].

Система захисту рослин характеризується своєрідністю економічних взаємозв'язків (ціна, норма внесення, ефективність дії та інше). Висока вартість препаратів суттєво впливає на економіку виробництва плодової продукції. Відповідно товаровиробник має право вибору ефективної, але в той же час і економічно виправданої системи. Дослідження ефективності ведення садівництва дає можливість проаналізувати економічну ефективність виробництва плодів, виявити недоліки і переваги, запропонувати механізми підвищення конкурентоспроможності виробництва плодової продукції та зменшити собівартість вирощування плодової продукції [2–3].

Борошниста роса яблуні – хвороба, збудником якої є сумчастий гриб *Podosphaera lencotracha* (Ell. et Ev.) Salm. з конідіальною стадією *Oidium farinosum* Ске. Особливо небезпечна хвороба в молодих садах і розсадниках.

Уражує листки, пагони, суцвіття, інколи зав'язь і плоди. Перші ознаки хвороби з'являються відразу ж після розпускання бруньок. На пагонах з'являється спочатку білий, а згодом брудно-сірий наліт, який темнішає, і на ньому формуються чорні крапки – клейстотеції патогена. На листках (здебільшого з нижнього боку) і черешках утворюється сірувато-білий наліт, що пізніше стає рудуватим, а на суцвіттях, пелюстках, чашолистиках і квітконіжках – білий наліт. Листки деформуються, набувають ланцетоподібної форми, листові пластини по краях закручуються вниз, грубіють, втрачають тургор,

засихають і обпадають. Верхівки дуже уражених пагонів згинаються й засихають. Уражені суцвіття порівняно із здоровими відстають у розвитку на 4–6 днів, квітки мають деформовані жовто-зелені пелюстки і тичинки. В більшості випадків, вони засихають і обпадають, не утворюючи зав'язь.

Урожай сильноуражуваних сортів може знижуватись на 50–80%. Вихід стандартних саджанців у розсаднику зменшується більш як на 20%, сіянців – понад 50%. Хронічне ураження борошнистою росою негативно впливає на зимостійкість рослин. Загибель уражених пагонів після зими може становити – 50%, а бруньок – 85–92%. Але, крім того, при температурі повітря нижче – 20° С масово гине збудник хвороби, що зимує в уражених бруньках.

Відносно стійкими до хвороби є Антонівка звичайна, Кальвіль сніговий, Ренет шампанський, Донешта, Слава переможцям, Зоря Поділля, Росавка, Лінда, Жигулівське, Старкрімсон, Ауксіс, Сапфір, Спартан, Голден Резистент, Гала, Боскопська красуня, Мелба, Чемпіон, Сюгедесерт, Прима, Пінова, Уелспур та ін. Сильно уражуються сорти – Джонатан, Айдаред, Аскольда, Бойкен, слабо – Ліберті, Флоріна, Джеймс грів [4–5].

На сьогодні відомо багато пестицидів хімічного походження, які ефективно застосовують проти борошнистої роси яблуні, але ефективність дії біопрепаратів проти збудника хвороби вивчена недостатньо. У зв'язку з тим, що борошниста роса є однією з найпоширеніших хвороб яблуні в умовах Західного Лісостепу України, досліджувалася ефективність застосування препаратів біологічного походження проти борошнистої роси яблуні в регіоні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Борзих О.І. та ін. вказують, що у галузі садівництва значного поширення набуло застосування хімічних засобів захисту. За використання хімічного методу захисту рослин знищується корисна ентомофауна та виникає резистентність у хвороб до пестицидів. Тому надзвичайно необхідним є екологічне регулювання чисельності шкідливих організмів за максимального використання біологічних засобів, зниження кількості хімічних обробок, вдосконалення асортименту пестицидів [6].

Бровдій В.М. та ін. зазначають, що біологічні препарати, порівняно з хімічними, мають нижчу ефективність, але вони екологічно безпечніші, тому їх застосування заслуговує уваги. На

відміну від пестицидів, біологічні препарати характеризуються більш уповільненою дією, але й мають метатоксичний ефект і за певних умов можуть спричинити епізоотії у комах. Недоліком є також те, що ефективність біопрепаратів може знижуватись внаслідок несприятливих погодних умов: дощів, які здатні змивати препарат, низької температури, що послаблює активність живлення шкідників, а також ультрафіолетового випромінювання, яке частково інактивує бактерії [7].

Шестопаль О.М. стверджує, що у сучасних ринкових умовах збалансованого розвитку аграрного сектору економіки можна досягти лише шляхом підвищення економічної ефективності виробництва сільськогосподарської продукції. Ефективність діяльності підприємств, які займаються вирощуванням плодової продукції залежить від структури насаджень, технології виробництва й зберігання фруктів, використання інновацій, системи захисних заходів у садах, впливу погодних умов і якості ґрунту, низки інших чинників. За цього, головною метою діяльності кожного товаровиробника є отримання прибутку [8].

Кондратенко П.В. та ін. [9], Тупчій О.С. [10] зазначають, що для оцінки економічної ефективності садівництва доцільним є використання наступних показників: вартість валової, товарної продукції; собівартість 1 ц плодів; розмір прибутку (чистого доходу); трудо-, матеріало- та енергомісткість одиниці продукції; рентабельність виробництва. Але, основним економічним показником, що характеризує ефективність всього процесу виробництва на підприємстві, є собівартість продукції, оскільки цей показник відображає рівень організації виробничого процесу, технічний рівень, продуктивність праці та інше.

Аналіз джерел літератури свідчить про те, що питання економічної ефективності застосування біологічних препаратів при вирощуванні яблукової продукції вивчено не достатньо. Тому, подальше поглиблення досліджень з даного питання дасть можливість не лише проаналізувати показники економічної ефективності застосування біологічного методу захисту яблуні від борошнистої роси, а й визначити найбільш ефективні препарати з метою їх застосування у біологічних та інтегрованих системах захисту, адаптованих до умов Західного Лісостепу України.

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень було вивчення економічної ефективності застосування різних препаратів біологічного походження для захисту яблуні від борошнистої роси та підбір найефективніших з них для застосування в умовах Західного Лісостепу України.

Дослідження проводили в плодовому саду Української науково-дослідної станції карантину рослин Інституту захисту рослин НААН (с. Бояни Чернівецької області) за загальноприйнятими методиками [11] на насадженнях яблуні 2014 року садіння на сорту Айдаред на підщепі М-106. Схема садіння: 3х3 м. Система утримання ґрунту – під багаторічними травами.

Дослідна ділянка розміщена на ясно-сірому і сірому опідзоленому поверхнево-оглеєному середньосуглинковому ґрунті з низьким вмістом гумусу – 2,0% та слабкислою реакцією ґрунтового розчину (рН_{сол.} – 5,2). Забезпеченість ґрунту рухомими сполуками фосфору середня (P₂O₅ – 78 мг/кг ґрунту), рухомими сполуками калію – середня (K₂O – 79 мг/кг ґрунту), азотом, що легкогідролізується – дуже низька (92 мг/кг ґрунту). Агроекологічна оцінка в балах складає 35 із 100.

Під час досліджень було проведено економічну оцінку різних біологічних препаратів, які застосовувались для захисту яблуні від борошнистої роси у 2021–2023 роках. При польових дослідах у кожному варіанті використовувалося по 10 облікових дерев (дерево-повторність). Оцінку основних показників, що характеризують економічну ефективність систем захисту яблуні від борошнистої роси було проведено за загальноприйнятими методиками [9; 11].

Економічний аналіз застосування досліджуваних біопрепаратів для захисту яблуні проти борошнистої роси в 2021–2023 роках проводився згідно таких показників: вартість системи захисту, грн/га; витрати, пов'язані з її застосуванням, грн/га; урожайність, т/га; ціна реалізації 1 т плодів, грн; збережений врожай, т/га; вартість збереженого врожаю, грн/га. Але основними показниками економічної ефективності застосування захисних заходів є умовно-чистий дохід, грн/га та рентабельність, %. Також розраховували поріг окупності, який показує, яку прибавку врожаю потрібно отримати для покриття витрат на захисні заходи.

Умовно-чистий дохід від застосування захисних заходів розраховували за формулою:

$$ЧД = Bз - Eз ,$$

де $ЧД$ – умовно-чистий дохід, грн/га; $Bз$ – вартість збереженого врожаю, грн/га; $Eз$ – витрати, пов'язані з одержанням збереженого врожаю, грн/га.

Вартість витрат, що пов'язані з одержанням збереженого врожаю визначали як суму витрат на препарати та витрат на їх застосування:

$$Eз = Bт + Bв ,$$

де $Bт$ – витрати на придбання препаратів; $Bв$ – витрати на внесення препаратів.

Норму рентабельності захисних заходів визначали як процентне співвідношення умовно-чистого доходу до затрат, пов'язаних з одержанням збереженого врожаю:

$$P = \frac{ЧД}{Eз} * 100\% .$$

Перш ніж застосувати засоби захисту, необхідно заздалегідь дати відповідь на питання, чи будуть окупатися витрати на його проведення. Тому визначалась величина прибавки врожаю, тобто поріг окупності. При порівнянні з прибавкою врожаю, яка очікується від застосування засобів захисту, показник порогу окупності дає можливість оцінити доцільність застосування того чи іншого препарату.

Поріг окупності (Π) визначали за формулою:

$$\Pi = \frac{Bд}{Ц} ,$$

де $Bд$ – сума додаткових витрат (включаючи вартість системи захисту та витрат, пов'язаних з її застосуванням), грн/га; $Ц$ – ціна врожаю, грн/т.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час досліджень було проведено економічну оцінку застосування чотирьох препаратів біологічного походження для захисту яблуні від борошнистої роси у 2021–2023 роках: Бактофіт БТ (бактерій *Bacillus subtilis*, титр життєздатних клітин не нижче $2,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) у нормі 4,0 л/га; Фітоспорин БТ (спороутворюючі бактерії *Bacillus subtilis* 26 D, титр не нижче $2,0 \cdot 10^8$ КУО/см³) – 7,0 л/га; Ампеломіцин БТ (*Ampelomyces Ces ex Schlecht*, титр не нижче $4,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 4,0 л/га; Флуоресцин БТ (бактерії *Pseudomonas fluorescens*, титр не нижче $5,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 1,5 л/га. Як хімічний еталон використовували фунгіцид Топаз 100 ЕС

(пенконазол), к.е. – 0,4 л/га. Обприскування Бактофітом БТ та Флуоресцином БТ проводили тричі у фенофази «рожевий бутон», «формування плодів» та «ріст плодів», коли плід мав розмір волоського горіха, а обприскування Ампеломіцином БТ та Фітоспорином БТ проводили у фенофазу «ріст плодів», коли плід мав розмір волоського горіха.

За результатами досліджень встановлено, що препарат Бактофіт БТ, р. у нормі 4,0 л/га через 7 діб після обробки показав ефективність проти борошнистої роси у фенофазу «рожевий бутон» на рівні 45,9%, у період «формування плодів» – 57,6%, а під час «росту плодів» – 66,4%.

Препарат Флуоресцин БТ, р. у нормі 1,5 л/га через 7 діб після обробки показав ефективність у фенофазу «рожевий бутон» на рівні 51,6%, у період «формування плодів» – 58,5% та під час «росту плодів» – 68,1%.

Препарат Фітоспорин БТ, р., який було внесено у нормі 7,0 л/га у період росту плодів, показав ефективність проти борошнистої роси 59,7%. Препарат Ампеломіцин БТ, р. у нормі 4,0 л/га у фазу «росту плодів» показав ефективність проти хвороби 66,4%.

Ефективність дії фунгіциду Топаз 100 ЕС, к.е. у нормі 0,4 л/га, який використовувався як хімічний еталон, проти борошнистої роси через 7 діб становила 83,6%, 85,1% та 86,7%.

Урожайність плодів яблуні при застосуванні препарату Бактофіт БТ, р. у нормі 4,0 л/га складала 11,5 т/га, у тому числі 5,3 т/га I сорту, 4,6 т/га II сорту та 1,6 т/га нестандартних плодів. Урожайність при застосуванні препарату Флуоресцин БТ, р. у нормі 1,5 л/га становила 11,6 т/га, з них 5,4 т/га I сорту, 4,5 т/га II сорту та 1,7 т/га нестандартних плодів. Урожайність при застосуванні Фітоспорину БТ, р. у нормі 7,0 л/га була на рівні 11,4 т/га, у тому числі 4,9 т/га I сорту, 4,3 т/га II сорту та 2,2 т/га нестандартних плодів. Урожайність при застосуванні препарату Ампеломіцин БТ, р. у нормі 4,0 л/га становила 11,5 т/га, з них 5,2 т/га I сорту, 4,6 т/га II сорту та 1,7 т/га нестандартних плодів. За застосування фунгіциду Топаз 100 ЕС, к.е. у нормі 0,4 л/га урожайність становила 12,1 т/га, з них 7,0 т/га I сорту, 3,7 т/га II сорту та 1,4 т/га нестандартних плодів.

Середню загальну вартість застосованих біологічних препаратів для захисту яблуні від борошнистої роси у 2021–2023 роках наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Середня вартість застосованих препаратів для захисту яблуні від борошнистої роси, 2021–2023 р.

Назва препарату	Кількість препарату (-ів), л, кг/га	Кількість обробок	Ціна, грн/л, кг	Загальна вартість, грн/га
Топаз 100 ЕС, к.е.	0,4	3	1880,0	2256,0
Бактофіт БТ, р.	4,0	3	130,0	1560,0
Флуоресцин БТ, р.	1,5	3	130,0	585,0
Фітоспорин БТ, р.	7,0	1	84,0	588,0
Ампеломіцин БТ, р.	4,0	3	130,0	520,0

Розрахунок економічної ефективності систем застосованих біологічних препаратів для захисту яблуні від борошнистої роси в умовах Західного Лісостепу України наведено у табл. 2. Дослідженнями встановлено, що всі досліджувані препарати біологічного походження показали високі показники економічної ефективності.

Найбільший умовно-чистий дохід отримали від застосування препарату Флуоресцин БТ, р. у нормі 1,5 л/га – 2448,0 грн/га, а рентабельність захисних заходів становила 212,5%, що зумовлено найвищим рівнем урожайності, за невисокої вартості препарату та витрат на його застосування. Поріг окупності показав, що для покриття витрат на внесення препарату, необхідна прибавка врожаю 0,13 т/га, за умови, що врожайність за застосування даного препарату була на 0,4 т/га більше контролю.

При застосуванні препарату Ампеломіцин БТ, р. у нормі 4,0 л/га отримали найвищу рентабельність – 280,8%, умовно-чистий дохід становив 1991,0 грн/га, що зумовлено меншою кількістю обприскувань цим препаратом, при урожайності на рівні інших досліджуваних препаратів. Поріг окупності застосування препарату становив 0,08 т/га, а обсяг збереженого врожаю – 0,3 т/га.

Таблиця 2

Економічна ефективність біопрепаратів для захисту яблуні від борошнистої роси в умовах Західного Лісостепу України, 2021–2023 рр. (середнє за роки досліджень)

Назва показника	контроль	Топаз, 0,4 л/га	Бактофіт БТ, 4,0 л/га	Флуоресцин БТ, 1,5 л/га	Фітоспорин БТ, 7,0 л/га	Ампеломіцин БТ, 4,0 л/га
Вартість системи, грн/га	-	2256,0	1560,0	585,0	588,0	520,0
Витрати, пов'язані з її застосуванням, грн/га	-	567,0	567,0	567,0	189,0	189,0
Урожайність, т/га	11,2	12,1	11,5	11,6	11,4	11,5
Ціна реалізації 1 т плодів, грн	7000,0	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0	9000,0
Збережений врожай, т/га	-	0,9	0,3	0,4	0,2	0,3
Вартість збереженого врожаю, грн/га	-	8100,0	2700,0	3600,0	1800,0	2700,0
Умовно-чистий дохід, грн/га	-	5277,0	573,0	2448,0	1023,0	1991,0
Рентабельність, %	-	186,9	26,9	212,5	131,7	280,8
Поріг окупності, т/га	-	0,31	0,24	0,13	0,09	0,08

Від застосування Фітоспорину БТ, р. у нормі 7,0 л/га отримали умовно-чистий дохід в розмірі 1023,0 грн/га, за рентабельності 131,7%. Поріг окупності застосування даного препарату становив 0,09 т/га, за збереженого врожаю 0,2 т/га.

Найнижчий умовно-чистий дохід серед застосованих проти борошнистої роси препаратів отримали від застосування препарату Бактофіт БТ, р. – 573,0 грн/га, рентабельність застосованих заходів також була найнижчою – 26,9%. Це зумовлено більшою кількістю обприскувань та відповідно більшими витратами, за рівня врожайності на рівні інших досліджуваних препаратів. Поріг окупності застосування даного препарату становив 0,24 т/га, а обсяг збереженого врожаю – 0,3 т/га.

За застосування препарату Топаз 100 ЕС, к.е. у нормі 0,4 л/га, який застосовувався як еталонний, отримали показник умовно-чистого доходу від застосованих заходів на рівні 5277,0 грн/га. Рентабельність захисних заходів становила 186,9%, а поріг окупності – 0,31 т/га.

Висновки. Всі досліджувані біологічні препарати, які застосовувались для захисту яблуні від борошнистої роси у 2021–2023 роках показали високі показники умовно-чистого доходу (573,0–2448,0 грн/га) та рентабельності (26,9–280,8%). Найефективнішим з економічного погляду у 2021–2023 роках було застосування препарату Флуоресцин БТ, р. у нормі 1,5 л/га, що дозволило отримати 2448,0 грн/га умовно-чистого доходу. Найвищий рівень рентабельності захисних заходів вдалося отримати за застосування препарату Ампеломіцин БТ, р. у нормі 4,0 л/га – 280,8%. Найнижчий умовно-чистий дохід та рентабельність серед застосованих препаратів отримали від застосування препарату Бактофіт БТ, р. 573,0 грн/га та 26,9% відповідно. Застосування досліджуваних біологічних препаратів дозволило на високому рівні забезпечити захист яблуні від однієї з найпоширеніших у зоні досліджень хвороби – борошнистої роси, що у підсумку забезпечило отримання високого рівня врожайності яблуневих насаджень (11,4–11,6 т/га).

1. Гунчак М. В. Економічна ефективність різних систем захисту яблуні (*Malus domestica* Borkh.) у Придністров'ї. *Садівництво*. 2018. Вип. 73. С. 74–81.
2. Сніговий В. С., Матвієць О. М. Економічна ефективність вирощування інтенсивних насаджень яблуні за різних режимів краплинного зрошення в умовах низинної зони Закарпаття. *Меліорація і водне господарство*. 2013. Вип. 100. С. 44–51.
3. Економіка садівництва / за ред. В. В. Юрчишина. К. : Урожай, 1972. 239 с.
4. Довідник із захисту рослин / за ред. М. П. Лісового. Київ : Урожай, 1999. 744 с.
5. Захист яблуні від шкідливих комах, кліщів та хвороб (Південний і Південно-Східний Степ) / Борзих О. І. та ін. Київ : Колобіг, 2014. 44 с.
6. Екотоксикологічні параметри застосування біопестицидів, розробка та адаптація біологічних систем захисту яблуні від шкідників та хвороб до ґрунтовокліматичних умов та фітосанітарного стану агроценозу / Борзих О. І. та ін. *Фітосанітарна безпека*. 2023. № 68. С. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26>.
7. Бровдій В. М., Гулий В. В., Федоренко В. П. Біологічний захист рослин : навч. посіб. К. : Світ, 2003. 352 с.
8. Шестопаль О. М. Економічна ефективність інтенсивних плодових насаджень. К. : «Знання», 1977. 48 с.
9. Методика економічної та

енергетичної оцінки типів насаджень, сортів, інвестицій в основний капітал, інновацій та результатів технологічних досліджень у садівництві / П. В. Кондратенко та ін. ; за ред. О. М. Шестопалія ; Інститут садівництва УААН. 2 вид., з доп. та змінами. К., 2006. 141 с. **10.** Тупчий О. С. Методичні основи дослідження економічної ефективності виробництва продукції садівництва. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2013. Вип. 3. С. 106–110. **11.** Методики випробування і застосування пестицидів / за ред. проф. С. О. Трибеля. Київ, 2001. 448 с.

REFERENCES:

1. Hunchak M. V. Ekonomichna efektyvnist riznykh system zakhystu yabluni (*Malus domestica* Borkh.) u Prydnistrovi. *Sadivnytstvo*. 2018. Vyp. 73. S. 74–81.
2. Snihovyi V. S., Matviiets O. M. Ekonomichna efektyvnist vyroshchuvannia intensyvnykh nasadzhen yabluni za riznykh rezhymiv kraplynnoho zroshennia v umovakh nyzynnoi zony Zakarpattia. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. 2013. Vyp. 100. S. 44–51.
3. *Ekonomika sadivnytstva* / za red. V. V. Yurchyshyna. K. : Urozhai, 1972. 239 s.
4. Dovidnyk iz zakhystu roslyn / za red. M. P. Lisovoho. Kyiv : Urozhai, 1999. 744 s.
5. Zakhyst yabluni vid shkidlyvykh komakh, klishchiv ta khvorob (Pivdennyi i Pivdenno-Skhidnyi Step) / Borzykh O. I. ta in. Kyiv : Kolobih, 2014. 44 s.
6. Ekotoksykologichni parametry zastosuvannia biopestytsydiv, rozrobka ta adaptatsiia biolohichnykh system zakhystu yabluni vid shkidnykiv ta khvorob do gruntovoklimatychnykh umov ta fitosanitarnoho stanu ahrotsenozu / Borzykh O. I. ta in. *Fitosanitarna bezpeka*. 2023. № 68. S. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26>.
7. Brovdii V. M., Hulyi V. V., Fedorenko V. P. Biolohichni zakhyst roslyn : navch. posib. K. : Svit, 2003. 352 s.
8. Shestopal O. M. Ekonomichna efektyvnist intensyvnykh plodovykh nasadzhen. K. : «Znannia», 1977. 48 s.
9. Metodyka ekonomichnoi ta enerhetychnoi otsinky typiv nasadzhen, sortiv, investytsii v osnovnyi kapital, innovatsii ta rezultativ tekhnolohichnykh doslidzhen u sadivnytstvi / P. V. Kondratenko ta in. ; za red. O. M. Shestopalia ; Instytut sadivnytstva UAAN. 2 vyd., z dop. ta zminamy. K., 2006. 141 s.
10. Tupchii O. S. Metodychni osnovy doslidzhennia ekonomichnoi efektyvnosti vyrobnytstva produktsii sadivnytstva. *Visnyk ahrarynoi nauky Prychornomoria*. 2013. Vyp. 3. S. 106–110.
11. Metodyky vyprobuvannia i zastosuvannia pestytsydiv / za red. prof. S. O. Trybelia. Kyiv, 2001. 448 s.

Hunchak M. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Director (Chernivtsi regional center of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Chernivtsi), **Hryshchenko O. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Scientific Secretary** (State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Kyiv), **Mamenko P. M., Senior Research Fellow, Kolodiaznyi O. Yu., Senior Research Fellow** (Institute of Agroecology and Environmental Management NAAS, Kyiv), **Turchyna K. P., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ECONOMIC EFFICIENCY OF THE USE OF BIOLOGICAL PREPARATIONS FOR PROTECTION OF APPLE TREE AGAINST POWDERY MILDEW

The economic efficiency indicators of various biological preparations for protecting apple trees from powdery mildew in 2021–2023 in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine were studied. All studied biological preparations showed high indicators of conditional net income (573.0–2448.0 UAH/ha) and profitability (26.9–280.8%). The most effective from an economic point of view in 2021–2023 was the use of Fluorescin BT, r. at a rate of 1.5 l/ha, which allowed to obtain 2448.0 UAH/ha of conditional net income, the profitability of protective measures was 212.5%, and the payback threshold was 0.13 t/ha. The highest level of profitability of protective measures was obtained with the use of the preparation Ampelomycin BT, r. at a rate of 4.0 l/ha – 280.8%, the conditional net income was 1991.0 UAH/ha, and the payback threshold of the preparation was 0.08 t/ha. From the use of Fitosporin BT, p. at a rate of 7.0 l/ha, a conditional net income of 1023.0 UAH/ha was obtained, with a profitability of 131.7%, the payback threshold of the use of this preparation was 0.09 t/ha. The lowest conditional net income and profitability among the preparations used were obtained from the use of the preparation Baktofit BT, p. 573.0 UAH/ha and 26.9%, respectively. The payback threshold of the use of this preparation was 0.24 t/ha. Apple fruit yield when using the preparation Baktofit BT, p. at a rate of 4.0 l/ha was 11.5 t/ha, including 5.3 t/ha of the 1st grade, 4.6 t/ha of the 2nd grade and 1.6 t/ha of substandard fruits. The yield when using the preparation Fluorescin BT, r. at a rate of 1.5 l/ha was

11.6 t/ha, of which 5.4 t/ha of the 1st grade, 4.5 t/ha of the 2nd grade and 1.7 t/ha of substandard fruits. The yield when using Fitosporin BT, r. at a rate of 7.0 l/ha was 11.4 t/ha, including 4.9 t/ha of the 1st grade, 4.3 t/ha of the 2nd grade and 2.2 t/ha of substandard fruits. The yield when using the preparation Ampelomycin BT, r. at a rate of 4.0 l/ha, it amounted to 11.5 t/ha, of which 5.2 t/ha were of the first grade, 4.6 t/ha were of the second grade, and 1.7 t/ha were of substandard fruits.

***Keywords:* apple tree; economic efficiency; biological products; powdery mildew.**

Гунчак М. В., к.с.-г.н., директор (Чернівецький регіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», м. Чернівці, gunchak00@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3521-8531), **Маменко П. М., с.н.с., Колодяжний О. Ю., с.н.с.** (Інститут агроекології та природокористування НААН, м. Київ, ORCID: 0009-0001-9945-8462, ORCID: 0000-0001-5359-1738), **Ліхо О. А., к.с.-г.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.a.liho@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5991-5035)

БІОЛОГІЧНИЙ МЕТОД ЗАХИСТУ ЯБЛУНІ ПРОТИ СІРОЇ ЯБЛУНЕВОЇ ПОПЕЛИЦІ

Досліджено технічну ефективність застосування біологічних препаратів для захисту яблуні від сірої яблуневої попелиці у 2021–2022 рр. в умовах Західного Лісостепу України. Дослідженнями встановлено, що біологічні препарати показали ефективність дії проти сірої яблуневої попелиці в межах 35,3–61,3%. Зокрема, найвищу ефективність у фенофази «рожевий бутон» та «формування плодів» отримали при застосуванні препарату Біоспектр БТ, р. (10,0 л/га) – 56,4% та 61,3% відповідно, а у фенофазу «ріст плодів» (плід розміром з волоський горіх) найефективнішою була дія Бітоксикациліну БТ, р. (5,0 л/га) – 60,0%. Саме тому ці препарати рекомендовано застосовувати у системах захисту яблуні проти шкідників в умовах Західного Лісостепу України для боротьби із сірою яблуневою попелицею. Найнижчу ефективність дії отримали при застосуванні препарату Метаризин БТ, р. (4,0 л/га) – від 33,5 до 35,3%. Ефективним було застосування суміші Боверину БТ, р. (10,0 л/га) та Метаризину БТ, р. (3,0 л/га), що дозволило отримати ефективність на 8–30% вищу ніж за застосування препаратів окремо. Урожайність яблуневих насаджень при застосуванні досліджених біологічних препаратів становила 11,7–12,2 т/га.

Ключові слова: яблуневі насадження; біопрепарати; фітофаги; сіра яблунева попелиця; технічна ефективність.

Постановка проблеми. Яблуневим насадженням шкоди завдає велика кількість шкідників, тому одним з основних елементів технології вирощування культури є захист плодових насаджень від шкідників [1].

Одними з найбільш поширених шкідників яблуні є представники підряду попелиць (*Aphidinae*). Серед них значної шкоди яблуневим екоценозам Західного Лісостепу України завдає попелиця червоногалова або сіра яблунева попелиця (*Dysaphis devectora* Walk.). Фітофаг пошкоджує лише яблуню. Її шкідливість полягає у висмоктуванні з бруньок і листків, що розпускаються соків. Уражені листки стають товстими, грубішими, загинаються всередину і набувають вишнево-червоного або рожевого кольору. Пошкоджене листя засихає і опадає. В разі сильного розмноження фітофаг може пошкоджувати і плоди, внаслідок чого на них утворюються червоні плями. Засновниця і безкрила форма широкоовальні, забарвлення тіла від темно-сірого до темно-зеленого, обпилені білим нальотом. Нормальна самиця безкрила, овальна, зеленувато-бура, вкрита порошковидним нальотом. Самець крилатий, темно-бурий, сірообпилений. Існують мігруючі і немігруючі форми. Мігруюча форма розвивається на яблуні лише навесні, потім потомство окрилюється і перелітає на проміжні рослини – кінський щавель, бугилу, бутень, де й розвивається до осені. В кінці вересня і в жовтні з цих рослин попелиця перелітає на яблуню, де народжує личинок нормальних самок. Після спаровування самки відкладають зимуючі яйця під відмерлі лусочки кори стовбурів і товстих гілок. Немігруюча форма розвивається лише на яблуні, утворюючи чотири покоління. На початку літа запліднені самки переповзають на стовбури і гілки, під лусочками відмерлої кори відкладають яйця, які зимують. Більш шкідливою є немігруюча форма. Характер розвитку повноциклічний, однодомний. Протягом сезону дає 3–4 покоління [1–4].

Захист яблуневого саду від шкідливих організмів, в тому числі і від сірої яблуневої попелиці, базується, в основному, на інтенсивному застосуванні засобів захисту рослин хімічного походження. Тому необхідним є зменшення обсягів застосування хімічних засобів захисту для мінімізації негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз джерел літератури свідчить про те, що питання біологічного методу захисту

яблуні від сірої яблуневої попелиці в умовах Західного Лісостепу України досліджено недостатньо та перебуває на стадії наукового пошуку.

Яновський Ю. П. та ін. зазначають, що застосування сучасних інсектицидів Мовенто 100 SC, КС у нормі витрати 1,75–2,0 л/га, Сіванто Прайм 200 SL, РК у нормі витрати 0,75–1,0 л/га та Трансформ, ВГ у нормі витрати 0,05–0,1 кг/га знижує чисельність попелиці червоногалової або сірої яблуневої на 92,8–97,2% та забезпечує підвищення урожайності насаджень в 1,7–1,9 рази порівняно з контролем [5].

Федоренко В. П. та Броун І. В. вказують, що останнім часом для регулювання чисельності шкідників в агроценозах, поряд з хімічним, агротехнічним та механічним методами, широко застосовується і біологічний, зокрема і використання біологічних препаратів [6].

Як вказують Бровдій В. М. та ін., Дядечко М. П. та ін., біологічні препарати, при порівнянні з хімічними, є менш ефективними, але їх перевагою є те, що вони не шкодять навколишньому природному середовищу. Біологічні препарати мають більш уповільнену дію ніж пестициди хімічного походження, але вони за певних умов спричиняють епізоотії у фітофагів. Одним із недоліків застосування препаратів біологічного походження є те, що їх ефективність може знижуватись внаслідок несприятливих погодних умов [7–8].

Як вказують Борзих О. І. та ін., використання біологічних препаратів у системах захисту є надзвичайно необхідним, адже це дозволяє стабілізувати екологічну рівновагу в садовому агробіоценозі й зменшити обсяги застосування хімічних пестицидів для збереження корисних видів і мінімального негативного впливу на зовнішнє середовище [9].

На цей момент розроблено різні системи захисту яблуні від фітофагів, які в переважно включають застосування хімічного методу захисту рослин. Тому важливим є застосування біологічного методу захисту рослин для зменшення шкідливого впливу пестицидів хімічного походження [10–11]. На сьогодні є велика кількість біопрепаратів, які застосовуються проти шкідників яблуневих насаджень, але всі вони мають різну ефективність дії. Через те, що рівень шкідливості сірої яблуневої попелиці щороку зростає, досліджувались біологічні системи захисту саме проти цього шкідника. Це дозволить не лише вивчити ефективність біологічних

препаратів проти сірої яблунової попелиці, але й визначити найбільш ефективні інсектициди та в подальшому застосувати їх у системах біологічного захисту проти шкідників в умовах Західного Лісостепу України.

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень було вивчення ефективності застосування біологічних препаратів проти сірої яблунової попелиці при вирощуванні яблуні та підбір найефективніших з них для застосування у системах біологічного захисту яблуневих насаджень проти шкідників в умовах Західного Лісостепу України.

Дослідження проводили в плодовому саду Української науково-дослідної станції карантину рослин Інституту захисту рослин НААН (с. Бояни Чернівецької області) за загальноприйнятими методиками [12–13] на насадженнях яблуні 2014 року садіння на сорту Айдаред на підщепі М-106. Схема садіння: 3 x 3 м. Система утримання ґрунту – під багаторічними травами.

Фітосанітарний моніторинг проводили візуально та за допомогою феромонних пасток [12].

При польових дослідах у кожному варіанті використовувалося по 10 облікових дерев (дерево-повторність).

Ефективність дії інсектицидів визначали за офіційними методиками через 2 та через 7 діб [12].

Ефективність дії інсектицидів (Еф, %) розраховували за формулою:

$$E = 100 * (1 - (B * a / A * b)), \quad (1)$$

де E – ефективність препарату у відсотках зниження чисельності шкідника; A – кількість живих особин на дослідній ділянці до обробки; B – кількість живих особин на дослідній ділянці після обробки; a – кількість живих особин у контролі до обробки; b – кількість живих особин у контролі після обробки.

Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали за загальноприйнятими методиками [14].

Дослідна ділянка розміщена на ясно-сірому і сірому опідзоленому поверхнево-оглеєному середньосуглинковому ґрунті з низьким вмістом гумусу – 2,0% та слабкислою реакцією ґрунтового розчину ($pH_{\text{сол.}}$ – 5,2). Забезпеченість ґрунту рухомим сполуками фосфору середня (P_2O_5 – 78 мг/кг ґрунту), рухомими сполуками калію – середня (K_2O – 79 мг/кг ґрунту), азотом, що легкогідролізується – дуже низька (92 мг/кг ґрунту). Агроекологічна оцінка в балах складає

35 із 100.

Для боротьби з сірою яблуневою попелицею у 2021–2022 роках було досліджено препарати: Актофіт БТ (аверсектин С, 0,2%), к.е. у нормі 2,0 л/га, 3,0 л/га та 4,0 л/га; Боверин БТ (гриби роду *Beauveria*, титр життєздатних клітин не нижче $3,0 \times 10^9$ КУО/см³), р. у нормі 20,0 л/га; Метаризин БТ (гриби роду *Metarhizium*, титр життєздатних клітин не нижче $2,0 \times 10^9$ КУО/см³), р. у нормі 4,0 л/га; суміш препаратів Боверин БТ (гриби роду *Beauveria*, титр життєздатних клітин не нижче $3,0 \times 10^9$ КУО/см³), р. у нормі 10,0 л/га та Метаризин БТ (гриби роду *Metarhizium*, титр життєздатних клітин не нижче $2,0 \times 10^9$ КУО/см³), р. у нормі 3,0 л/га; Бітоксикацилін БТ (життєздатні клітини *Bacillus thuringiensis var. thuringiensis* (серотип 1), титр не нижче $2,0 \times 10^9$ КУО/см³ і споро-кристалічний комплекс з токсинами двох видів: β -екзотоксин і δ -ендотоксин), р. у нормі 3,0 л/га, 4,0 л/га та 5,0 л/га; Біоспектр БТ (бактерії роду *Pseudomonas* з титром не нижче $5,0 \times 10^9$ КУО/см³) р. у нормі 3,0 л/га, 6,0 л/га та 10,0 л/га. Досліджувані препарати було внесено у фенофази: «рожевий бутон», «формування плодів», «ріст плодів» (плід розміром з волоський горіх).

Виклад основного матеріалу дослідження. Результатами фітосанітарного моніторингу встановлено, що впродовж 2021–2022 рр. яблуневому агроценозу в умовах Західного Лісостепу України значної шкоди завдавали попелиці, зокрема сіра яблунева попелиця.

Препарат Актофіт БТ (аверсектин С, 0,2%), к.е. у нормі 2,0 л/га для боротьби з сірою яблуневою попелицею було внесено у фенофази: «рожевий бутон», «формування плодів», «ріст плодів» (плід розміром з волоський горіх) (таблиця).

Таблиця

Ефективність інсектицидів біологічного походження
проти сірої яблуневої попелиці, 2021–2022 рр.

Варіант, норма внесення	*Кратність обробки	Чисельність с.я.п**, кол./100 лист.			Ефективність проти с.я.п., %	
		до обр.	через 2 доби	через 7 діб	через 2 доби	через 7 діб
Контроль (вода)	1	4,2	4,3	4,7	-	-
	2	8,3	8,5	8,9	-	-
	3	9,6	9,5	9,2	-	-
Контроль хімічний: Каліпсо 480 SC, к.с. (0,3 л/га)	1	4,3	1,8	0,6	59,1	87,5
	2	8,4	2,8	1,0	67,5	88,9
	3	9,5	2,8	0,8	70,2	91,2

продовження таблиці

Актофит БТ, к.е. (2,0 л/га)	1	4,4	3,7	2,9	17,9	41,1
	2	8,3	6,8	4,2	20,0	52,8
	3	9,6	7,2	4,5	24,2	51,1
Актофит БТ, к.е. (3,0 л/га)	1	4,3	3,5	2,8	20,5	41,8
	2	8,4	6,8	4,2	21,0	53,4
	3	9,4	7,3	4,6	21,5	48,9
Актофит БТ, к.е. (4,0 л/га)	1	4,5	3,5	2,8	24,0	44,4
	2	8,2	6,7	3,8	20,2	56,8
	3	9,5	7,1	4,5	24,5	50,6
Боверин БТ, р. (20,0 л/га)	1	4,2	3,6	2,6	16,3	44,7
	2	8,3	6,8	4,3	20,0	51,7
	3	9,6	7,7	4,4	18,9	52,2
Метаризин БТ, р. (4,0 л/га)	1	4,3	3,8	3,2	13,7	33,5
	2	8,5	7,8	5,9	10,4	35,3
	3	9,7	8,2	6,1	14,6	34,4
Боверин БТ, р. (10,0 л/га) + Метаризин БТ, р. (3,0 л/га)	1	4,3	3,7	2,1	16,0	56,4
	2	8,2	6,7	3,5	20,2	60,2
	3	9,6	7,3	3,3	23,2	64,1
Бітоксидацилін БТ, р. (3,0 л/га)	1	4,4	3,7	2,8	17,9	43,1
	2	8,4	6,6	4,8	23,3	46,7
	3	9,5	6,9	4,1	26,6	55,0
Бітоксидацилін БТ, р. (4,0 л/га)	1	4,5	3,6	2,7	21,9	46,4
	2	8,3	6,5	4,6	23,5	48,3
	3	9,6	6,8	3,8	28,4	58,7
Бітоксидацилін БТ, р. (5,0 л/га)	1	4,4	3,5	2,5	22,3	49,2
	2	8,3	6,4	4,4	24,7	50,6
	3	9,4	6,7	3,6	28,0	60,0
Біоспектр БТ, р. (3,0 л/га)	1	4,3	3,5	2,4	20,5	50,1
	2	8,4	6,1	3,7	29,1	58,9
	3	9,7	6,9	3,9	28,1	58,0
Біоспектр БТ, р. (6,0 л/га)	1	4,2	3,4	2,2	20,9	53,2
	2	8,3	6,0	3,5	29,4	60,7
	3	9,4	6,8	3,7	26,9	58,9
Біоспектр БТ, р. (10,0 л/га)	1	4,3	3,3	2,1	25,0	56,4
	2	8,2	5,9	3,4	29,7	61,3
	3	9,3	6,7	3,6	27,2	59,6
НІР₀₅		0,21	0,75	1,25		

*Обробки проводилися у такі фенофази: 1 – «рожевий бутон», 2 – «формування плодів», 3 – «ріст плодів» (плід розміром волоського горіха); с.я.п.** – сіра яблунева попелиця

Початкова ефективність препарату Актофіт БТ, к.е. у нормі 2,0 л/га становила 17,9%, 20,0% та 24,2%, а ефективність біологічного препарату через 7 діб становила 41,1%, 52,8% та 51,1%. Початкова ефективність препарату Актофіт БТ, к.е. у нормі 3,0 л/га становила 20,5%, 21,0% та 21,5%, а ефективність біопрепарату через 7 діб становила 41,8%, 53,4% та 48,9%. Ефективність препарату Актофіт БТ, к.е. у нормі 4,0 л/га через 2 доби після обробки становила 24,0%, 20,2% та 24,5%, а ефективність біопрепарату через 7 діб становила 44,4%, 56,8% та 50,6%. Урожайність плодів яблуні за застосування Актофіту БТ, к.е. становила 11,8–11,9 т/га, з них 40,5% плодів першого сорту.

Застосування препарату Боверин БТ (гриби роду *Beauveria*, титр життєздатних клітин не нижче $3,0 \cdot 10^9$ КУО/см³), р. проти сірої яблуневої попелиці у нормі 20,0 л/га дозволило отримати ефективність через дві доби після обробки на рівні 16,3%, 20,0% та 18,9%; а через 7 діб – 44,7%, 51,7% та 52,2%. За застосування цього препарату урожайність яблуні становила 12,2 т/га, з яких 45,1% плодів першого сорту.

Препарат Метаризин БТ, р. у нормі 4,0 л/га (гриби роду *Metarhizium*, титр життєздатних клітин не нижче $2,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) проти сірої яблуневої попелиці показав найнижчу ефективність серед досліджуваних біопрепаратів. Ефективність препарату через дві доби після обробки у фенофазі «рожевий бутон» становила 13,7%, а через 7 діб – 33,5%. Початкова ефективність наступних обприскувань становила 10,4% та 14,6%, а ефективність біологічного препарату через 7 діб становила 35,3% та 34,4%. Урожайність плодів яблуні за застосування цього препарату була найнижчою серед досліджуваних препаратів та становила 11,7 т/га, з них 38,3% плодів першого сорту.

Ефективність обприскування сумішами препаратів Боверин БТ, р. у нормі 10,0 л/га та Метаризин БТ, р. у нормі 3,0 л/га через дві доби становила 16,0%, 20,2% та 23,2%, а через 7 діб – 56,4%, 60,2% та 64,1%; що є вищим, ніж при застосуванні досліджуваних препаратів окремо та свідчить про отриманий синергетичний ефект. Урожайність плодів яблуні за застосування суміші таких препаратів становила 12,0 т/га, з яких 44,2% плодів першого сорту.

Застосування препарату Бітоксубацилін БТ (життєздатні клітини *Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis* (серотип 1), титр не нижче $2,0 \cdot 10^9$ КУО/см³ і споро-кристалічний комплекс з токсинами

двох видів: β -екзотоксин і δ -ендотоксин), р. у нормі 3,0 л/га дозволило отримати ефективність через дві доби після обробки 17,9%; 23,3% та 26,6%, а через 7 діб – 43,1%; 46,7% та 55,0%. Початкова ефективність препарату Бітоксимацилін БТ, р. у нормі 4,0 л/га становила 21,9%, 23,5% та 28,4%, а ефективність біопрепарату через 7 діб становила 46,4%, 48,3% та 58,7%. Ефективність препарату Бітоксимацилін БТ, р. у нормі 5,0 л/га у фенофази «рожевий бутон» та «формування плодів» через дві доби становила 22,3% та 24,7%, а через 7 діб – 49,2% та 50,6%. Найвищу ефективність отримали при обприскуванні у період росту плодів: через дві доби – 28,0%, а через 7 діб – 60,0%. Застосування цього препарату дозволило отримати урожайність плодів яблуні в межах 11,9–12,1 т/га, з яких від 44,8 до 45,2% плодів першого сорту.

Застосування препарату Біоспектр БТ (бактерії роду *Pseudomonas* з титром не нижче $5,0 \times 10^9$ КУО/см³), р. у нормі 3,0 л/га дозволило отримати ефективність через дві доби після обробки на рівні 20,5%, 29,1% та 28,1%; а через 7 діб – 50,1%; 58,9% та 58,0%. Початкова ефективність препарату Біоспектр БТ, р. у нормі 6,0 л/га становила 20,9%, 29,4% та 26,9%, а ефективність біопрепарату через 7 діб становила 53,2%, 60,7% та 58,9%. Ефективність препарату Біоспектр БТ, р. у нормі 10,0 л/га у фенофазу «рожевий бутон» через дві доби становила 25,0%, а через 7 діб – 56,4%. Ефективність у фенофазу «ріст плодів» через 2 доби становила 27,2%, а через 7 діб – 59,6%. Початкова ефективність обприскування у фенофазу «формування плодів» становила 29,7%, а ефективність біологічного препарату через 7 діб – 61,3%, що є найвищим серед досліджуваних біопрепаратів. При дослідженні цього препарату урожайність яблуні становила 12,0–12,2 т/га, серед яких від 44,9 до 45,7% плодів першого сорту.

В якості еталона використовувався інсектицид Каліпсо 480 SC (тіаклоприд), КС у нормі 0,3 л/га. Ефективність дії інсектициду проти сірої яблуневої попелиці через 2 доби становила 59,1%, 67,5% та 70,2%. Ефективність його дії через 7 діб становила 87,5%, 88,9% та 91,2%. Урожайність плодів яблуні при застосуванні еталона становила 12,4 т/га, з них 54,5% плодів першого сорту.

Враховуючи, що найвищу ефективність дії проти сірої яблуневої попелиці отримали при застосуванні біопрепаратів Біоспектр БТ, р. у нормі 10,0 л/га та Бітоксимациліну БТ, р. у нормі 5,0 л/га, то для

досягнення максимального ефекту у боротьбі проти сірої яблуневої попелиці рекомендовано застосовувати в умовах Західного Лісостепу України: у фенофази «рожевий бутон» та «формування плодів» Біоспектр БТ, р. (10,0 л/га), а у фенофазу «ріст плодів» (плід розміром волоського горіха) Бітоксисацилін БТ, р. (5,0 л/га).

Висновки. Встановлено, що досліджувані біологічні препарати показали ефективність дії проти сірої яблуневої попелиці в межах 33,5–61,3%. Найвищу ефективність у фенофази «рожевий бутон» та «формування плодів» отримали при застосуванні препарату Біоспектр БТ, р. у нормі 10,0 л/га (56,4% та 61,3%), а у фенофазу «ріст плодів» (плід розміром волоського горіха) найефективнішою була дія Бітоксисациліну БТ, р. у нормі 5,0 л/га (60,0%). Найнижчу ефективність отримали при застосуванні препарату Метаризин БТ, р. у нормі 4,0 л/га – 33,5–35,3%. Застосування суміші Боверину БТ, р. (10,0 л/га) та Метаризину БТ, р. (3,0 л/га) дозволило отримати ефективність на 8–30% вищу ніж при застосуванні цих препаратів окремо. Урожайність яблуневих насаджень при дослідженні біологічних препаратів становила 11,7–12,2 т/га.

1. Довідник із захисту рослин / за ред. М. П. Лісового. Київ : Урожай, 1999. 744 с.
2. Федоренко В. П., Покозій Й. Т., Круть М. В. Ентомологія : підручник. К. : Фенікс, 2013. 344 с.
3. Шевчук І. В., Гриник І. В., Каленич Ф. С. Агроекологічні системи інтегрованого захисту плодових і ягідних культур від шкідників і хвороб : рекомендації. Київ : ПП Санспарель, 2021. 188 с.
4. Захист яблуні від шкідливих комах, кліщів та хвороб (Південний і Південно-Східний Степ) : рекомендації / Борзих О. І., Черній А. М., Гродський В. А. та ін. Київ : Колобіг, 2014. 44 с.
5. Яновський Ю. П., Суханов С. В., Крикунов І. В., Фоменко О. О. Ефективність сучасних інсектицидів у захисті яблуневих насаджень від попелиці червоногалової. *Захист і карантин рослин*. 2020. Вип. 66. С. 222–230. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2020.66.222-230>.
6. Федоренко В. П., Броун І. В. Біологічний захист від зеленої яблуневої попелиці. *Карантин і захист рослин*. 2012. № 1. С. 24–25.
7. Бровдій В. М., Гулий В. В., Федоренко В. П. Біологічний захист рослин : навч. посіб. К. : Світ, 2003. 352 с.
8. Дядечко М. П. Біологічний захист рослин. Біла Церква, 2001. 312 с.
9. Екотоксикологічні параметри застосування біопестицидів, розробка та адаптація біологічних систем захисту яблуні від шкідників та хвороб до ґрунтово-кліматичних умов та фітосанітарного стану агроценозу / Борзих О. І. та ін. *Фітосанітарна безпека*. 2022. Вип. 68. С. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26>.
10. Гунчак М. В., Пасічняк В. І., Грищенко О. М., Мороз О. С. Ефективність

застосування біологічного методу захисту яблуні проти зеленої яблуневої попелиці в умовах Західного Лісостепу України. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2024. Вип. 2(106). С. 59–70. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220245>. **11.** Федоренко В. П., Мостов'як С. М., Мостов'як І. І. Екологічно безпечні методи контролю численності шкідників у сучасних агротехнологіях. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 4. С. 64–74. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2021.252957>. **12.** Методики випробування і застосування пестицидів / за ред. проф. С. О. Трибеля. Київ, 2001. 448 с. **13.** Визначення біологічної ефективності пестицидів і агрохімікатів : методичні вказівки / Чабанюк Я. В., Шерстобоева О. В., Ткач Є. Д. та ін. Київ, 2013. 36 с. **14.** Valli V., Stahl F., Feit E. *Field Experiments*. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05542-8_3-1.

REFERENCES:

1. Dovidnyk iz zakhystu roslyn / za red. M. P. Lisovoho. Kyiv : Urozhai, 1999. 744 s. **2.** Fedorenko V. P., Pokozii Y. T., Krut M. V. *Entomolohiia : pidruchnyk*. K. : Feniks, 2013. 344 s. **3.** Shevchuk I. V., Hrynyk I. V., Kalenych F. S. *Ahroekolohichni systemy intehrovanooho zakhystu plodovykh i yahidnykh kultur vid shkidnykiv i khvorob : rekomendatsii*. Kyiv : PP Sansparel, 2021. 188 s. **4.** Zakhyst yabluni vid shkidlyvykh komakh, klishchiv ta khvorob (Pivdennyi i Pivdenno-Skhidnyi Step) : rekomendatsii / Borzykh O. I., Chernii A. M., Hrodskiy V. A. ta in. Kyiv : Kolobih, 2014. 44 s. **5.** Yanovskyi Yu. P., Sukhanov S. V., Krykunov I. V., Fomenko O. O. Efektyvnist suchasnykh insektytsydiv u zakhysti yablunevykh nasadzhen vid popelytsi chervonohalovoi. *Zakhyst i karantyn roslyn*. 2020. Vyp. 66. S. 222–230. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2020.66.222-230>. **6.** Fedorenko V. P., Broun I. V. *Biolohichni zakhyst vid zelenoi yablunevoi popelytsi. Karantyn i zakhyst roslyn*. 2012. № 1. S. 24–25. **7.** Brovdii V. M., Hulyi V. V., Fedorenko V. P. *Biolohichni zakhyst roslyn : navch. posib*. K. : Svit, 2003. 352 s. **8.** Diadechko M. P. *Biolohichni zakhyst roslyn*. Bila Tserkva, 2001. 312 s. **9.** Ekotoksykologichni parametry zastosuvannya biopestytsydiv, rozrobka ta adaptatsiia biolohichnykh system zakhystu yabluni vid shkidnykiv ta khvorob do gruntovo-klimatychnykh umov ta fitosanitarnoho stanu ahrotsenozu / Borzykh O. I. ta in. *Fitosanitarna bezpeka*. 2022. Vyp. 68. S. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26>. **10.** Hunchak M. V., Pasichniak V. I., Hryshchenko O. M., Moroz O. S. Efektyvnist zastosuvannya biolohichnoho методу zakhystu yabluni proty zelenoi yablunevoi popelytsi v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2024. Vyp. 2(106). S. 59–70. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220245>.

11. Fedorenko V. P., Mostoviyak S. M., Mostoviyak I. I. Ekolohichno bezpechni metody kontroliu chyslennosti shkidnykiv u suchasnykh ahrotekhnolohiiakh. *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2021. № 4. S. 64–74. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2021.252957>. **12.** Metodyky vyprobuvannia i zastosuvannia pestytsydiv / za red. prof. S. O. Trybelia. Kyiv, 2001. 448 s. **13.** Vyznachennia biolohichnoi efektyvnosti pestytsydiv i ahrokhimikativ : metodychni vkazivky / Chabaniuk Ya. V., Sherstoboieva O. V., Tkach Ye. D. ta in. Kyiv, 2013. 36 s. **14.** Valli V., Stahl F., Feit E. Field Experiments. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05542-8_3-1.

Hunchak M. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Director (Chernivtsi regional center of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Chernivtsi), **Mamenko P. M., Senior Research Fellow, Kolodiaznyi O. Yu., Senior Research Fellow** (Institute of Agroecology and Environmental Management NAAS, Kyiv), **Likho O. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

BIOLOGICAL METHOD OF APPLE TREES PROTECTION AGAINST GRAY APPLE APHID

The technical effectiveness of the use of biological preparations to protect apple trees from gray apple aphid in 2021–2022 was investigated in the conditions of the Western Forest Steppe of Ukraine. Research has established that biological preparations have shown effectiveness against gray apple aphid in the range of 35.3–61.3%. In particular, the highest efficiency in the "pink bud" and "fruit formation" phenophases was obtained with the use of the preparation Biospectr BT, p. (10.0 l/ha) – 56.4% and 61.3%, respectively, and in the phenophase "fruit growth" (fruit the size of a walnut) the most effective effect was Bitoxybacillin BT, p. (5.0 l/ha) – 60.0%. Therefore, it is these preparations that are recommended to be used in apple tree protection systems against pests in the conditions of the Western Forest Steppe of Ukraine to combat the gray apple aphid. The effectiveness of the preparation Actofit BT, k.e. in the norm of 2.0 l/ha was 41.1–52.8%, in the norm of 3.0 l/ha – 41.8–53.4%, and in the norm of 4.0 l/ha – 44.4–56.8%, the yield of apple fruits using this preparation was 11.8–11.9 t/ha. The effectiveness of the preparation Boverin BT,

p. in the norm of 20.0 l/ha, it was 44.7–52.2% with a yield of 12.2 t/ha. The effectiveness of the preparation Metarizin BT, p. in the norm of 4.0 l/ha was in the range of 33.5–35.3%, and the productivity of the apple tree was at the level of 11.7 t/ha, which was the lowest among the studied biological preparations. The use of a mixture of Boverin BT, p. (10.0 l/ha) and Metarizin BT, r. (3.0 l/ha), which made it possible to obtain efficiency in the range of 56.4–64.1%, which is 8–30% higher than when these preparations are used separately. The yield for the application of the mixture of the studied preparations was 12.0 t/ha. The effectiveness of the preparation Bitoxibacillin BT, p. in the norm of 3.0 l/ha was 43.1–55.0%, in the norm of 4.0 l/ha – 46.4–58.7%, and in the norm of 5.0 l/ha – 49.2–60.0%, with a yield of 11.9–12.1 t/ha. The effectiveness of the preparation Biospectr BT, p. in the norm of 3.0 l/ha was 50.1–58.9%, in the norm of 6.0 l/ha – 53.2–60.7%, and in the norm of 10.0 l/ha – 56.4–61.3%. The yield of apple orchards when using this preparation was 12.0–12.2 t/ha.

***Keywords:* apple plantations; biopreparations; phytophages; gray apple aphid; technical efficiency.**

УДК 631.8

<https://doi.org/10.31713/vs420248>

Кедрун О. В., аспірант, Прищеп А. М., д.с.-г.н., професор
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.v.kedrun@nuwm.edu.ua, a.m.pryshchepa@nuwm.edu.ua)

МОЛІБДЕН ТА КОБАЛЬТ ЯК ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ СОЇ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

У статті оцінюється вплив позакореневого внесення молібдену та хелатованого кобальту на врожайність сої в умовах Західного Полісся України. Дослідження показали, що застосування препарату EnerGreen Premium MOLLUM, що містить молібден та кобальт, сприяє збільшенню врожайності сої. Найбільший приріст врожайності спостерігався при внесенні препарату в нормі 0,9 л/га, де врожайність склала 3,27 т/га, що на 27,7% більше за контроль. Вміст білка у зерні також зріс із 37,0% до 38,6%. Найбільш ефективним та економічно вигідним виявився діапазон норм внесення препарату 0,3–0,7 л/га. Результати досліджень підтвердили, що застосування молібдену та кобальту позитивно впливає на формування врожаю та якість зерна сої.

Ключові слова: молібден; кобальт; соя; позакоренеve підживлення; врожайність; білок; хелатизація.

Вступ. Соя на сьогоднішній день стала одною із основних польових культур в Україні, в тому числі для агроґрунтової зони Західного Полісся, тому питання моніторингу засобів її врожайності в умовах інтенсивного землеробства є надзвичайно актуальним. За інформацією Мінагрополітики, в умовах війни в 2022 році українські аграрії зібрали сою з 1,5 млн га, отримавши 3,7 млн тонн врожаю. Порівняно з мирним 2021 роком, площі під цією культурою збільшились на 4%. Це свідчить про те, що соя була важливою культурою, на яку покладали надії в складний воєнний період. Ця культура відзначається високою вимогливістю до умов вирощування, зокрема до живлення. Для оптимального росту і розвитку, сої необхідний збалансований комплекс макро- і мікроелементів. Соя має унікальну здатність фіксувати атмосферний азот за допомогою

бульбочкових бактерій. Однак, для ефективної роботи цього симбіозу необхідні певні мікроелементи, зокрема молібден, який безпосередньо бере участь у перетворенні азоту та кобальт, який забезпечує сприятливі умови для роботи нітрогенази. Соя відмінно реагує на пряму дію молібдену та кобальту, вони є важливим елементом сучасних технологій вирощування цієї культури, які дозволяють отримувати стабільні високі врожаї та забезпечувати продовольчу безпеку. В сьогоднішній час активного відновлення тваринництва з'явився попит на білок, основним джерелом в світі якого є соя. При цьому наслідки глобального потепління для Західного Полісся дозволили отримувати досить високі врожаї раніше нехарактерної для регіону цієї сільськогосподарської культури. У зв'язку із цим, дослідження впливу молібдену та кобальту на врожайність сої є досить актуальною проблемою для сучасного агровиробництва в умовах Полісся.

Аналіз літературних джерел із проблем оцінки ефективності систем живлення сої молібденом та кобальтом показав недостатній рівень її розкриття, оскільки на сої в більшості досліджувалась ефективність прямої дії позакореневого підживлення окремо молібденом, і дуже мало в поєднанні з кобальтом [1–4; 8–11]. Попередні дослідження підтвердили підвищення показників врожайності сої від застосування молібдену [8]. Також було встановлено високу ефективність впливу на врожайність сої системи позакореневого підживлення молібденом разом із кобальтом [9; 10].

Що стосується вивчення дії системи підживлення молібдену разом із хелатованим кобальтом, то моніторинг літературних джерел з 2012 року не виявив результатів подібних досліджень, що підтверджує новизну та актуальність висвітлених результатів досліджень у представленій науковій публікації.

Методика досліджень. Польові дослідження проводились впродовж 2023 року у польовому досліді компанії ТОВ «ВІТАГРО ПАРТНЕР» Групи компаній «ВІТАГРО» на демополігоні у с. Зоря Рівненського району Рівненської області. Демополігон розташований на землях кластеру «Зоря Волині» ТОВ «Група Компаній «ВІТАГРО»» біля автодороги Рівне – Луцьк за 18 км від обласного центру. Ґрунти на демонстраційному полігоні – темно-сірі, середнього- та важко-суглинкового механічного складу. Вміст гумусу – 3,9%. рН ґрунту – 5,3 (слабокислий).

Дослідження проводились на сої сорту STINE11N20 (оригіатор – компанія STINE, США). Особливість даного сорту сої: негмо, стійка до діючої речовини трибенурон-метил (сульфо-соє).

Для дослідів був обраний препарат EnerGreen Premium MOLLIUM вітчизняного виробництва. Препарат одночасно містить молібден та кобальт. Виробник: завод BAYTON, ТОВ «Агрохім Технології» (с. Івашківці Хмельницький район Хмельницька область).

Характеристики препарату EnerGreen Premium MOLLIUM:

pH-8,7; густина – 1,15 г/л.

Вміст елементів:

Mo (молібден) – 80 г/л, Co (кобальт) – 8 г/л.

Катіони кобальту хелатовані на 100% комплексоутворювачем EDTA (етилендіамінтетраоцтова кислота). Така хелатизація дає ефективність засвоєння мікроелемента рослиною близько 90% (для порівняння: ефективність засвоєння нехелатованого елемента у формі сольового розчину – на рівні 10%). А це водночас дозволяє зменшити використання мікроелементів у 7–10 разів.

Застосування молібдену та кобальту на бобових сприяє розвитку азотфіксуючих бактерій на кореневій системі рослини. При одночасному застосуванні молібдену з кобальтом спостерігається ефект синергії цих двох мікроелементів та активізуються процеси додаткового засвоєння азоту.

Легкодоступний молібден впливає на фіксацію азоту соєю. Він є невід'ємною частиною ферменту нітрогеназа, який відповідає за фіксацію молекулярного азоту у азотфіксуючих мікроорганізмів.

Кобальт є частиною кобаламіну (вітамін B12) – незамінного ферменту для розмноження *Rhizobium* і *Bradyrhizobium* (азотфіксуючі мікроорганізми). При використанні позакоренево кобальт стимулює процеси дихання, що забезпечує активний ріст, накопичення та перенесення продуктів фотосинтезу в рослині.

Технологія вирощування сої була класичною, із застосуванням засобів захисту рослин (ЗЗР) та мікродобрив (МКД) для позакореневого підживлення (табл. 1). Попередник – пшениця озима (сорт Маттус, дворучка, оригіатор – Strube, Німеччина). Обробіток ґрунту передбачав здійснення послідовно таких технологічних заходів: осіння оранка на глибину до 25 см, весняна культивуація до 12 см. Посів здійснювався посівним комплексом HORSCH з міжряддям 30 см, з нормою висіву 500 тисяч насінин на га, глибина

посіву 3–4 см. В якості основного живлення використовувався сухий інокулянт (на основі стерильного осокового торфу) для фіксації атмосферного азоту Premium Inoculant виробництва компанії Legume Technology (Великобританія).

Період досліджень 2023 рік за метеорологічними умовами був більш-менш однорідним, в цілому характеризувався як достатньо зволожений (ГТК=1,00). Гідротермічні умови наближалися до оптимуму.

Постановка завдання. Метою досліджень була оцінка ефекту позакореневого застосування молібдену та кобальту на врожайність сої на темно-сірих ґрунтах в умовах Західного Полісся України.

Об'єктом досліджень були процеси формування врожаю сої сереньораннього сорту STINE11N20 (США) на темно-сірих ґрунтах.

Предметом досліджень були показники врожайності сої.



Рис. 1. Сорт сої, що досліджувався, у фазі 3–5 трійчастих листків

Таблиця 1

Система захисту сої

Вид роботи	Строки проведення	Назва сорту, ЗЗР, МКД	Одиниці виміру	Норми застосування на 1 га
		STINE 11N20	т	0,100
Передпосівний обробіток ґрунту	Нерозривний процес з посівом, температура ґрунту на глибині 5 см 12–14° С			
Протруєння насіння	обробка насіння на заводі Semelita	Тевірон флутриафол, 30 г/л + тіабендазол, 45 г/л	л/т	1,8
		Roots P205 – 97,7 г/л; N – 40,5 г/л; K20 – 29,8 г/л; Zn – 27,5 г/л (EDTA); SO3 – 19,3 г/л; Cu – 9,1 г/л (EDTA); Mn – 5,4 г/л (EDTA); Fe – 3,2 г/л (DTPA)	л/т	1,0
		Humic гумінові кислоти у формі калійної солі, 200 г/л	л/т	1,0
		Локер тіаметоксам, 350 г/л	л/т	0,5
Інокуляція насіння	в день посіву, або не більше 2-х діб до висіву	Преміум інокулянт бактерії Bradyrhizobium japonicum 532С, 5 млрд бактерій/ 1г торфового субстрату	кг/т	2,5
Посів	Глибина заробки насіння 3–4 см			
Ґрунтові гербіциди	внесення після посіву до появи сходів	Не потребує		

продовження табл. 1

I внесення страхових гербіцидів	фаза 3-5 трійчастих листків (ВВСН 13-15)	Вода	л/га	200
		Тамерлон трибенурон-метил, 750 г/кг	кг/га	0,025
		Тайган тифенсульфурон-метил, 750 г/кг	кг/га	0,010
		Тор лямбда – цигалотрин, 50 г/л	л/га	0,2
		Дроп 90 прилипач	л/га	0,3
II внесення	стимулююча дія	Amino екстракт вільних L-амінокислот рослинного походження, 200 г/л	л/га	1,0
		Mollium Со – 8 г/л (EDTA); Мо – 80 г/л	л/га	<i>Дослід</i>
III внесення гербіцидів	не раніше 3-х днів після першого внесення	Вода	л/га	150
		Халк флуазифоп-П-бутил, 150 г/л	л/га	1,0
IV внесення фунгіциди + інсектициди	фаза початок бутонізації	Вода	л/га	200
		Візерд тіофанат-метил, 310 г/л + епоксиконазол, 120 г/л + тебуконазол, 70 л/г	л/га	0,6
		Шокер імідаклоприд, 300 г/л + лямбда-цигалотрин, 100 г/л	л/га	0,2
		Осеан екстракт морських водоростей <i>Ascophyllum nodosum</i>	л/га	1,0
		В боретаноламін, 150 г/л	л/га	1,0
		Amino екстракт вільних L- амінокислот рослинного походження, 200 г/л	л/га	1,0
		Дроп 90 прилипач	л/га	0,3

продовження табл. 1

внесення	цвітіння завер- шення	Вода	л/га	200
		Каскад азоксистробін, 250 г/л	л/га	0,6
		Тімед тіаметоксам, 141 г/л + лямбда- цигалотрин, 106 г/л	л/га	0,2
		Amino екстракт вільних L-амінокислот рослинного походження, 200 г/л	л/га	1,0
		Soybean N – 103,9 г/л; SO ₃ – 56,9 г/л; MgO – 20,8 г/л (EDTA); B – 15 г/л; Mn – 9,2 г/л (EDTA); Mo – 3 г/л (EDTA); Cu – 1,5 г/л (EDTA); Fe – 1,2 г/л (DTPA); Zn – 1,2 г/л (EDTA); Co – 0,3 г/л (EDTA)	л/га	2,0
		Дроп 90 прилипач	л/га	0,3
Десикація	Десат дикват дибромід, 150 г/л	л/га	3,0	



Рис. 2. Сорт сої, що досліджувався, у фазі бутонізації

Результати досліджень. Врожайність сої без застосування мікродобрих молібдену та кобальту становила 2,56 т/га (контрольна ділянка). Висота рослин складала 88–94 см. Кількість стебел другого порядку, які розміщені на центральному стеблі, в середньому становила 2–3. На рослинах нараховувалось 43–50 бобиків, в середньому боби сформували по 3 насінини. Вміст білка становив 37,0%.

При застосуванні препарату EnerGreen Premium MOLLIUM в нормі 0,3 л/га спостерігалися наступні показники: врожайність – 2,94 т/га (приріст 0,38 т/га або 14,8% в порівнянні з контролем). Висота рослин 90–97 см. Кількість стебел другого порядку 3–6, кількість бобів – від 45 до 53, кількість зернин в бобах – переважно 3. Вміст білка – 37,5%.

При застосуванні препарату EnerGreen Premium MOLLIUM в нормі 0,5 л/га отримали наступні показники: врожайність – 3,13 т/га (приріст 0,57 т/га або 22,3% в порівнянні з контролем). Висота рослин 93–100 см. Кількість стебел другого порядку 4–10, кількість бобів – від 50 до 65, кількість зернин в бобах – від 3 до 4. Вміст білка – 38,3%.



Рис. 3. Сорт сої, що досліджувався, у фазі дозрівання бобів (перед збиранням)

При застосуванні препарату EnerGreen Premium MOLLIUM в нормі 0,7 л/га спостерігали наступні показники: врожайність – 3,23 т/га (приріст 0,67 т/га або 26,2% в порівнянні з контролем). Висота

рослин 94–103 см. Кількість стебел другого порядку 5–12, кількість бобів – від 55 до 70, кількість зернин в бобах – від 3 до 4. Вміст білка – 38,5%.

При збільшенні норми препарату EnerGreen Premium MOLLIUM до 0,9 л/га отримали наступні показники: врожайність – 3,27 т/га (приріст 0,71 т/га або 27,7% в порівнянні з контролем). Висота рослин 95–105 см. Кількість стебел другого порядку 6–14, кількість бобів – від 56 до 74, кількість зернин в бобах – від 3 до 4. Вміст білка – 38,6%.



Рис. 4. Окрема рослина сорту сої, що досліджувався, у фазі дозрівання бобів (перед збиранням)

Таблиця 2

Зміни якісних показників врожаю сої сорту Stine 11N20 залежно від норми внесення позакоренево препарату EnerGreen Premium MOLLIUM

Норма внесення препарату, л/га	Висота рослин, см	Кількість стебел, шт	Кількість бобів, шт.	Кількість зерен в бобах, шт.	Білок, %	Врожайність, т/га	Врожайність контроль, т/га	Приріст врожаю, т/га	Відсоток приросту врожаю
0	88–94	2–3	43–50	3	37,0	2,56	2,56	0	0
0,3	90–97	3–6	45–53	3	37,5	2,94	2,56	0,38	14,8%
0,5	93–100	4–10	50–65	3–4	38,3	3,13	2,56	0,57	22,3%
0,7	94–103	5–12	55–70	3–4	38,5	3,23	2,56	0,67	26,2%
0,9	95–105	6–14	56–74	3–4	38,6	3,27	2,56	0,71	27,7%

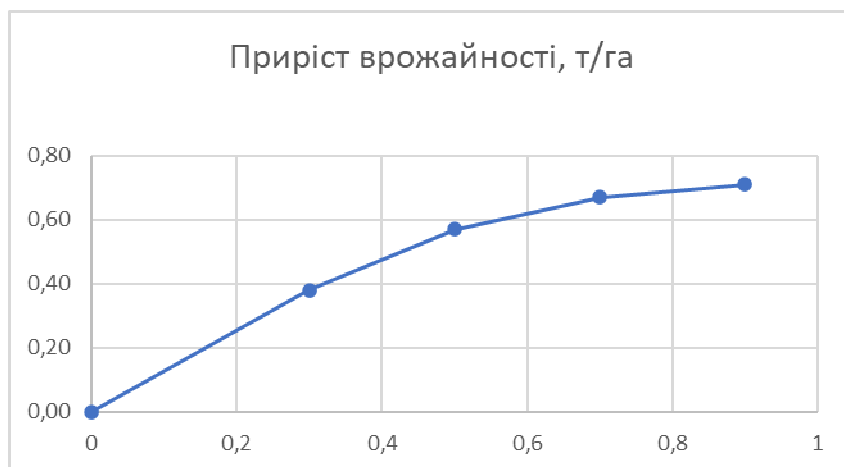


Рис. 5. Приріст врожайності досліджуваної сої від норми позакореневого внесення препарату EnerGreen Premium MOLLIIUM

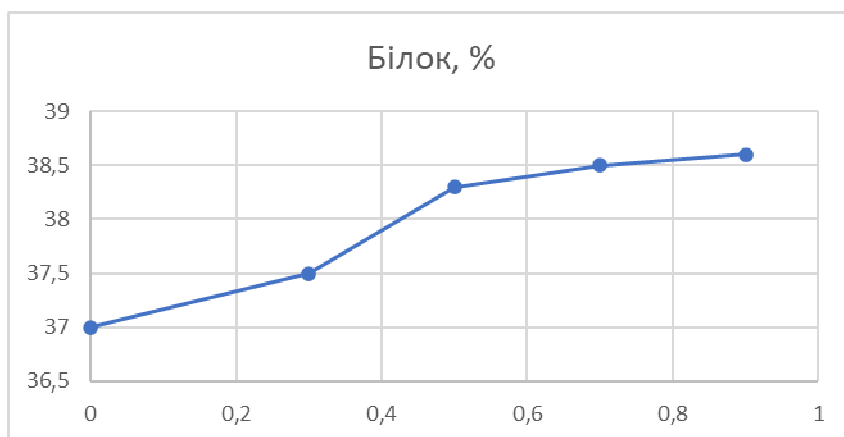


Рис. 6. Приріст вмісту білка у зерні досліджуваної сої від норми позакореневого внесення препарату EnerGreen Premium MOLLIIUM



Рис. 7. Діаграма залежності динаміки приросту врожайності досліджуваної сої від приросту норми внесення препарату EnerGreen Premium MOLLIIUM



Рис. 8. Діаграма залежності динаміки приросту вмісту білка у зерні досліджуваної сої від норми внесення препарату EnerGreen Premium MOLLIIUM

Нами також були проведені розрахунки економічної ефективності застосування препарату EnerGreen Premium MOLLIIUM для позакореневого підживлення сої у фазі 3–5 трійчастих листків:

- вартість препарату EnerGreen Premium MOLLIIUM 697 грн/л;

- вартість урожаю тонни сої з вмістом білка 36,0%–37,9% 18 000 грн;

- вартість урожаю тонни сої з вмістом білка 38,0% і більше 18 820 грн.

Результати представлені у табл. 3 та на рис. 9.

Таблиця 3

Результати економічної ефективності від застосування препарату EnerGreen Premium MOLLIUM на сої у фазі 3–5 трійчастих листка

Норма препарату, л/га	Вартість препарату, грн/га	Приріст врожайності, т/га	Вартість приросту врожайності, грн/га	Вміст білка у зерні, %	Доплата за вміст білка, грн/т	Загальна вартість приросту, грн/га
0,3	209	0,38	6 840	37,5	0	6 840
0,5	348	0,57	10 260	38,3	820	10 727
0,7	488	0,67	12 060	38,5	820	12 609
0,9	627	0,71	12 780	38,6	820	13 362



Рис. 9. Діаграма залежності динамік росту вартості норм препарату EnerGreen Premium MOLLIUM (Ряд 1) та вартості отриманого додаткового врожаю (Ряд 2)

Так, всі досліджені норми внесення препарату є економічно ефективними і окупними, а найбільш рентабельні, очевидно, знаходяться в діапазоні 0,3–0,7 л/га.

Висновки: 1. Використання на сої позакоренево одночасно молібдену (Mo) та 100% хелатованого кобальту (Co), у фазі BBCH 13-15 (3–5 трійчастих листка) було ефективним. Внесення препарату EnerGreen Premium MOLLIUM, який одночасно містить в своєму складі молібден (Mo) та 100% хелатований кобальт (Co), вже на першій досліджуваній ділянці із мінімально дозою внесення 0,3 л/га збільшило врожайність сої до 2,94 т/га, тобто на 0,38 т/га або на 14,8% в порівнянні із контролем (2,56 т/га). Вміст білка у зерні збільшився на 0,5% – від 37,0% до 37,5%. А на ділянці із максимальним внесенням препарату в нормі 0,9 л/га врожайність становила 3,27 т/га – приріст 0,71 т/га або 27,7%, вміст білка у зерні склав 38,6% – приріст 1,6 процентних пункти.

2. Встановлено, що збільшення норми внесення препарату призводить до збільшення врожайності сої, але динаміка цього збільшення щораз уповільнюється.

3. Виявлено, що збільшення норми внесення препарату призводить до збільшення вмісту білка у зерні сої, причому в діапазоні норм препарату 0,3–0,5 л/га отримали зростання динаміки приросту вмісту білка, а в діапазоні 0,5–0,9 л/га спостерігаємо уповільнення динаміки приросту вмісту білка у зерні сої.

4. Всі досліджені норми внесення препарату є економічно ефективними і окупними, а найбільш рентабельні, очевидно, знаходяться в діапазоні 0,3–0,7 л/га. В подальшому, потрібно дослідити виявлений діапазон з меншим кроком збільшення норми внесення препарату для виявлення найбільш рентабельної норми.

1. Польовий В. М., Кулик С. М. Формування фотосинтетичного апарату сої залежно від удобрення та післядії вапнування. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2016. Вип. 88(1). С. 60–67. 2. Польовий В. М., Кулик С. М. Вплив застосування добрив та вапнякових меліорантів на поживний режим дерново-підзолистого ґрунту за вирощування сої в умовах Західного Полісся. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2017. № 269. С. 185–193. 3. Бикін А. В., Генгало Н. О. Ефективність застосування добрив і гумату калію за вирощування сої на чорноземі типовому малогумусному. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*.

2011. № 162. С. 137–144. **4.** Бикін А. В., Генгало О. М., Генгало Н. О. Вплив мінеральних добрив та гумату калію на врожайність і якість насіння сої. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2011. Вип. 3–4. С. 15–22. **5.** Мельник А. В., Романько Ю. О., Романько А. Ю., Дудка А. А. Вплив погодно-кліматичних параметрів на врожайність зерна сучасних сортів сої в умовах північно-східного лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 109. Ч. 1. С. 76–83. **6.** Polovyy V., Hnativ P., Balkovskyy V., Ivaniuk V., Lahush N., Shestak V., Szulc W., Rutkowska B., Lukashchuk L., Lukanik M., Lopotych N. The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11(1). P. 384–390. **7.** Veremeenko S., Oleinik O., Furmanets O. Evaluation of the effectiveness of the use of plant growth stimulants on the productivity of agricultural crops. *Journal Sustainable Development*. Varna, 2015. Vol. 4(25). P. 40–44. **8.** Санін Ю. В., Санін В. А. Особливості позакореневого підживлення сільськогосподарських культур мікроелементами. *Агробізнес сьогодні*. 2012. № 6 (229). URL: <http://agro-business.com.ua/ahrniki-kultury/item/218-osoblyvosti-pozakorenevoho-pidzhyvlennia-silskohospodarskykh-kultur-mikroelementamy.html> (дата звернення: 03.08.2024). **9.** Ямковий В., Санін Ю. В., Санін В. А., Санін О. Ю. Сучасні позакореневі мікродобрива для сільськогосподарських культур. *Агроном*. 2015. № 4(50). С. 31–33. **10.** Долومانов О. М. Сучасні мікродобрива та інокулянти від ТОВ НВФ «Агро світ». *Зерно*. 2015. № 3(108). С. 194–195. **11.** Мірошніченко М., Гладкіх Є. Агротехніка за стресових умов. *Farmer*. (The Ukrainian). 2015. № 10(70). С. 36–39.

REFERENCES:

1. Polovyi V. M., Kulyk S. M. Formuvannya fotosyntetychnoho aparatu soi zalezno vid udobrennia ta pislidii vapnivanja. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 2016. Vyp. 88(1). S. 60–67. **2.** Polovyi V. M., Kulyk S. M. Vplyv zastosuvannya dobryv ta vapniakovykh meliorantiv na pozhyvnyi rezhym dernovo-pidzolystoho gruntu za vyroshchuvannya soi v umovakh Zakhidnoho Polissia. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy*. 2017. № 269. S. 185–193. **3.** Bykin A. V., Henhalo N. O. Efektyvnist zastosuvannya dobryv i humatu kaliuu za vyroshchuvannya soi na chornozemi typovomu malohumusnomu. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy*. 2011. № 162. S. 137–144. **4.** Bykin A. V., Henhalo O. M., Henhalo N. O. Vplyv mineralnykh dobryv ta humatu kaliuu na vrozhaunist i yakist nasinnia soi. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs «Instytut zemlerobstva NAAN»*. 2011. Vyp. 3–4. S. 15–22. **5.** Melnyk A. V., Romanko Yu. O.,

Romanko A. Yu., Dudka A. A. Vplyv pohodno-klimatychnykh parametriv na vrozhainist zerna suchasnykh sortiv soi v umovakh pivnichno-skhidnoho lisostepu Ukrainy. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2019. № 109. Ch. 1. S. 76–83. **6.** Polovyy V., Hnativ P., Balkovskyy V., Ivaniuk V., Lahush N., Shestak V., Szulc W., Rutkowska B., Lukashchuk L., Lukyanik M., Lopotych N. The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11(1). R. 384–390. **7.** Veremeenko S., Oleinik O., Furmanets O. Evaluation of the effectiveness of the use of plant growth stimulants on the productivity of agricultural crops. *Journal Sustainable Development*. Varna, 2015. Vol. 4(25). P. 40–44. **8.** Sanin Yu. V., Sanin V. A. Osoblyvosti pozakorenevoho pidzhyvlennia silskohospodarskykh kultur mikroelementamy. *Ahrobiznes sohodni*. 2012. № 6 (229). URL: <http://agro-business.com.ua/ahrnarni-kultury/item/218-osoblyvosti-pozakorenevoho-pidzhyvlennia-silskohospodarskykh-kultur-mikroelementamy.html> (data zvernennia: 03.08.2024). **9.** Yamkovyi V., Sanin Yu. V., Sanin V. A., Sanin O. Yu. Suchasni pozakorenevi mikrodobryva dlia silskohospodarskykh kultur. *Ahronom*. 2015. № 4(50). S. 31–33. **10.** Dolomanov O. M. Suchasni mikrodobryva ta inokulianty vid TOV NVF «Ahro svit». *Zerno*. 2015. № 3(108). S. 194–195. **11.** Miroshnychenko M., Hladkikh Ye. Ahrotekhnika za stresovykh umov. *Farmer*. (The Ukrainian). 2015. № 10(70). S. 36–39.

Kedrun O. V., Post-graduate Student, Pryshchepa A. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

MOLYBDENUM AND COBALT AS FACTORS OF SOYBEAN YIELD FORMATION IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE IN UKRAINE

The article evaluates the effect of foliar application of such micronutrients as molybdenum and cobalt on soybean yield in the soil and climatic conditions of Western Polissya, Ukraine. The use of molybdenum and cobalt on legumes promotes the development of nitrogen-fixing bacteria on the plant's root system. With the simultaneous use of molybdenum with cobalt, a synergistic effect of these two micronutrients is observed and the processes of additional nitrogen absorption are activated. Readily available molybdenum affects nitrogen fixation by soybean. It is an integral part of the nitrogenase enzyme, which is responsible for the fixation of molecular nitrogen in nitrogen-fixing microorganisms. Cobalt is part of

cobalamin (vitamin B12) – an indispensable enzyme for the reproduction of Rhizobium and Bradyrhizobium (nitrogen-fixing microorganisms). When used foliarly, cobalt stimulates respiratory processes, which ensures active growth, accumulation and transfer of photosynthesis products in the plant. The domestically produced EnerGreen Premium MOLLIUM preparation was chosen for the research. The preparation simultaneously contains molybdenum and cobalt, with cobalt chelated by 100 percent. Research has shown that the use of the EnerGreen Premium MOLLIUM preparation contributes to an increase in soybean yield and an increase in the protein content in the grain. The greatest increase in yield was observed when the preparation was applied at a rate of 0.9 l/ha, where the yield was 3.27 t/ha, which is 27.7% more than the control. The protein content in soybean grain also increased from 37.0% to 38.6%. The range of EnerGreen Premium MOLLIUM application rates from 0.3 l/ha to 0.7 l/ha was the most effective and economically beneficial. The results of the research confirmed that the use of molybdenum and 100 percent chelated cobalt has a positive effect on the formation of the crop and the quality of soybean grain.

***Keywords:* molybdenum; cobalt; soybean; foliar fertilization; nitrogen; synergy; nitrogenase; cobalamin; photosynthesis; yield; protein; chelation.**

УДК 635.5:639.3

<https://doi.org/10.31713/vs420249>

Колесник Т. М., к.с.-г.н., доцент, Майборода Х. А., аспірантка (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, t.m.kolesnyk@nuwm.edu.ua, h.a.maiboroda@nuwm.edu.ua)

ВПЛИВ рН НА ВРОЖАЙНІСТЬ РОСЛИН В АКВАПОНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Важливим аспектом аквапонічних систем є баланс між рибою, мікроорганізмами та рослинами, який забезпечується завдяки оптимальним умовам середовища, зокрема рівню рН. Автори відзначають, що риба у таких системах виділяє велику кількість відходів азоту, які після нітрифікації стають доступними для поглинання рослинами. Втім, підвищений вміст амонію (NH_4^+), що виникає при високих рівнях рН, може бути токсичним для рослин та негативно впливати на врожайність.

Дослідження проводилися на аквапонічній системі з сомом кларієвим і салатом сорту *Lactuca sativa* Batavia Aficion. Рослини вирощувалися при двох рівнях рН (6,5 та 7,0), що дозволило порівняти їхній ріст, накопичення біомаси та хімічний склад. Результати показали, що зниження рН до 6,5 сприяє підвищенню врожайності салату: свіжої біомаси пагонів на 277,9 г при рН 6,5 у порівнянні з 270,9 г при рН 7,0. Вага сухої біомаси при рН 6,5 також вища ніж при рН 7,0. Було помічено, що зниження рН також впливає на концентрацію мікроелементів, зокрема збільшувалося накопичення марганцю при рН 6,5, тоді як вміст цинку був вищим при рН 7,0.

Окрім дослідження рослинних показників, був проаналізований вплив рН на нітрифікацію – процес перетворення амонію на нітрати, що є важливим елементом у забезпеченні рослин азотом. Дослідження показали, що при рН нижче 6,5 активність нітрифікуючих бактерій знижується, що може призвести до накопичення амонію у воді та токсичних умов для риб. Для підтримання балансу між нітрифікацією та врожайністю рослин рекомендовано підтримувати рівень рН близько 6,5–7,0, що забезпечує оптимальні умови для розвитку як рослин, так і мікроорганізмів.

Зниження рН до 6,5 сприяє збільшенню біомаси салату та покращенню поглинання поживних речовин, тоді як підвищений рН може негативно вплинути на доступність важливих елементів і знизити ефективність азотного обміну. Результати цього дослідження мають важливе практичне значення для оптимізації умов вирощування рослин в аквапонічних системах, що дозволить підвищити їх врожайність і стабільність.

Ключові слова: аквапоніка; рН; нітрифікація; врожайність; поживні речовини; азот; латук (*Lactuca sativa*).

Постановка проблеми. З огляду на зростаючий попит на продукти харчування та необхідність сталого ведення сільського господарства, аквапоніка стає ключовим компонентом у глобальному виробництві харчової продукції. Для підвищення врожайності й поліпшення якості в аквапонічних системах важливо створити оптимальні умови для трьох основних організмів: водних тварин, мікроорганізмів і рослин. Відомо, що риба, вирощена в таких системах, виводить у воду від 70 до 80% відходів азоту [1; 2], які можуть стати цінним джерелом поживних речовин для рослин. Ці відходи фільтруються через мікробіологічні резервуари, де аміак (NH_4^+) перетворюється на нітрат (NO_3^-), який рослини можуть засвоювати [3; 4]. Хоча рослини здатні поглинати азот як у нітратній, так і в амонійній формах, надмірне накопичення NH_4^+ може бути токсичним і значно знижувати врожайність [5]. Крім азоту, врожайність у аквапонічних системах залежить від наявності інших важливих макроелементів, таких як фосфор (P) і калій (K), а також низки мікроелементів.

Основним джерелом фосфору (P) в аквапонічних системах є рибний корм. Риби засвоюють лише близько 15% фосфору з корму, а рослини мають різну здатність поглинати цей елемент із стічних вод, що обробляються в системах аквакультури залежно від дизайну аквапоніки [3; 4]. Рибний корм також містить калій (K) та інші мікроелементи, проте кількість таких елементів, як залізо (Fe), магній (Mg), марганець (Mn) і мідь (Cu), обмежена [5; 6]. Через це деякі системи аквапоніки використовують синтетичні солі для збагачення поживного розчину або здійснюють обприскування листя, щоб уникнути дефіциту K, Cu, Ca, Mg, Mn і Fe [5; 6]. Однак часто виникає дефіцит поживних речовин у рослин, коли аквапоніка повністю

залежить від рибного корму [5; 7].

Аквапонічні поживні розчини складніше підтримувати, ніж гідропонні. На їх стабільність впливає багато чинників, включно зі швидкістю годування риби, гідравлічним навантаженням та рівнем рН.

Рівень рН також є важливим фактором, що впливає на доступність поживних речовин в аквапоніці [10]. Для трьох ключових організмів, які співіснують в системі, необхідно підтримувати баланс рН. Ключовим процесом є нітрифікація, яка перетворює токсичний аміак (NH_3) на нітрат (NO_3^-), що може засвоюватися рослинами [10; 13]. Оптимальний рН для бактерій, які окислюють аміак (AOB), і тих, що окислюють нітрит (NOB), коливається від 7,2 до 8,2, а їх ріст обмежується при рН 5,8 і 6,5 відповідно [9; 12; 14]. При зниженні рН нижче 5,5 їх активність зазвичай припиняється [9; 12; 14]. Через це в аквапонічних системах зазвичай підтримується рН на рівні близько 7,0 для досягнення найкращої ефективності нітрифікації, хоча рекомендований рН для гідропоніки становить 5,5–5,8 [15].

Доступність фосфору для рослин залежить від рівня рН. При підвищенні рН вище 7,0 більшість фосфору перетворюється на нерозчинні комплекси, а 30–65% фосфору залишається у твердому осаді, що виділяється рибою і є недоступним для рослин. Крім того, рослинам складніше засвоювати Fe, Cu, Zn, B і Mn, коли рН перевищує 6,5.

Результати дослідження дозволили краще зрозуміти, як рН впливає на процес нітрифікації та врожайність рослин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Янг і Кім [2] дослідили три різні режими годування та встановили, що рівномірне годування риби може підвищити врожайність і/або якість урожаю в аквапоніці за рахунок збільшення доступності поживних речовин і ефективного використання азоту в системі [2]. У їхньому дослідженні швидкість потоку $3,3 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{доба}$ призвела до збільшення концентрації NO_3^- на 50% і 80% порівняно зі швидкістю потоку $2,2 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{доба}$ та $1,1 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{доба}$ відповідно. Oliveira та ін. [9] також зазначають, що аквапонічним фермерам важче досягти прибутковості при вирощуванні овочів порівняно з гідропонікою через нижчу врожайність. Отже, в аквапонічних системах необхідно знайти баланс між трьома основними організмами для досягнення вищої врожайності рослин. Тайсон та ін. [8] досліджували вплив рН на

перетворення азоту в біофільтрах аквапонічної системи та виявили, що при рН 5,5 нітрифікація не відбувалася, а для зниження загального аміачного азоту з 5 до 0 мг/л знадобилося 12, 20 і 20–24 дні при рН 8,5, 7,5 і 6,5 відповідно. Крім того, Wongkiew та ін. [10] з'ясували, що при нижчих рівнях рН (6,0 і 5,2) у розчині для аквапоніки спостерігали вищий вміст загального аміачного азоту та нижчий вміст нітратів порівняно з нейтральним середовищем. Незважаючи на те, що нижчий рН знижує активність нітрифікації в аквапонічних біофільтрах, максимальне засвоєння азоту рослинами може спостерігатися саме при нижчих рівнях рН, оскільки рослини краще поглинають поживні речовини. Дослідження Zou та ін. [15] показало, що максимальна ефективність використання азоту сягала 50,9% при рН 6,0, 47,3% при рН 7,5 і 44,7% при рН 9,0 в аквапонічних системах. У той час, як рівень азоту в тканинах рослин становив 34,8%, 30,3% і 28,5% при рН 6,0, 7,5 і 9,0 відповідно, що забезпечувало вищу врожайність при рН 6,0. Водночас концентрації азоту у воді між рівнями рН 6,0, 7,5 і 9,0 не мали значних відмінностей. Дей та ін. [7] порівняли вплив двох джерел нітрифікуючих бактерій – комерційних препаратів та власних біофільтрів – на аквапонічні системи з обмеженим вмістом азоту. Вони не виявили різниці в кількості нітрифікуючих бактерій між двома групами, хоча використання комерційних бактерій призвело до вищої врожайності.

Мета і завдання дослідження. Метою було дослідити взаємодію між рівнем рН та поглинанням поживних речовин і його вплив на ріст *Lactuca sativa* Batavia Aficion на аквапонній системі із сомом кларієвим. Основною перевагою є незалежність виробництва від зовнішніх умов, а також можливість автоматизувати та контролювати процес вирощування майже будь-яких видів гідробіонтів і сільськогосподарських культур.

Завданням авторів було дослідити вплив рН на врожайність листового салату, їхні морфологічні особливості, вміст макро- та мікроелементів у воді, а також накопичення поживних речовин рослинами.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проводилися в навчально-науковій лабораторії циклічних водних агроєкосистем Національного університету водного господарства та природокористування.

Насіння (*lactuca sativa batavia aficion*) висівали у кокосовий субстрат (24 рослини на м²), зрошували водопровідною водою, як розвинулися справжні листки (20 днів), розсаду пересаджували в аквапонну експериментальну установку.

Склад поживних речовин у кормі (Aller Aqua) для аквапонних риб містив: вміст азоту (N) понад 6,88%, Фосфор (P) – 1,10%, Калій (K) – 0,99%, залізо (Fe) – 40ppm, мідь (Cu) – 10ppm, кальцій (Ca) – 2,25 %, манган (Mn) – 80ppm, Цинк (Zn) – 153ppm, сірка (S) – 0,43%.

У цьому дослідженні риб годували повноцінним раціоном, що складався з 6-мм плаваючих гранул, які містили 41% білка та 1,1% фосфору. Визначення норми годівлі риб проводили за методикою, запропонованою Тенгом і Кімом [2]. Температуру води підтримували на оптимальному рівні 22–24° С за допомогою акваріумних термостатних нагрівачів (Resun Quartz Glass Sunlike Heater)

Електропровідність становила 1,5 мСм/см. Рівень рН аквапонних систем підтримували на рівні 6,5, 7,0 за допомогою 10% H₂SO₄ або комбінації основних розчинів (0,02 М Mg(OH)₂ і 0,02 М Ca(OH)₂). Повітряні камені були поставлені для кожної аквапонічної системи для підтримки оптимізованих концентрацій розчиненого кисню (РК) при повному насиченні відповідно до рекомендацій. Параметри якості води, такі як ЕС, рН, температура води та РК, вимірювали щодня перед годуванням.

Аналіз макроелементів у воді проводився за допомогою спектрофотометра Lasa agro 1900. Для оцінки якості води також були використані наступні методи: визначення концентрації нітрат-іонів фотоколориметричним методом (МВВ № 081/12-0651-09, 2010), концентрації амоній-іонів за допомогою фотоколориметрії з реактивом Неслера (МВВ № 081/12-0106-03, 2010), концентрації хлоридів – титриметричним методом (МВВ № 081/12-0653-09, 2010), а також концентрації кальцію та магнію – титриметричним методом (МВВ № 081/12-0644-09, 2010). Нітрати у свіжому рослинному матеріалі визначали потенціометричним методом, а інші компоненти – у висушеній рослинній сировині. Вміст елементів, таких як P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B, визначали фотометричним методом, а азот – методом К'ельдаля [6].

Усі рослинні тканини збирали через 30 днів після пересадки в аквапонні системи. Потім рослини ретельно розділили на коріння, стебла та листя для вимірювання ваги свіжого зразка. Потім зразки

рослин піддавали десикації в духовці, встановленій на 70° С, протягом 72 годин для усунення всього вмісту вологи. Згодом суху вагу зразків рослин оцінювали вимірюванням.

Результати досліджень. Середні показники якості води в аквапонній системі протягом 4 тижнів: рН виміряно при рівнях 6.5 і 7.0; для підтримки рН використовувались розчини корекції рН у кількостях: 80,6 мл/день (рН 6.5) і 91,3 мл/день (рН 7.0); електропровідність складала 1,61 при рН 6.5 та 1,59 при рН 7.0; розчинений кисень: 7,32 мг/л (рН 6.5) і 7,25 мг/л (рН 7.0); Температура води: в межах 22–24° С.

В аквапонічній системі середній вміст макроелементів становить NO₃ – 4 мг/дм³, Р – 3 мг/дм³, К – 20 мг/дм³, Са – 143 мг/дм³, Mg – 29 мг/дм³.

При рН 6.5 кількість АОВ (амоніюкислюючі бактерії) становила $1,1 \times 10^6$ г⁻¹, а при рН 7.0 – $3,2 \times 10^6$ г⁻¹. Вміст амонію в воді зменшувався з підвищенням рН. При рН 6.5 концентрація амонію становила 1,45 мг/дм³, а при рН 7.0 – 1,13 мг/дм³. Концентрація нітритів залишалася стабільною на рівні 0,12 мг/дм³ при рН 7.0, знижується до 0,09 мг/дм³ при рН 6.5. Концентрація нітратів також варіювалася мало, від 29 до 30,4 мг/дм³ при різних значеннях рН.

Оптимізація рН може запобігти метаболічному стресу та загибелі риби в аквапонічних системах. У нашому дослідженні ми встановили аквапонічну систему з рівнями рН 6,5 і 7, що входять до оптимального діапазону рН для сома кларієвого.

У ході дослідження було виявлено, що високий рівень рН негативно впливав на свіжу і суху масу пагонів. Латук посівний (*Lactuca sativa*) сорту *Batavia Aficion* досяг свіжої маси пагонів при рН 6,5 – 277,9 г, коріння – 13,6 г. При рН 7,0 маса пагонів – 270,9 г, коріння – 13,5 г. Вага сухої біомаси склала при рН 6,5 – 8,3 г (пагони), 1,1 г (коріння); при рН 7,0 – 7,9 г (пагони), 0,9 г (коріння).

Середньодобова швидкість зростання розрахована за індексом росту рослин, склала 1,9 см на добу в умовах гідропоніки.

Що стосується хімічного складу:

- Вміст нітратів – 2263 мг/кг.
- Загальний азот – 2,97%.
- Вміст заліза (Fe) – 93,83 мг/кг.
- Вміст калію (K) – 73,6 мг/кг.
- Вміст кальцію (Ca) – 20,1 мг/кг.

- Вміст магнію (Mg) в аквапонічній системі – 1943 мг/кг.
- Вміст сірки в листі – 18,3 мг/кг.

Магній є центральним атомом хлорофілу і відіграє ключову роль у фотосинтезі. Він необхідний для багатьох біохімічних процесів. В аквапонних системах сірка переважно присутня у формі сульфату (SO_4^{2-}) який важливий для синтезу амінокислот, білків і жирів.

pH суттєво впливали й на накопичення мікроелементів: концентрація Mn була 362,3 ppm (при pH 6,5) та 266,7 ppm (при pH 7,0). Концентрація Zn була 106,2 ppm (pH – 6,5) та 138,7 (pH – 7,0).

Фізичні параметри води, такі як електропровідність (ЕС), вміст розчиненого кисню (РК) та температура води, безпосередньо впливають на врожайність рослин у безґрунтових системах вирощування. У цьому дослідженні рівень ЕС підтримувався на рівні понад 1,5 мСм/см для оптимального росту рослин як в аквапонічних, так і в гідропонних системах. Підвищення ЕС з часом в аквапонічній системі, ймовірно, пов'язане з накопиченням мінеральних поживних речовин у розчині. Вміст розчиненого кисню підтримувався на рівні понад 6 мг/л для забезпечення нітрифікації та здорового росту риби в аквапонічній системі.

Температура води також відіграє важливу роль у врожайності рослин у безґрунтових системах. За даними Томпсона та колег [43], температура кореневої зони близько 24° С сприяє кращій ринковій якості та продуктивності рослин. У цьому дослідженні температурний діапазон води 22–25° С виявився оптимальним для підвищення врожайності рослин і ефективного коефіцієнта конверсії корму для риб.

Під час нітрифікації як амонійокислюючі бактерії (AOB), так і нітритоокислюючі бактерії (NOB) відіграли важливу роль у видаленні NH_4^+-N та утворенні NO_2-N і NO_3-N . Температура та рівень pH суттєво впливали на швидкість росту нітрифікаторів, оскільки ці умови впливають на енергетичні потреби для підтримки клітин.

Рекомендоване значення pH для аквапонічних систем становить 7,0–7,5, щоб забезпечити кращу активність нітрифікації [13]. Однак дослідження показали, що при нижчих рівнях pH не було суттєвих відмінностей.

Висновки. Різні екологічні фактори, такі як швидкість годування риби, потік води та рівень pH, можуть суттєво впливати на врожайність рослин в аквапонічних системах, оскільки вони

впливають на процеси трансформації азоту. Вищі рівні рН в аквапоніці можуть призвести до зниження врожайності рослин через зменшення поглинання поживних речовин. Це дослідження показало, що зниження рН з 7 до 6,5 сприяло збільшенню свіжої та сухої маси салату листового в аквапонічних системах.

1. Suhl J.; Dannehl D.; Kloas W.; Baganz D.; Jobs S.; Scheibe G.; Schmidt U. Advanced Aquaponics: Evaluation of Intensive Tomato Production in Aquaponics vs. Conventional Hydroponics. *Agric. Water Manag.* 2016. Vol. 178. Pp. 335–344. **2.** Yang T.; Kim H.-J. Nutrient Management Regime Affects Water Quality, Crop Growth, and Nitrogen Use Efficiency of Aquaponic Systems. *Sci. Hortic.* 2019. P. 25. **3.** Schmautz Z.; Graber A.; Mathis A.; Bulc T. G.; Junge R. Tomato Production In Aquaponic System: Mass Balance And Nutrient Recycling. *Aquac. Eur.* 2015. P. 15. **4.** Rafiee G.; Saad C. R. Nutrient Cycle and Sludge Production during Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis Sp.*) Growth in a Recirculating Aquaculture System. *Aquaculture.* 2005. Vol. 244. Pp. 109–118. **5.** Rakocy J. E. Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. *In Aquaculture Production Systems.* Wiley-Blackwell : Hoboken, NJ, USA, 2012. Pp. 344–386. **6.** Roosta H. R. Effects of Foliar Spray of K on Mint, Radish, Parsley and Coriander Plants in Aquaponic System. *J. Plant Nutr.* 2014. Vol. 37. Pp. 2236–2254. **7.** Day J. A.; Diener C.; Otwell A. E.; Tams K. E.; Bebout B.; Detweiler A. M.; Lee M. D.; Scott M. T.; Ta W.; Ha M. et al. Lettuce (*Lactuca Sativa*) Productivity Influenced by Microbial Inocula under Nitrogen-Limited Conditions in Aquaponics. *PLoS ONE*, 2021. P. 16. **8.** Tyson R. V.; Simonne E. H.; White J. M.; Lamb E. M. Reconciling Water Quality Parameters Impacting Nitrification in Aquaponics: The PH Levels. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 2004. Vol. 117. Pp. 79–83. **9.** Oliveira F. D. A. D.; Carrilho M. J. S.d. O.; de Medeiros J. F.; Maracajá P. B.; Oliveira M. K. T. De Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agrícola Ambient.* 2011. Vol. 15. Pp. 771–777. **10.** Wongkiew S.; Hu Z.; Chandran K.; Lee J. W.; Khanal S. K. Nitrogen Transformations in Aquaponic Systems: A Review. *Aquac. Eng.* 2017. Vol. 76. Pp. 9–19. **11.** Chu Y.-T.; Bao Y.; Huang J.-Y.; Kim H.-J.; Brown P. B. Supplemental C Addressed the PH Conundrum in Sustainable Marine Aquaponic Food Production Systems. *Foods.* 2023. Vol. 12. P. 69. **12.** Tan Z.; Guan Y.; Luo Y.; Wang L.; Zhou H.; Yang C.; Meng D.; Chen Y. Evaluation of the Stability of Shortcut Nitrification-Denitrification Process Based on Online Specific Oxygen Uptake Rate Monitoring. *Chin. Chem. Lett.* 2022. **13.** Wongkiew S.; Park M.-R.; Chandran K.; Khanal S. K. Aquaponic Systems for Sustainable Resource Recovery: Linking Nitrogen Transformations to Microbial Communities. *Environ. Sci. Technol.* 2018. P. 52. **14.** Zhang Q.; Li Y.; He Y.; Brookes P. C.; Xu J. Elevated

Temperature Increased Nitrification Activity by Stimulating AOB Growth and Activity in an Acidic Paddy Soil. *Plant Soil*. 2019. Vol. 445. Pp. 71–83. **15.** Zou Y.; Hu Z.; Zhang J.; Xie H.; Guimbaud C.; Fang Y. Effects of PH on Nitrogen Transformations in Media-Based Aquaponics. *Bioresour. Technol.* 2016. Vol. 210. Pp. 81–87.

REFERENCES:

1. Suhl J.; Dannehl D.; Kloas W.; Baganz D.; Jobs S.; Scheibe G.; Schmidt U. Advanced Aquaponics: Evaluation of Intensive Tomato Production in Aquaponics vs. Conventional Hydroponics. *Agric. Water Manag.* 2016. Vol. 178. Pp. 335–344. **2.** Yang T.; Kim H.-J. Nutrient Management Regime Affects Water Quality, Crop Growth, and Nitrogen Use Efficiency of Aquaponic Systems. *Sci. Hortic.* 2019. P. 25. **3.** Schmautz Z.; Graber A.; Mathis A.; Bulc T. G.; Junge R. Tomato Production In Aquaponic System: Mass Balance And Nutrient Recycling. *Aquac. Eur.* 2015. P. 15. **4.** Rafiee G.; Saad C. R. Nutrient Cycle and Sludge Production during Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis Sp.*) Growth in a Recirculating Aquaculture System. *Aquaculture*. 2005. Vol. 244. Pp. 109–118. **5.** Rakocy J. E. Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. *In Aquaculture Production Systems*. Wiley-Blackwell : Hoboken, NJ, USA, 2012. Pp. 344–386. **6.** Roosta H. R. Effects of Foliar Spray of K on Mint, Radish, Parsley and Coriander Plants in Aquaponic System. *J. Plant Nutr.* 2014. Vol. 37. Pp. 2236–2254. **7.** Day J. A.; Diener C.; Otwell A. E.; Tams K. E.; Bebout B.; Detweiler A. M.; Lee M. D.; Scott M. T.; Ta W.; Ha M. et al. Lettuce (*Lactuca Sativa*) Productivity Influenced by Microbial Inocula under Nitrogen-Limited Conditions in Aquaponics. *PLoS ONE*, 2021. P. 16. **8.** Tyson R. V.; Simonne E. H.; White J. M.; Lamb E. M. Reconciling Water Quality Parameters Impacting Nitrification in Aquaponics: The PH Levels. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 2004. Vol. 117. Pp. 79–83. **9.** Oliveira F. D. A. D.; Carrilho M. J. S.d. O.; de Medeiros J. F.; Maracajá P. B.; Oliveira M. K. T. De Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agrícola Ambient.* 2011. Vol. 15. Pp. 771–777. **10.** Wongkiew S.; Hu Z.; Chandran K.; Lee J. W.; Khanal S. K. Nitrogen Transformations in Aquaponic Systems: A Review. *Aquac. Eng.* 2017. Vol. 76. Pp. 9–19. **11.** Chu Y.-T.; Bao Y.; Huang J.-Y.; Kim H.-J.; Brown P. B. Supplemental C Addressed the PH Conundrum in Sustainable Marine Aquaponic Food Production Systems. *Foods*. 2023. Vol. 12. P. 69. **12.** Tan Z.; Guan Y.; Luo Y.; Wang L.; Zhou H.; Yang C.; Meng D.; Chen Y. Evaluation of the Stability of Shortcut Nitrification-Denitrification Process Based on Online Specific Oxygen Uptake Rate Monitoring. *Chin. Chem. Lett.* 2022. **13.** Wongkiew S.; Park M.-R.; Chandran K.; Khanal S. K. Aquaponic Systems for Sustainable Resource Recovery: Linking Nitrogen Transformations to Microbial Communities. *Environ. Sci.*

Technol. 2018. P. 52. **14.** Zhang Q.; Li Y.; He Y.; Brookes P. C.; Xu J. Elevated Temperature Increased Nitrification Activity by Stimulating AOB Growth and Activity in an Acidic Paddy Soil. *Plant Soil.* 2019. Vol. 445. Pp. 71–83. **15.** Zou Y.; Hu Z.; Zhang J.; Xie H.; Guimbaud C.; Fang Y. Effects of PH on Nitrogen Transformations in Media-Based Aquaponics. *Bioresour. Technol.* 2016. Vol. 210. Pp. 81–87.

Kolesnyk T. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D), Associate Professor, Maiboroda K. A., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

INFLUENCE OF pH ON THE YIELD OF PLANTS IN AQUAPONIC SYSTEMS

An important aspect of aquaponic systems is the balance between fish, microorganisms and plants, which is ensured by optimal environmental conditions, in particular the pH level. The authors note that fish in such systems release a large amount of nitrogen waste, which after nitrification becomes available for absorption by plants. However, the increased content of ammonium (NH₄⁺) that occurs at high pH levels can be toxic to plants and negatively affect yield.

Research was conducted on an aquaponic system with catfish clary and *Lactuca sativa* Batavia Aficion lettuce. Plants were grown at two pH levels (6.5 and 7.0), which made it possible to compare their growth, biomass accumulation, and chemical composition. The results showed that lowering the pH to 6.5 helps to increase the yield of lettuce: fresh shoot biomass by 277.9 g at pH 6.5 compared to 270.9 g at pH 7.0. The weight of dry biomass at pH 6.5 is also higher than at pH 7.0. It was observed that decreasing the pH also affects the concentration of trace elements, in particular, the accumulation of manganese increased at pH 6.5, while the zinc content was higher at pH 7.0.

In addition to the study of plant indicators, the effect of pH on nitrification was analyzed – the process of converting ammonium into nitrates, which is an important element in supplying plants with nitrogen. Studies have shown that at a pH below 6.5, the activity of nitrifying bacteria decreases, which can lead to ammonium accumulation in the water and toxic conditions for fish. To maintain the balance between nitrification and plant productivity, it is

recommended to maintain a pH level of about 6.5–7.0, which provides optimal conditions for the development of both plants and microorganisms.

Lowering the pH to 6.5 helps to increase lettuce biomass and improve nutrient absorption, while increased pH can negatively affect the availability of important elements and reduce the efficiency of nitrogen metabolism. The results of this research have important practical significance for optimizing the conditions for growing plants in aquaponic systems, which will increase their yield and stability.

***Keywords:* aquaponics; pH; nitrification; yield; nutrients; nitrogen; lettuce (*Lactuca sativa*).**

Куліджанов Е. В., к.с.-г.н., доцент, директор, <https://orcid.org/0000-0003-2808-0199> (Південний міжрегіональний центр ДУ «Держґрунтохорона», м. Одеса, first144@ukr.net),
Мартиненко В. М., к.с.-г.н., <https://orcid.org/0009-0002-5836-3173>

ТЕХНОЛОГІЧНІ НЕДОЛІКИ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ЩОДО ОХОРОНИ ҐРУНТІВ В УКРАЇНІ

Актуальність роботи зумовлена відсутністю самостійного ґрунтозахисного законодавства в Україні, низькою якістю наявних законодавчих норм та методик, які входять до складу земельної та землевпорядної нормативної бази. Метою роботи стала агротехнологічна оцінка положень нормативної та методичної бази щодо охорони ґрунтів, яка є частиною земельного законодавства та підзаконних актів із землевпорядної діяльності. Методологія дослідження полягала у співставленні змісту законодавчих норм щодо охорони ґрунтів із реальними потребами у формулюваннях, повноваженнях, суб'єктності цієї діяльності. Шляхом цього співставлення було оцінено можливі наслідки прийняття деяких законів. Крім того, затверджені центральними органами виконавчої влади методичні норми оцінено з погляду відповідності загальновідомим нормам із ґрунтознавства та агротехнологій. Практично усі законодавчі норми щодо охорони ґрунтів в Україні входять до складу земельного законодавства. Законотворча діяльність щодо охорони ґрунтів виявилася нечіткою, непослідовною та недоопрацьованою. У законодавчій базі фактично відсутня ДУ «Держґрунтохорона» як фаховий виконавець робіт із моніторингу стану ґрунтів, проте цю роботу доручено структурі з іншою фаховою спрямованістю, а саме – Держгеокадастру. Відміна обов'язковості агрохімпаспортизації державних земель перед передачею їх в оренду позбавляє державу можливості вимагати фіксацію стану ґрунтів і, таким чином, захистити державні інтереси. Роботи із поліпшення стану ґрунтів необґрунтовано вважаються проєктами землеустрою (робочими). Їх основний зміст – агротехнології, тобто загальна агрономія, агрохімія, рослинництво, садівництво та виноградарство.

Перелік агровиробничих груп ґрунтів є неповним, у переліку особливо цінних груп ґрунтів відсутні критерії цінності. Оцінка фахової наповненості зазначених питань свідчить про те, що саме Мінагрополітики у зв'язці із фахівцями Національної академії аграрних наук України та фахівцями-освітянами повинні працювати над формуванням нормативної бази щодо охорони ґрунтів. Практична цінність роботи полягає в сформульованому висновку про необхідність створення фахового ґрунтозахисного законодавства та визначенні головних принципів формування такого законодавства.

Ключові слова: земля; ґрунтозахисне законодавство; агротехнології; робочі проєкти землеустрою; перелік агровиробничих груп ґрунтів.

Постановка проблеми. Збереження ґрунтів та їх родючості, досягнення нейтрального рівня деградації ґрунтів потребують єдиної системи заходів у законодавчій сфері, відпрацювання взаємодії суміжних служб. Фундаментальною проблемою охорони ґрунтів в Україні є той факт, що питання охорони ґрунтів є частиною земельного, тобто непрофільного, законодавства. Прямим негативним наслідком та, одночасно, частиною проблеми є ототожнювання понять «землі» та «ґрунту» у законодавстві – явно, та за змістом. Ґрунт – засіб виробництва у рослинництві, а також речовинне середовище для рослин, місце зосередження вологи, джерело поживних речовин. Натомість, земля є двомірним об'єктом, вона не має властивостей речовини та, відповідно, може бути не матеріальною базою сільськогосподарського виробництва, але є його просторовою базою. З огляду на це, поняття «охорона земель та ґрунтів», або «охорона земель» у значенні «охорона ґрунтів», є внутрішньо суперечливими та такими, що не мають природного змісту. Разом із тим, нормативна база щодо «охорони земель та ґрунтів» містить певні агротехнологічні, агрохімічні та ґрунтознавчі положення. Для всебічної оцінки якості законодавчих та інших норм щодо охорони ґрунтів, доречним є оцінка згаданих норм з погляду їх фахової спроможності, їх затребуваності та ефективності у сільськогосподарському виробництві.

Ототожнювання понять «ґрунт» та «земля» є серйозною багатовекторною проблемою із негативними наслідками для

держави та суспільства. Ґрунти сільськогосподарських угідь є екологічним об'єктом та одночасно засобом сільськогосподарського виробництва. Проте, норми з охорони ґрунтів включено до земельного законодавства. Наслідки таких понятійних неточностей практично не аналізуються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фахову літературу, у якій охорона ґрунтів ототожнюється із охороною земель, можна поділити на три категорії:

- правове регулювання (Укази Президента, кодекси та закони, постанови КМУ, регуляторні акти ЦОВВ);

- методики, класифікації та інші керівні документи щодо польових, камеральних та проектно-розрахункових робіт;

- наукові публікації.

Нагальним завданням сьогодення є аналіз ситуації, що склалася у сфері охорони ґрунтів через відсутність самостійної законодавчої бази та через наявні нормативні положення. В роботах [5; 6] нами вже було проаналізовано деякі термінологічні та законодавчі колізії, пов'язані із станом сьогоднішньої нормативної бази щодо охорони ґрунтів. Якщо наявна ситуація із ототожнюванням понять «ґрунт» та «земля» є пережитком минулого [5; 6], то нові ініціативи, які консервують це становище або погіршують його, є викривленням природного стану речей. Так, в Указі Президента України, № 111/2021 [23] замість «деградація ґрунтів» вказано «деградація земель». Для того, щоб положення чинної нормативної бази не ототожнювали землю та ґрунт, необхідно виключити відповідні формулювання із нормативних актів.

Підзаконні акти, методики та наукові публікації з охорони «земель та ґрунтів» за визначенням мають нести у собі усі недоліки законодавчої бази. Окрім того, затверджені методики та класифікації є керівними документами щодо проектно-виробничої діяльності. Наукові публікації в цьому напрямку могли б бути базою для нових регуляторних або методичних документів. Зазначений спектр документів, таким чином, несе в собі певну агротехнологічну або екологічну складову як тільки постають питання щодо ґрунту, який є конкретним фізичним об'єктом. Проте агротехнологічну ефективність такої документації на сьогоднішній день практично не проаналізовано. Наукові публікації могли б бути місцем для дискусій щодо неприпустимості ототожнювання понять «ґрунт» та «земля»,

щодо неспівставності природи двовимірної «землі» та фізичного тіла, речовинного об'єкта – ґрунту.

Крім того, автори поставили собі за мету відстежити, як озвучені вже недоліки законодавчої бази відображаються у науковій літературі. Завданням дослідження було виявлення наявності критики зазначених вище проблем або пропозицій щодо виправлення ситуації. Нами було невибірково обрано кілька наукових робіт, в яких обговорювалося ставлення науковців до змішування понять «ґрунт-земля» та агротехнологічної оцінки окремих положень, які є дотичними до рослинництва, економіки або управління сільськогосподарським підприємства

Станом на 2024 рік у науковій літературі практично відсутні роботи, присвячені необхідності розробки самостійного законодавства щодо охорони ґрунтів. Отже, стає актуальним аналіз літератури з тематики з погляду агротехнологій, а також ставлення до плутанини понять у науковому середовищі у землевпорядній сфері.

Метою роботи став аналіз існуючої нормативної бази з охорони ґрунтів з погляду відповідності дотичним питанням в рослинництві. Завданням дослідження було проаналізувати те, наскільки нормативна документація щодо охорони ґрунтів, яка є частиною земельного законодавства, відповідає реаліям технологічного процесу та правилам загальної та спеціальної агрономії, яка є практичним та повсякденним інструментом підтримання родючості. Було зроблено спробу проаналізувати корисність та можливість ефективно застосовувати норми з охорони «земель – ґрунтів» в агротехнологіях.

Матеріали та методи дослідження. Основою проведеного дослідження стали такі методи як монографічний та абстрактно-логічний. Роботу було проведено у вигляді аналізу наявних законодавчих норм, підзаконних актів, на предмет їхньої відповідності до технологічних регламентів, реального стану речей, можливостей виробництва. При цьому земельне законодавство, землевпорядні підзаконні акти та методики у частині охорони ґрунтів, безпосередньо регламентують певні технологічні процеси у рослинництві, а саме: впровадження сівозмін, зокрема структуру посівних площ; докорінне поліпшення ґрунтів; зняття та перенесення родючого шару ґрунту.

У статті проаналізовано за змістом сутність заходів із відтворення та підвищення родючості ґрунтів, які (заходи) позиціонуються як землевпорядні. Окрім того, земельне законодавство містить положення щодо класифікації ґрунтів, в тому числі вводить поняття «особливо цінні ґрунти». За допомогою термінологічного та порівняльного аналізу було проведено оцінку того, наскільки повно складено зазначену класифікацію, з урахуванням властивостей ґрунтів сільськогосподарських угідь.

Виклад основного матеріалу

Аналіз переліку агровиробничих груп ґрунтів. Вивчення Постанови Кабінету Міністрів України № 1051, 2012 [18] дозволяє стверджувати, що в ньому майже повністю відсутні плантажовані ґрунти. Фактично наявна тільки одна група – 117 (темно-каштанові та каштанові плантажовані). Загалом візуально плантажовані ґрунти у профілі мають різкий безградієнтний перехід між горизонтом Н, та Rh або Р. Такий профіль утворюється, коли глибина оранки сягає горизонтів Rh або Р. На чорноземах до цього призводить плантажна оранка (45–80 см), але те саме може статися за звичайної оранки на 30–40 см і на ґрунтах півночі, сірих лісових та дерново-підзолистих (рис. 1). Фахівцям, які готували цей перелік, не було відомо про те, що плантажованими можуть стати чорноземи південні, особливо різного ступеня змитості. Вочевидь, в авторів цього переліку була інформація тільки про деякі ґрунти деяких садів або виноградників Херсонщини і це, скоріше, власний досвід, ніж елемент стандартної фахової компетенції, проте це є елементом фахової компетенції агронома. Разом із тим, агрономам, особливо з багаторічних культур, відомо, що плантаж є необхідним технологічним етапом перед садінням садів, виноградників та ягідників у різних кліматичних зонах України. Отже, ознака плантажованості може бути виявленою (і виявляється) у багатьох типів ґрунтів, проте, вказати шифр у таких випадках буде неможливо.

Ще один недолік переліку агрогруп – наявність ґрунтів групи 212 (без гумусного шару) та 220 (зольники) [18]. Ці ґрунти практично непридатні для аграрного виробництва, як і «важка» частина 215 групи, та 216 група. Тобто вважати такі ґрунти агровиробничими та включати їх до переліку не є доцільним. Загалом можна сказати, що окрім можливих зауважень з погляду ґрунтознавства, із переліку агрогруп, за формальною назвою, випадають майже усі ґрунти,

профіль яких змінився через оранку. Це велика площа садів, ягідників та виноградників, розсадників, під овочами, а також короткопрофільні ґрунти із приораним горизонтом Ph. При цьому земельна служба вимагає вказувати у документації шифр агрогрупи, незважаючи на відсутність відповідних позицій у переліку агрогруп. На практиці іноді доводиться розглядати такі ґрунти, як зональні.



Рисунок. Будова профілю після оранки чорноземів південних середньозмитих на глибину 35–40 см (Ізмаїльський р-н, Одеська область)
Джерело: архів автора

Тобто, з погляду агрономії, ґрунтознавства та систематизації ґрунтів, що використовуються у сільськогосподарському виробництві, номенклатурний список агрогруп має серйозні недоліки, не охоплює великі площі із ґрунтами, що мають будову, яка була суттєво змінена оранкою. Проте фахівці – представники МАП та профільні науковці могли б створити відповідний перелік із урахуванням потреб та досвіду с.-г. виробництва. Орієнтовна площа ділянок із вказаним ґрунтами – від сотень тисяч до мільйонів гектарів.

Аналіз переліку особливо цінних груп ґрунтів. Незважаючи на

очевидність поняття «особливо цінні ґрунти», використаному у [16], практично немає критеріїв, за якими можна було б визначити їх цінність. Є певні визначення, але без конкретних критеріїв. Так, Ришкова Л. В. [21] під особливо цінними землями пропонує розуміти сукупність земельних ділянок, що входять до різних категорій земель, задовольняють публічний інтерес та підлягають підвищеній охороні, зокрема вилученню (викупу), зміні цільового призначення в особливому порядку, визначеному законом України. Але тут, окрім суто агротехнологічних, виникають суто логічні зауваження. Поняття «цінні ґрунти» та «цінні землі» ототожнюються постійно, використовуються як синоніми для уникнення тавтології в тексті. Слід зазначити, що таке явище притаманне усій землевпорядній літературі в частині охорони ґрунтів – законодавчій, методичній, науковій [5; 6]. Ототожнювання простору та фізичного тіла є засобом прив'язки до проблеми охорони ґрунтів відомства, яке має іншу фахову спеціалізацію (Держгеокадастр).

Так, наприклад, автори «переліку особливо цінних груп ґрунтів» без зауважень цитують, що до «особливо цінних **земель** належать: ...у складі земель сільськогосподарського призначення: чорноземи нееродовані несолонцюваті на лесових породах; лучно-чорноземні незасолені несолонцюваті суглинкові **ґрунти**; темно-сірі опідзолені ґрунти та чорноземи опідзолені на лесах і глеюваті; бурі гірсько-лісові та дерново-буроземні глибокі і середньо глибокі **ґрунти**; дерново-підзолисті суглинкові **ґрунти**; коричневі **ґрунти** Південного узбережжя Криму, дернові глибокі **ґрунти** Закарпаття; ...торфовища з глибиною залягання торфу більше одного метра й осушені незалежно від глибини» [16]. Тобто до переліку **земель** входять **ґрунти**, разом з цим ґрунти чорноземи позиціонуються як землі сільськогосподарського призначення. Далі, в одному рядку із ґрунтами, вже йде дійсно перелік певних земельних ділянок: «...землі, надані в постійне користування НВАО «Масандра» та підприємствам, що входять до його складу; землі дослідних полів науково-дослідних установ і навчальних закладів; землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення, землі історико-культурного призначення».

Це є типовою ситуацією для українського законодавства, а зауваження щодо неприпустимості ототожнювання двовимірного простору та фізичного тіла, тобто речовинного об'єкта, є вкрай

рідкісними в науковій літературі. Як зазначає Канаш О. П. [3], поняттю «особливо цінних» ґрунтів притаманна певна відносність (порівняно з чим і на якій території зафіксована ця особлива цінність). Так чи інакше, критеріїв цінності ґрунтів, станом на 2024 рік, не сформовано, окрім обмежень у вигляді солонцюватості, засоленості або осолоділості. Якщо солонцюватість та солоність можна вважати фактором, що знижує цінність ґрунту, то розуміння осолоділості як фактор зниження цінності ґрунту є сумнівним.

Поза тим, поводження з ґрунтами інших таксонів потребує суттєвих обмежень заради їх збереження (солоді, лучні та лучно-чорноземні), яких (обмежень) наразі немає. І це вже серйозна вада не з погляду рослинництва, а ґрунтознавства. Таких сформульованих обмежень немає, як немає й відповідальності за розорювання таких ґрунтів. Також немає відповідальності для органів державної або місцевої влади, які дозволяють розорювати ерозійно небезпечні ділянки, сіножаті та пасовища.

Отже, система класифікації ґрунтів, яка існує в землевпорядній документації, має низку критичних недоліків: термінологічна заплутаність; радикально недосконалий перелік агрогруп ґрунтів; невизначені критерії цінності ґрунтів: необґрунтоване невключення певних ґрунтів до переліку цінних; відсутність реальних заходів із захисту реліктових та екзотичних ґрунтів, у т.ч. відсутність прямої заборони на їх розорювання; відсутність відповідальності за розорювання таких ґрунтів.

Проекти землеустрою, що забезпечують еколого-економічне обґрунтування сівозмін та впорядкування угідь (далі – проекти сівозмін). Базовою проблемою таких проектів є обґрунтування їх доцільності. Обов'язковість проектів сівозмін було введено у законодавчій нормі, яка називається Закон України № 1443-VI «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо збереження родючості ґрунтів» (2009) [7]. Суто виробниче питання, яке вирішується спеціалістами господарства без додаткових фінансових витрат за декілька годин залежно від обсягу робіт, подається законодавцем як практика, що потребує державного втручання та, відповідно, додаткових витрат від виробника. Обов'язковість сівозмін у такому вигляді, який викладено в [7], можна вважати спробою прирівняти рослинництво до землевпорядкування, тобто зробити сівозміну землевпорядним проектом. Те, що у вигляді землевпорядного

проєкту робилося протягом місяця по 35 грн за 1 га, агроном у господарстві може зробити протягом 1–2 годин в межах встановленої зарплатні. При цьому викликає питання необов'язковості головних вихідних даних, а саме – результатів ґрунтових та агрохімічних досліджень. Тобто питання актуального стану ґрунтів, заради якого була прийнята законодавча норма, не є актуальним при розробці «ґрунтозахисного» проєкту. Необхідно зазначити, що ґрунтові карти, які вже були на той час юридично двічі застарілими (тобто старіше 40 років), згідно з ст. 37 [9], втім вважалися на практиці прийнятною заміною агрохімпаспорту.

Отже, проєкти сівозмін не спромоглися посприяти вирішенню базового питання – забезпечити своєчасний та всеохоплюючий моніторинг ґрунтів. Таким чином, ідея проєктів сівозмін не є ґрунтозахисною, зокрема, зважаючи на те, з яких даних починається планування ґрунтозахисних заходів. За відсутності інформації про реальний стан ґрунту можливо лише надати узагальнені рекомендації, процитувати довідники та надати інші формалізовані рекомендації, в яких господарство, зазвичай, не має нагальної потреби. Принаймні не збиралося б за це платити.

З юридичного погляду – якщо проєкт вже існує, він має виконуватися. Тоді у товаровиробника можуть виникнути проблеми у разі зміни структури посівних площ, загибелі посівів, змін у складі орендодавців. Перехід до інших культур, в тому числі нішевих, перехід на іншу сівозміну (зернова замість кормової або навпаки) за таких обставин стає неможливою без додаткових витрат на формальне коригування проєкту. А якщо зважити на те, що зміни мають бути практично тільки такими, якими їх бачить землекористувач, то виходить, що створена господарством сівозміна має бути просто обгорнутою в обкладинку землевпорядного проєкту. При чому, сільгосптоваровиробник ще має за це заплатити.

Виробничий досвід без «проєктів сівозмін» показує, що це не обґрунтована практика, яка просто дублює технологічні питання у незручному для господарств вигляді. З іншого боку, з вказаних «проєктів» випали певні сівозміни – овочеві, розсадників, садів, ягідників, виноградників, карантинні, насінневих господарств тощо. Така обмеженість переліку проєктів сівозмін свідчить про фахову необізнаність розробників методичної документації – як законів та підзаконних актів, так і методичної літератури. Отже, проблема

полягає в тому, що ідеєю «проектів сівозмін» займалися не ті, хто є фахівцями-технологами у цьому питанні. Ще один кричущий недолік закону який ввів обов'язковість проектів сівозмін полягає у тому, що не було зроблено обов'язковим контроль цього стану після реалізації проекту. Також відсутня відповідальність за непроходження агрохімпаспортизації. Проте, контроль над впровадженням сівозмін та їх дотриманням – це важлива функція держави, яку мають виконувати профільні структури – управління агропромислового розвитку на місцях та, за необхідності, екологічна служба.

Аналіз правил розроблення робочих проектів землеустрою. Вирішення деяких земельних питань сільгосп підприємств (оренда, власність, розміщення культур, сівозміни) є буденними обов'язками фахівців господарства – юристів, агрономів, керівництва. До того ж, такі щоденні ситуації потребують глибоких професійних знань та знань специфіки підприємства, яких просто не повинно бути у спеціаліста-землевпорядника. Отже, зазначені питання не повинні вирішуватися у форматі проекту. З іншого боку, такі питання, як зміна конфігурації полів в межах одного орендаря через зміну кількості орендованих паїв – це питання також не земельпорядне, а геодезичне, наприклад як у будівництві, гірничій справі тощо.

Проекти поліпшення земель передбачають розробку сівозмін, вибір культур, розрахунки норм добрив. Це суто технологічні розрахунки, які є елементом агротехнологій і не мають відношення до земельпорядної діяльності. Проект складається на роки, а розрахунки із внесення добрив робляться на майбутній сезон із урахуванням умов минулого року. Отже, «багаторічні» розрахунки щодо добрив не мають технологічного сенсу, адже агроном самостійно може знайти необхідну літературу за фахом. Загальна проблема полягає не в точності розрахунків, а в практичній недоцільності таких розрахунків та таких проектів.

З погляду комерції, ототожнювання понять «поліпшення земель» та «поліпшення ґрунтів» негативно відбивається на поліпшенні ґрунтів. Знову ж таки із практики подібних програм, створених відповідно до Правил розроблення робочих проектів землеустрою [20] відомо, як поліпшення ґрунтів термінологічно прирівнюється до поліпшення земель, а поліпшення земель перетворюється, наприклад, на уточнення меж населених пунктів. Така термінологічна заплутаність призводить до того, що під час

«поліпшення земель» не відбувається, і не може відбуватися, поліпшення ґрунтів.

З іншого боку, земля – це двовимірна площина, яка не має вишини – глибини – товщини. Вона не має властивостей фізичного тіла або речовини, в тому числі не має родючості. Родючість – це властивість об'єкта, тобто ґрунту. Відповідно, земля не може деградувати та поліпшуватися в агрономічному або ґрунтознавчому сенсі. Таким чином, проєкти поліпшення ґрунтів не повинні називатися проєктами із поліпшення земель. Поліпшення ґрунтів є елементом повсякденної роботи агронома, без додаткових проєктів, але із відповідальним ставленням до ґрунту та відповідними технологічними витратами, тобто поліпшення повинно починатися із підтримання родючості. В цьому питанні немає якихось особливих секретів – обґрунтовані обсяги добрив, сівозміни, сидерація. Для застосування цих інструментів немає потреби у землевпорядній документації, потрібна технокарта і певна вихідна інформація щодо актуального стану ґрунтів.

У розділі III Правил [20] «Робочі проєкти землеустрою щодо зняття та перенесення родючого шару ґрунту» вказано параметри, за яких зняття та нанесення є ще можливим, а саме: «... масова частка гумусу в нижній межі родючого шару ґрунту, що знімається, становить для зон... Степова посушлива – не менш як 1 відсоток; Сухостепова – не менш як 1 відсоток; ...масова частка обмінного натрію (у відсотках ємності катіонного обміну) становить: у слабо- і середньосолонцюватих різновидах зональних і гідроморфних ґрунтів зон Лісостепу та Степу – до 15; на слабо- і середньосолонцюватих різновидах малогумусних південних чорноземів, бурих, каштанових ґрунтів і сіроземів, а також гідроморфних, напівгідроморфних ґрунтів Степової посушливої та Сухостепової зон – до 10» [20]. Суглинкові ґрунти із таким вмістом гумусу та рівнем солонцюватості є досить несприятливими для сільськогосподарських культур, можуть спричинити погіршення стану ґрунту на ділянці землювання. Можливо, для ґрунтів легкого механічного складу така вимога була б доречною, але це питання навіть не обговорювалося в експертному середовищі, зокрема в ДУ «Держґрунтохорона».

Проєкти захисту ґрунтів від ерозії. Заходи захисту ґрунтів від ерозії є відомими – впровадження ґрунтозахисних сівозмін, створення пасовищ та перелогів. Захист від заболочування

досягається дренажем, що також не є землевпорядним питанням, як і захист ґрунтів від висушування – все це є завданнями агронома. Для цього необхідні знання з агротехнологій, та техніка, яка сприяє збереженню вологи, лісосмуги, інші засоби покращення мікроклімату. Такі заходи є відомими та і не потребують землевпорядного проектування. В той же час, спостерігається негативна тенденція збільшення розораності територій [22], якій можна було б запобігти законодавчо, та цього, на жаль, не сталося.

Не сприяла якісним змінам в організації моніторингу та захисту ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення і зміни до законодавства 2021 року, які, замість того, щоб зробити агрохімпаспортизацію обов'язковою, фактично відмінили її на землях комунальної та державної власності. Статтю 14 Закону України № 1423-IX (2021) [8] оголошено необов'язковою агрохімпаспортизацію ділянок, що виставляються на орендні аукціони. При цьому, Указ Президента України № 1118/95 «Про суцільну агрохімічну паспортизацію земель сільськогосподарського призначення» [23] залишається в силі.

Як наслідок – через відсутність даних на площах, що постраждали від військових дій, зараз немає фактичних відправних параметрів для обрахування шкоди. Це може негативно вплинути на юридичну позицію держави в обрахуванні майбутніх репарацій, бо через відсутність попередніх показників важко обрахувати деякі параметри заподіяної шкоди, насамперед рівень забруднення. В роботах, присвячених, захисту земель, ми не бачимо оцінки шкоди від цього закону [22].

За відсутності даних з агрохімпаспортизації, коли не зафіксовано стан ґрунту перед передачею земельної ділянки в оренду, а відтак – об'єктивно оцінити вплив діяльності товаровиробника на стан ґрунту у майбутньому. Разом з цим, стає неможливим оцінити вплив військових дій на погіршення стану ґрунтів. Ухвалення Закону України № 1423-IX (2021) [8] слід вважати свідомою перешкодою для захисту інтересів держави у питаннях збереження родючості ґрунтів на ділянках сільськогосподарського призначення, що відкриває шлях до зниження показників родючості. Це, в свою чергу, дозволить приховувати можливе погіршення стану ґрунтів, а опосередковано й обсяги виробництва продукції.

Залишки земель комунальної власності – це, зазвичай, найгірші ділянки, які ще можна було б обробляти. Проте, землі підприємств Національної академії аграрних наук – це поля із найкращими ґрунтами серед навколишніх господарств, великі консолідовані масиви, до сотень гектарів на один кадастровий номер. Фіксація стану таких ґрунтів є необхідною для запобігання їх виснаження, яке є реальним еколого-виробничим ризиком, з яким треба рахуватися та який треба негайно усунути. Як наслідок, сталися випадки передачі в користування великих масивів сільськогосподарських земель приватним структурам із подальшими кримінальними провадженнями [24] проти осіб, причетних до можливо незаконної передачі, та одночасно – і до прийняття Закону України № 1423-IX (2021) [8]. Поза тим, до ухвалення цього закону перехід права власності або користування без агрохімпаспортизації був порушенням процедури. Відповідно, якщо новий землекористувач не зафіксував стан ґрунту перед отриманням права користування, існувала юридична можливість повернути землю під юрисдикцію держави через зазначені порушення. Відповідно до [8] задіяти такий юридичний механізм неможливо, через обов'язковість паспортизації перед передачею державних земель у користування. Ця негативна подія (прийняття вищезазначеного закону) не знайшла відповідної оцінки в науковій літературі, в той час як станом на другу половину 2024 року готувалась передача в оренду державних земель без фіксації стану ґрунтів на полях, що передаватимуться.

Слід зазначити, що робота на виснаження ґрунту є досить вигідною з погляду економії на добривах, дозволяє отримати прибуток за рахунок майбутніх поколінь. Таким землекористувачам дуже заважає система моніторингу ґрунтів, частиною якої є ДУ «Держґрунтохорона» [17]. Сучасні технології дозволяють виснажувати валові запаси фосфору, калію, а також стабільного гумусу – як джерела азоту. Для подолання наслідків таких дій потрібна, перш за все, оцінка стану ґрунту та відомі кожному агроному агротехнічні розрахунки та заходи.

Згідно з фактичною практикою землевпорядної діяльності, земельна ділянка – певний контур, сформований згідно до загальноприйнятої системи координат, та проєкція цього контуру на певній частині планети (території держави), незалежно від об'єктів, що на ній розташовані та які не є частиною цього контуру. Але для

ґрунтів робиться виключення, ґрунт ототожнюється із ділянкою. Є також ототожнення понять «земля» та «тверда поверхня», але воно є умовним, тільки для зручності в спілкуванні [6; 12].

Термінологічна плутанина у наукових публікаціях

Типовим прикладом ситуації можна назвати роботи Дорош А. С., Дорош А. Ю., 2023 [1]; Дорош Ю. М. та ін., 2024 [2], в яких автори використовують терміни «пошкоджені землі», «рекультивация земель» при обговоренні технологічних питань в агрономії та тваринництві. Використання й охорона земель та перелік технологічних, планових та інших завдань є, з одного боку, прерогативою спеціалістів господарства; з іншого боку, структура площ коливається в умовах ринку, і проєкт стає завідомо непрацюючим, хоча йдеться про пошкодження та деградацію ґрунтів. Також і в роботах інших авторів Кошель А., Колганової І., 2022 [4] йдеться про «порушені землі», рекультивацию земель, хоча порушеними є ґрунти, рекультивация має стосуватися саме ґрунтів. В роботах Малашевської О. А. і Малашевського М. А., 2023 [13], присвячених забрудненню ґрунтів також йдеться про охорону і деградацію земель; рослинництво вказується як землекористування, забруднення ґрунтів та забруднення земель використовуються як синоніми, засмічення території вказується як забруднення. Серед заходів із запобігання забрудненню не вказано агрохімічну паспортизацию як інструмент контролю, а агротехнології (розпорошено та неакцентовано) як інструмент покращення стану ґрунтів. Новаковська І. О., Матвєєва І. В., 2022 [14] розглядають деградацію та забруднення земель в сенсі «ґрунтів», моніторинг земель в сенсі моніторингу ґрунтів, але є положення щодо необхідності поділу цих понять у подальшому. Проте питання охорони ґрунтів пропонується розглядати як землевпорядне.

Підсумовуючи, можна констатувати наступне.

Ґрунт розглядається як природний ресурс, який передається у безкоштовне користування власнику або користувачу земельної ділянки на якій він знаходиться. Ґрунт земельної ділянки залишається власністю держави незалежно від форми власності на простір, тобто на саму земельну ділянку. Ці норми не сформульовано, але вони фактично є керівними на сьогоднішній день [15; 20; 19]. Підтвердженням того, що земельне законодавство не може бути та не є фаховим, профільним, з погляду охорони ґрунтів, можна знайти у

самих нормативних документах, пов'язаних із охороною ґрунтів, а за змістом – із рослинництвом, які містяться у «земельній» нормативній базі.

Хоча певні положення щодо охорони ґрунтів й існують в нормативній базі, через профільну нефаховість суб'єкта законодавчої ініціативи (Держгеокадастр), зазначені норми є нефаховими з погляду агротехнології. Вони містять багато недоліків, що підтверджують брак знань та виробничого досвіду у розробників нормативної бази. Це не є звинуваченням, це просто констатація великих та цілком природних розбіжностей у фаховій підготовці, з одного боку, агрономів та ґрунтознавців, які мали б займатися цими питаннями та, з іншого боку, землевпорядників, які з невідомих причин цим займалися.

Перший і головний недолік нормативної бази – це відсутність відповідальності за виснаження або інше погіршення стану ґрунтів [9]. Разом із тим, за порушення правил землевпорядної діяльності та вимог землеустрою відповідальність передбачено, наприклад, у статтях 52–56 Кодексу України про адміністративні правопорушення [10]. Порушення, пов'язані із ґрунтами, караються, якщо вони стосуються землевпорядного проєктування. Непроходження агрохімпаспортизації, через яку контролюється стан ґрунтів, не карається. Отже, питання охорони ґрунтів є непрофільним для Держгеокадастру.

У нормативній документації, таким чином, проігноровано головні принципи збереження ґрунтів, які полягають у тому, що головним інструментом збереження, підвищення родючості ґрунтів є агротехнології, а головним інструментом контролю стану ґрунтів – агрохімпаспортизація. Питання полягає в тому, щоб сільгосптоваровиробник розумів корисність збереження родючості, не вигідність її зниження та відповідальність за таке зниження. Однак ці норми не було включено до українського законодавства. Питання ставлення до ґрунтів має залежати від можливостей та обов'язків землекористувача, які створює держава. Саме створення таких можливостей (економічне стимулювання) та введення відповідальності за погіршення стану ґрунтів на законодавчому рівні досі не відбулося. Можна припустити, що якби суб'єктом законодавчої ініціативи у цих питаннях було б Міністерство аграрної політики та профільне наукове середовище (вчені-фахівці із агрохімії,

ґрунтознавства та рослинництва), то ситуація була б кращою.

Землевпорядна діяльність в частині охорони ґрунтів має передбачати не агрохімічні аналізи, а дозволи або заборону на використання територій в якості сільськогосподарських угідь. І саме тут міститься фундаментальний недолік суто «земельної» складової в сфері охорони ґрунтів – неприйнятний рівень розораності території України. На цей показник не встановлено ніяких обмежень і, як результат – найвища розораність у Європі та одна з найвищих в світі [22]. Хоча навіть і без таких нормативів, через можливість контролювати передачу сільськогосподарських земельних ділянок в обробіток, Держгеокадастр міг би запобігти такому стану. Окрім того, існує проблема безконтрольного використання земель де розорювання заборонене [11]. З іншого боку, зазначеними питаннями мали б займатися Міністерство аграрної політики України (МАП) та Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (Міндовкілля), але й цього не відбулося.

Агротехнології є фактором безпосереднього впливу на стан ґрунту, і через те вони мають відігравати вирішальну роль у питаннях підтримання та підвищення родючості ґрунтів. Як щоденні, так і спеціальні заходи, що позитивно впливають на ґрунт (внесення добрив, сидерація, впровадження сівозмін тощо), є елементами професійної діяльності та фахової підготовки спеціалістів-агрономів. Тому оцінка положень щодо охорони ґрунтів з погляду агрономії та фундаментального ґрунтознавства вказуватиме на відповідність цих норм реаліям та потребам рослинництва, їх придатності для вирішення задекларованих задач.

Отже, ефективна діяльність з охорони ґрунтів можлива тільки за наявності повноцінного фахового законодавства. Створення необхідної нормативної бази в Україні потрібно починати з самого початку, позаяк базових законів стосовно охорони ґрунтів в українському законодавстві немає [5]. Критична та кричуща технологічна недосконалість норм, що стосуються охорони ґрунтів, свідчить про необхідність вибору фахового суб'єкта законодавчої ініціативи в цьому питанні, яким є ДУ «Держґрунтохорона». Фактично йдеться про виключення норм щодо охорони ґрунтів із земельного законодавства як фахово несумісних. Необхідно повністю розмежувати поняття «ґрунт» та «земля» у законодавстві та підзаконних актах, не використовуючи поняття «земля» як синонім

поняття «ґрунт». Обов'язковим є відокремлення діяльності з охорони земель від охорони ґрунтів із недопущенням дублювання функцій державних органів [6]. Необхідно створити повноцінну методичну базу щодо охорони ґрунтів, без прив'язки до земельних питань, зокрема вивести робочі проєкти, пов'язані із захистом ґрунтів із переліку землевпорядних проєктів, без заборони ліцензіатам-землевпорядникам займатися такими проєктами.

Висновки. Аналіз існуючої нормативної бази щодо охорони ґрунтів свідчить про наявність двох фундаментальних проблем. Перша – те, що питання охорони ґрунтів разом із суб'єктом законодавчої ініціативи є частиною земельного законодавства. Це дезорієнтує самих законодавців, державні органи, та сільськогосподарських товаровиробників. Наявні норми земельного законодавства, що стосуються охорони ґрунтів, здебільшого формалізовані, не мають механізмів реалізації, критично недосконалі з погляду рослинництва (агрохімії) та ґрунтознавства. Друга проблема, яка є наслідком першої – відсутність спеціального та повноцінного ґрунтозахисного законодавства, відокремленого від земельного. Розробником такої нормативної бази мають бути відповідні профільні структури МАП, насамперед ДУ «Держґрунтохорона». Окремі заходи з підвищення родючості ґрунтів – моніторинг, агрохімічні та ґрунтові обстеження, внесення високих доз органіки, запровадження ґрунтозахисних сівозмін тощо, теж за змістом є агротехнологічними заходами, тобто не містять нічого спільного із землевпорядним проєктуванням. Ще одна проблема полягає у тому, що переважна кількість методичних, наукових та законодавчих розробок, які стосуються охорони ґрунтів, є частиною «земельної» нормативної бази. У чинному законодавстві та в публічному дискурсі не вказується про неприпустимість ототожнювання понять «ґрунт» та «земля» та необхідність чіткого розділення цих понять. Навпаки, таке ототожнювання є повсякденною практикою.

У практичній площині можна констатувати суттєві недоліки законодавчих та методичних норм щодо охорони ґрунтів з погляду рослинництва, яке цими нормами регламентується. Захист ґрунтів від деградації, підвищення їх родючості – це завдання, які вирішуються щоденною роботою агронома та контролюються під час відповідного моніторингу, тобто агрохімпаспортизації. Саме агрохімпаспортизація

є одним із головних інструментів державної політики в сфері охорони ґрунтів, проте діюче законодавство не тільки не підтримує обов'язковість агрохімпаспортизації, а й обмежує цю процедуру, що суттєво шкодить інтересам держави. Робочі проєкти землеустрою, які покликані забезпечити підвищення родючості ґрунтів, практично не виконують своєї ролі. Проєкти з поліпшення угідь є епізодичними, при тому, що позитивний вплив на ґрунт має бути постійним та системним. «Проєкти сівозмін» як загальнодержавний проєкт не відбулися через недостатню відповідність задекларованій меті. Зазначені проєкти землеустрою передбачають вчинення агротехнологічних операцій, розробка та реалізація яких є предметом діяльності агрономів, а не землевпорядників. Щодо проєктів зняття родючого шару ґрунту, то вони стосуються не покращення, а збереження ґрунтової маси та передбачають роботи на відносно обмежених площах у порівнянні із площею сільськогосподарських угідь держави.

Усі недоліки також є наслідком вад у діючому законодавстві та мають бути усунені.

Вирішення цих фундаментальних проблем, тобто створення повноцінної фахової та самостійної законодавчої бази дозволить вивести роботу зі збереження родючості ґрунтів на прийнятний рівень. З такої перспективи, подальші дослідження в цій тематиці мають бути спрямовані на розробку практичних рекомендацій для законодавця щодо формування відповідної до цілей охорони ґрунтів законодавчої бази, чому буде сприяти аналіз міжнародного досвіду у цій галузі правотворчості.

1. Дорош А. С., Дорош А. Ю. Чинники, що впливають на розвиток і становлення органічного землекористування в умовах воєнного стану. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2023. № 2. С. 82–91. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2023.02.08>.
2. Дорош Ю. М., Ібатуллін Ш. І., Дорош О. С., Дорош А. Ю. Методичні підходи до економіко-математичного моделювання сівозмін у розробці проєкту землеустрою, який забезпечує еколого-економічне обґрунтування сівозмін і землеустрою. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2024. № 1. С. 66–81. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2024.01.06>.
3. Канаш О. П. Повернення до проблеми особливо цінних земель. *Землевпорядний вісник*. 2011. № 1. С. 53–59.
4. Кошель А., Колганова І. Розробка робочих проєктів землеустрою для рекультивзації порушених земель. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2022. № 4. С. 49–58. DOI: [10.31548/zemleustriy2022.04.07](https://doi.org/10.31548/zemleustriy2022.04.07).

5. Куліджанов Е. В. Деякі законодавчі аспекти охорони ґрунтів в Україні. *Родючість ґрунтів України: стан, тенденції та прогноз* : матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції. Київ, 2021. С. 47–49.
6. Куліджанов Е. В. Деякі термінологічні аспекти охорони ґрунтів в Україні. *Ґрунти у сучасному світі* : матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Одеса : Фенікс, 2022. С. 40–43.
7. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо збереження родючості ґрунтів : Закон України від 4 квітня 2009 р. № 1443-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1443-17#Text>. (дата звернення: 10.11.2024).
8. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення системи управління та дерегуляції у сфері земельних відносин : Закон України від 28 квітня 2021 р. № 1423-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1423-IX#Text>. (дата звернення: 10.11.2024).
9. Про державний контроль за використанням та охороною земель : Закон України від 16 червня 2003 р. № 963-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15/ed20030616#Text>. (дата звернення: 10.11.2024).
10. Кодекс України про адміністративні правопорушення від 9 серпня 2024 р. № 80731-X. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10#Text>. (дата звернення: 10.11.2024).
11. Консультація 1: Чому будь-яка оранка степів і луків є незаконною? URL: <https://uncg.org.ua/chomu-bud-iaka-oranka-ie-pezakopnoiu/>. (дата звернення: 10.11.2024).
12. Мачуська І. Б. Управління земельними ресурсами: поняття «земля», законодавчий статус територій, що постраждали від Чорнобильської катастрофи. *Економічне законодавче регулювання*. Київ, 2010. № 10. С. 199–211.
13. Малашевська О. А., Малашевський М. А. До актуальних проблем охорони земель в Україні. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2023. № 2. С. 22–32. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2023.02.04>.
14. Новаковська І. О., Матвєєва І. В. Система моніторингу земель: принципи формування та проблеми розвитку. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2022. № 4. С. 57–71. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2022.04.06>.
15. Про схвалення Концепції реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони довкілля : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 травня 2017 р. № 616. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/616-2017-%D1%80#n8>. (дата звернення: 10.11.2024).
16. Про затвердження переліку особливо цінних груп ґрунтів : наказ Держкомзему України від 6 жовтня 2003 р. № 245. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0979-03#Text>. (дата звернення: 10.11.2024).
17. Положення про Державну установу «Інститут охорони ґрунтів України». 2024. URL: https://iogu.gov.ua/literature/position_file.pdf. (дата звернення: 10.11.2024).
18. Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру : Постанова Кабінету Міністрів України

від 17 жовтня 2012 р. № 1051. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/337716__549972#n3. (дата звернення: 10.11.2024). **19.** Про затвердження Порядку здійснення моніторингу земель і ґрунтів : Постанова Кабінету Міністрів України від 23 липня 2024 р. № 848. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text>. (дата звернення: 10.11.2024). **20.** Про затвердження Правил розробки робочих проєктів землеустрою : Постанова Кабінету Міністрів України від 23 лютого 2022 р. № 86. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/86-2022-%D0%BF#Text>. (дата звернення: 10.11.2024). **21.** Ришкова Л. В. Поняття та ознаки особливо цінних земель як об'єкта правової охорони та використання. *Часопис Київського інституту права*. 2012. № 1. С. 250–255. **22.** Третяк А. М., Третяк В. М., Прядка Т. М., Капінос Н. О., Гунько Л. А., Третяк Р. А., Третяк Н. А. Охорона земель в Україні: науково-управлінські рішення в умовах військових дій. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2024. № 1. С. 19–34. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2024.01.02>. **23.** Про суцільну агролімічну паспортизацію земель сільськогосподарського призначення : Указ Президента України від 2 грудня 1995 р. № 1118/95. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1118/95#Text>. (дата звернення: 10.11.2024). **24.** URL: <https://nabu.gov.ua/news/zemel-na-koruptciia-na-sumshchyni-zaversheno-slidstvo-stosovno-eksnardepa-ta-chleniv-zlochynno-grupy/> (дата звернення: 10.11.2024).

REFERENCES:

1. Dorosh A. S., Dorosh A. Yu. Chynnyky, shcho vplyvaiut na rozvytok i stanovlennia orhanichnoho zemlekorystuvannia v umovakh voiennoho stanu. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*. 2023. № 2. С. 82–91. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2023.02.08>.
2. Dorosh Yu. M., Ibatullin Sh. I., Dorosh O. S., Dorosh A. Yu. Methodychni pidkhody do ekonomiko-matematychnoho modeliuвання sivozmin u rozrobtsi proiektu zemleustroi, yakyi zabezpechue ekoloho-ekonomichne obgruntuvannia sivozmin i zemleustroi. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*. 2024. № 1. С. 66–81. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2024.01.06>.
3. Kanash O. P. Povernennia do problemy osobyblyvo tsinnykh zemel. *Zemlevporiadnyi visnyk*. 2011. № 1. С. 53–59.
4. Koshel A., Kolhanova I. Rozrobka robochykh proiektiv zemleustroi dlia rekultyvatsii porushenykh zemel. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*. 2022. № 4. С. 49–58. DOI: [10.31548/zemleustriy2022.04.07](https://doi.org/10.31548/zemleustriy2022.04.07).
5. Kulidzhanov E. V. Deiaki zakonodavchi aspekty okhorony gruntiv v Ukraini. *Rodiuchist gruntiv Ukrainy: stan, tendentsii ta prohnoz* : materialy vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Kyiv, 2021. С. 47–49.
6. Kulidzhanov E. V. Deiaki terminolohichni aspekty okhorony gruntiv v Ukraini. *Grundy u* 148

suchasnomu sviti : materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Odesa : Feniks, 2022. S. 40–43. **7.** Pro vnesennia zmin do deiakyykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo zberezhennia rodiuchosti gruntiv : Zakon Ukrainy vid 4 kvitnia 2009 r. № 1443-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1443-17#Text>. (data zvernennia: 10.11.2024). **8.** Pro vnesennia zmin do deiakyykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo vdoskonalennia systemy upravlinnia ta derehuliatcii u sferi zemelnykh vidnosyn : Zakon Ukrainy vid 28 kvitnia 2021 r. № 1423-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1423-IX#Text>. (data zvernennia: 10.11.2024). **9.** Pro derzhavnyi kontrol za vykorystanniam ta okhoroioiu zemel : Zakon Ukrainy vid 16 chervnia 2003 r. № 963-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15/ed20030616#Text>. (data zvernennia: 10.11.2024). **10.** Kodeks Ukrainy pro administratyvni pravoporushennia vid 9 serpnia 2024 r. № 80731-X. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10#Text>. (data zvernennia: 10.11.2024). **11.** Konsultatsiia 1: Chomu bud-yaka oranka stepiv i lukiv ye nezakonnoiu? URL: <https://uncg.org.ua/chomu-bud-iaka-oranka-ie-nezakonnoiu/>. (data zvernennia: 10.11.2024). **12.** Machuska I. B. Upravlinnia zemelnymy resursamy: poniattia «zemlia», zakonodavchyi status terytorii, shcho postrazhdaly vid Chornobylskoi katastrofy. *Ekonomichne zakonodavche rehuliuвання*. Kyiv, 2010. № 10. S. 199–211. **13.** Malashevska O. A., Malashevskiy M. A. Do aktualnykh problem okhorony zemel v Ukraini. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*. 2023. № 2. S. 22–32. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2023.02.04>. **14.** Novakovska I. O., Matvieieva I. V. Systema monitorynhu zemel: pryntsyipy formuvannia ta problemy rozvytku. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*. 2022. № 4. S. 57–71. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2022.04.06>. **15.** Pro skhvalennia Kontseptsii reformuvannia systemy derzhavnoho nahliadu (kontroliu) u sferi okhorony dovkillia : Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 31 travnia 2017 r. № 616. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/616-2017-%D1%80#n8>. (data zvernennia: 10.11.2024). **16.** Pro zatverdzhennia pereliku osoblyvo tsinnykh hrup gruntiv : nakaz Derzhkomzemu Ukrainy vid 6 zhovtnia 2003 r. № 245. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0979-03#Text>. (data zvernennia: 10.11.2024). **17.** Polozhennia pro Derzhavnu ustanovu «Instytut okhorony gruntiv Ukrainy». 2024. URL: https://iogu.gov.ua/literature/position_file.pdf. (data zvernennia: 10.11.2024). **18.** Pro zatverdzhennia Poriadku vedennia Derzhavnoho zemelnoho kadastru : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17 zhovtnia 2012 r. № 1051. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/337716__549972#n3. (data zvernennia: 10.11.2024). **19.** Pro zatverdzhennia Poriadku zdiisnennia monitorynhu zemel i gruntiv : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 23

lypnia 2024 r. № 848. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text>. (data zvernennia: 10.11.2024). **20.** Pro zatverdzhennia Pravyl rozrobky robochykh proiektiv zemleustroi : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 23 liutoho 2022 r. № 86. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/86-2022-%D0%BF#Text>. (data zvernennia: 10.11.2024). **21.** Ryshkova L. V. Poniattia ta oznaky osoblyvo tsinnykh zemel yak obiekta pravovoi okhorony ta vykorystannia. *Chasopys Kyivskoho instytutu prava*. 2012. № 1. S. 250–255. **22.** Tretiak A. M., Tretiak V. M., Priadka T. M., Kapinos N. O., Hunko L. A., Tretiak R. A., Tretiak N. A. Okhorona zemel v Ukraini: naukovo-upravlinski rishennia v umovakh viiskovykh dii. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*. 2024. № 1. S. 19–34. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2024.01.02>. **23.** Pro sutsilnu ahrokhimichnu pasportyzatsiiu zemel silskohospodarskoho pryznachennia : Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 2 hrudnia 1995 r. № 1118/95. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1118/95#Text>. (data zvernennia: 10.11.2024). **24.** URL: <https://nabu.gov.ua/news/zemel-na-koruptciia-na-sumshchyni-zaversheno-slidstvo-stosovno-eksnardepa-ta-chleniv-zlochynno-grupy/> (data zvernennia: 10.11.2024).

Kulidzhanov E. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Southern Interregional Center State Institution “Institute of Soil Protection of Ukraine”, Odesa), **Martynenko V. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.)**

TECHNOLOGICAL DEFICIENCIES IN THE REGULATORY FRAMEWORK FOR SOIL PROTECTION IN UKRAINE

Relevance of the work is due to the lack of independent soil protection legislation in Ukraine and the low quality of existing legislative norms and methodologies that are part of the land and land management regulatory framework.

The objective of the work is to provide an agro-technological assessment of the provisions of the regulatory and methodological framework for soil protection, which is part of land legislation, as well as subordinate acts related to land management activities.

Research methods involve comparing the content of legislative norms on soil protection with the actual needs in terms of formulations, powers, and the general subjectivity of this activity. The potential consequences of adopting certain laws have been evaluated.

Additionally, the methodological norms approved by central executive authorities have been assessed for their compliance with well-known standards in soil science and agro-technologies.

Virtually all legislative norms concerning soil protection in Ukraine are included in the land legislation (Land Code, Laws of Ukraine "On Land Protection" and "On State Control over Land Protection," among others). Legislative activities related to soil protection have proven to be unclear, inconsistent, and underdeveloped. The legislative framework lacks the State Soil Protection Institution (SE "Derjhruntokhorona") as a professional body for soil condition monitoring, though this task has been assigned to a different organization with another professional focus, namely the State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography, and Cadastre (StateGeoCadastre). The abolition of the mandatory agrochemical passporting of state lands before leasing them deprives the state of the opportunity to record soil conditions and thus protect state interests. Activities aimed at improving soil conditions are unjustifiably considered land management projects (work projects). Their main content is agro-technologies, i.e., general agronomy, agrochemistry, crop production, horticulture, and viticulture. The list of agro-production groups of soils is incomplete, and the criteria for the value of especially valuable soil groups are absent. The assessment of the professional content of these issues indicates that the Ministry of Agrarian Policy, in cooperation with specialists from the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (NAASU) and educational professionals, should be responsible for developing the soil protection regulatory framework.

Practical value of the work lies in the detailed agro-technological analysis of the mentioned regulatory framework and the identification of its shortcomings. A conclusion is made, about the need to create professional soil protection legislation, and the main principles for the formation of such legislation are identified.

***Keywords:* land; soil protection legislation; agro-technologies; land management work projects; list of agro-production soil groups.**

Фурманець О. А., к.с.-г.н., доцент; Крайна М. А., здобувач третього рівня вищої освіти, асистент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.a.furmanets@nuwm.edu.ua, m.a.kraina@nuwm.edu.ua)

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПРИПОСІВНОГО УДОБРЕННЯ КУКУРУДЗИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ РІДКИХ КОМПЛЕКСНИХ ДОБРИВ

Оптимізація системи припосівного удобрення кукурудзи є важливою складовою ефективного агрономічного процесу, що безпосередньо впливає на рівень врожайності та якість продукції. Одним з перспективних напрямів у цій сфері є використання рідких комплексних добрив (РКД), які забезпечують рослини доступними поживними речовинами на початкових етапах їх росту та розвитку. Рідкі добрива мають перевагу над твердими, оскільки вони швидше засвоюються рослинами і забезпечують більш рівномірний розподіл елементів живлення в ґрунті. Однак для досягнення максимальних результатів необхідно оптимізувати норми їх внесення залежно від специфічних умов ґрунту та потреб культури. У зв'язку з цим, дослідження ефективності застосування рідких комплексних добрив у системі припосівного удобрення кукурудзи стає актуальним для підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва.

Проблема фосфорного живлення рослин полягає в тому, що фосфор у ґрунті часто знаходиться в недоступних для рослин формах, що обмежує його засвоєння. Дослідження проводилось на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах Західного Полісся України в період з 2021 по 2024 роки. Випробування включали застосування різних норм РКД, гранульованих добрив, а також їх спільне використання при сівбі. Результати показали, що застосування рідких комплексних добрив в умовах регіону може бути ефективним для забезпечення рослин доступними поживними речовинами на ранніх етапах розвитку. Виявлено, що оптимальні дози РКД (25–40 л/га) у поєднанні з гранульованим добривом забезпечують найкращі результати щодо врожайності та якості зерна. Внесення високих доз РКД може бути неефективним, а

також впливає на якість проростання зерна. Стаття підтверджує важливість правильної комбінації видів добрив для досягнення високих врожаїв і підвищення ефективності використання фосфору.

Ключові слова: рідке комплексне добриво; кукурудза; фосфор; ортофосфати; рівень врожайності.

Постановка проблеми. Засвоєння фосфору є одним із ключових факторів для забезпечення нормального розвитку сільськогосподарських культур. Однак, незважаючи на важливість цього елемента, фосфор у ґрунті часто знаходиться в недоступних для рослин формах, що обмежує ефективність його засвоєння. Проблема полягає в тому, що не всі форми фосфору внесені в ґрунт із добривами однаково доступні для рослин. Також варто врахувати вплив різних біотичних та абіотичних факторів на поглинання фосфору рослинами. Враховуючи, що рідкі комплексні добрива є одним із основних джерел доступного фосфору для рослин, важливо зрозуміти, яким чином різні форми фосфору в таких добривах впливають на ґрунтові умови і взаємодіють із кореневою системою рослин. Від ефективності засвоєння фосфору з рідких комплексних добрив залежить не тільки рівень врожайності, але й сталий розвиток агроєкосистем. Тому необхідно дослідити механізми засвоєння фосфору з рідких комплексних добрив різної формуляції та оптимальні умови для їх використання в сільському господарстві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Створюючи енергетичну основу для функціонування рослинних клітин, фосфор входить до складу нуклеїнових кислот і нуклеотидів, ліпідів мембран, ферментів та проміжних продуктів фотосинтетичного та дихального циклів. Його засвоєння та метаболізм визначально важливі для росту і розвитку рослин. Хоча початкові етапи є критичними щодо фосфору, оптимальне забезпечення ним є важливим протягом усього вегетаційного періоду рослин [1, С. 88]. Вміст фосфору в ґрунті залежить від гранулометричного складу і вмісту гумусу. Бідні на гумус дерново-підзолисті піщані ґрунти відзначаються мінімальною кількістю фосфатів. Вміст яких із глибиною різко падає [2, С. 285]. Для підвищення родючості ґрунту і раціонального застосування фосфорних добрив необхідна оптимізація фосфорного живлення рослин застосуванням добрив з урахуванням вмісту рухомих сполук

фосфору в ґрунті [3, С. 133]. Внесення водорозчинних солей фосфорної кислоти на ґрунтах від слабокислої до слаболужної реакції рН, сприяє перетворенню через певний проміжок часу в двовалентні фосфати калію і магнію надовго залишаючись доступними для сільськогосподарських культур. Внаслідок того, що фосфор в ґрунтовому розчині присутній головним чином у формі H_2PO_4^- при рН-5 і у формі HPO_4^{2-} при рН-7,7. То вплив рН вказує на те, що H_2PO_4^- засвоюється краще ніж HPO_4^{2-} [2, С. 288, 290].

В більшості випадків виробники застосовують разові внесення гранульованих фосфоровмісних матеріалів при посіві, однак при зміні умов середовища, що неможливо передбачити (температура, вологість) – різко зменшується коефіцієнт ефективного використання фосфору з добрив, відбувається накопичення блокованого фосфору в ґрунті та його міграція до водних джерел. Виникає агрономічна та екологічна проблема. Для уникнення небажаних явищ необхідно напрацьовувати варіанти використання альтернативних джерел фосфору [4, С. 105].

У більшості випадків питання вибору сухих або рідких добрив вирішують, виходячи з ціни на елементи живлення, можливості транспортування і зберігання, технологічної практики господарства. Значної агрономічної різниці в цих видах добрив немає. Головною перевагою рідких добрив, порівняно з твердими, є можливість приготування специфічних сумішей, при цьому за складом суміш виявляється гомогенною. При змішуванні твердих добрив досягти такої рівномірності неможливо, оскільки це залежить від однорідності розміру частинок окремих компонентів [5, С. 93]. Втрати рідких добрив під час перезавантаження і зберігання не перевищують 1%. Тоді як втрати твердих мінеральних добрив становлять 10–15% і більше [3, С.178]. У разі удобрення сільськогосподарських культур твердими фосфоровмісними комплексними добривами рухомий фосфор з добрив швидко зв'язується з ґрунтом, що призводить до зменшення його доступності для рослин. Таким чином більш перспективними є рідкі комплексні добрива (РКД), які не мають вищезгаданих недоліків, адже їх виготовляють на основі пірофосфорної кислоти. Отже, РКД мають перевагу над твердими фосфоровмісними комплексними добривами, оскільки азот і фосфор містяться в них у формі повністю розчинних амонійних солей орто- і поліфосфорних кислот, завдяки чому вони

швидше ніж ортофосфати твердих добрив, використовуються рослинами із ґрунтового розчину [6, С. 2].

Останніми роками в Україні набирає популярності сучасна загальносвітова технологія внесення стартових добрив одночасно з сівбою безпосередньо в зону висіву насіння (технологія POP-UP або IN-FURROW), що забезпечує молоді рослини доступними поживними речовинами на початкових етапах росту та розвитку. Внесення добрива при сівбі рекомендовано при вирощуванні основних сільськогосподарських культур, а для кукурудзи є обов'язковим [7, С. 10–13].

В умовах Західного Полісся, де переважають малопродуктивні дерново-підзолисті ґрунти із періодично промивним водним режимом, забезпечити оптимальні умови для культур достатньо важко. При цьому щорічна варіабельність умов зволоження – від надлишкового, до недостатнього в один і той же календарний період, створюють додаткові ризики у фосфорному живленні [4, С. 106].

Мета і завдання досліджень. Метою дослідження є порівняння ефективності засвоєння фосфору сільськогосподарськими культурами з різних формуляцій рідких комплексних добрив (РКД) та деяких твердих комплексних добрив, а також аналіз впливу фізико-хімічних властивостей на формування врожаю культури. Завданням дослідження є оптимізація застосування добрив залежно від специфічних потреб культур та характеристик ґрунтів, що дозволить підвищити ефективність використання фосфору та знизити витрати на добриво.

Виклад основного матеріалу досліджень. З метою дослідження ефективності використання фосфору із РКД при вирощуванні кукурудзи впродовж 2021–2023 років на території Костопільського та Сарненського районів Рівненської області (зона Західного Полісся України) на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах було закладено кілька виробничих апробацій.

Дослідження проводили як із застосуванням гранульованих комплексних добрив різних формуляцій та доз внесення, так і спільного/окремого застосування гранули та рідких комплексних добрив при внесенні останніх у рядок під час посіву. Слід зазначити, що внесення живлення в рядок відбувалось за схемою розміщення добрив глибше насіннєвого ложа із зміщенням вбік.

Для порівняння розглянемо декілька дослідів по припосівному

удобренні кукурудзи.

Перше випробування складалося із внесення різних норм рідких комплексних добрив як припосівного добрива та порівняння результату із варіантом, де застосовували виключно гранульоване комплексне добриво. Для випробування було обрано РКД Діафан 5/20/5 Action у нормах від 30 до 90 л/га та гранульоване добриво виробника Grupa Azoty Поліфоску 8/24/24 у нормі 150 кг/га. Схема випробування включала як окреме, так і спільне їх застосування для фіксування найбільш оптимального застосування добрив, що випробовувались. У перерахунку на діючу речовину фосфору із гранульованим добривом було внесено 36 кг/га, а із РКД – 6, 10, 14, 18 л/га відповідно.

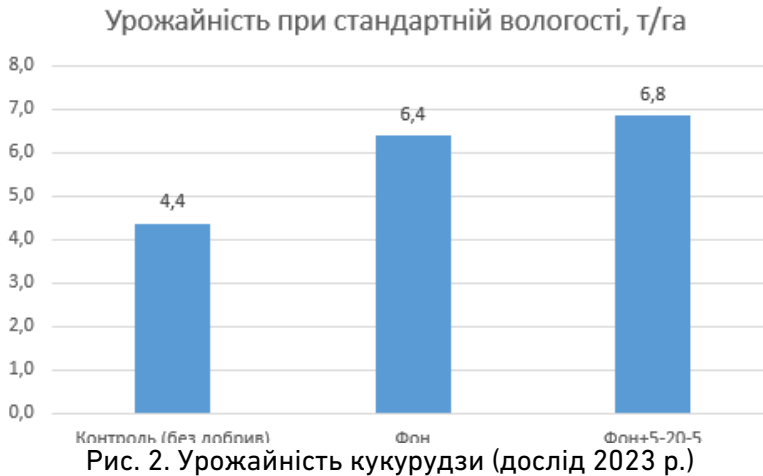


Рис. 1. Урожайність кукурудзи (дослід 2021 р.)

Порівнюючи результати отримані при різних дозах внесення РКД, бачимо прямопропорційну залежність збільшення показника від підвищення норм внесеного добрива. Проте рівень врожайності. Що рівний 10,02 т/га отримали при разовому застосуванні саме гранульованого добрива. Аналізуючи наведені дані на графіку, однозначно найкращим результатом можна вважати останній, а саме варіант, де застосовували мінімальну дозу РКД та середню норму комплексних добрив.

Наступне випробування включало застосування гранульованого комплексного добрива виробника Grupa Azoty, а саме Поліфоску 8/24/24 у нормі 100 кг/га та РКД Діафан 5/20/5 Action у нормі 30 л/га. На графіку 2 можемо бачити різку відмінність рівня 156

врожайності між варіантами без добрив та із внесенням гранули та невелику розбіжність на варіантах із припосівним внесенням гранули і рідкого комплексного добрива. Варто врахувати, що у перерахунку на діючу речовину фосфору із гранульованим добривом було внесено 24 кг/га, а із РКД – 6 л/га.



Аналізуючи наведені дані, беззаперечним є те, що застосування гранульованого добрива при посіві культур, зокрема кукурудзи, значною мірою впливає на підвищення рівня врожаю. В такому випадку на 45,5%. Що ж до третього варіанту, то він ілюструє найвищий рівень врожайності культури. Тобто на конкретному прикладі графік ілюструє позитивний вплив на рівень врожайності при спільному застосуванні помірних доз різних типів добрив на початкових етапах росту.

На рис. 3 наведено схему випробування із застосуванням припосівного удобрення гранульованим добривом спільно із карбамідом, а також РКД разом та окремо від гранули. Відзначимо, що у перерахунку на діючу речовину фосфору із гранульованим добривом було внесено 30 кг/га, а із РКД – 5 л/га.

Аналізуючи результат третього наведеного випробування, відмічаємо варіант із внесенням рідкого стартового добрива, що на 9,8% нижче від варіанту без застосування добрив. Отриманий результат підтверджує те, що внесення лише РКД як стартового та основного живлення не є достатнім, а у цьому випадку показав негативний результат. Зокрема, внесення живлення було спрямоване на формування міцної кореневої системи на перших етапах росту та

розвитку рослин, якого вподальшому не вистачило на активність росту вегетативної маси кукурудзи та формування потужного качана.

На варіантах 2 та 4, де було внесено повне удобрення (фон), а також фон із РКД – отримано однакові результати щодо рівня врожайності. Проте аналізуючи дані щодо якісних показників зерна, зокрема показник вмісту білка відмічаємо значну різницю на кожному із варіантів (рис. 4).



Рис. 3. Урожайність кукурудзи (дослід 2024 р.)

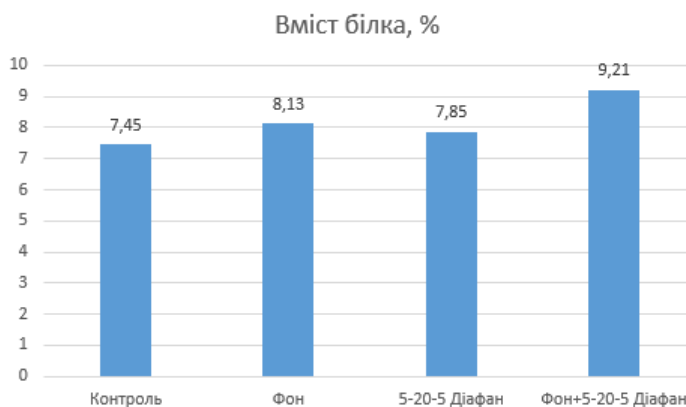


Рис. 4. Вміст білка у зерні кукурудзи, % (дослід 2024 р.)

Найвищий результат вмісту білка у показав 4-й варіант, а саме 9,21%, що на +1,76% більше від чистого контролю та на 1,08% більше ніж варіант із внесеними гранульованими добривами. Зауважимо, що варіант із внесенням лише рідкого стартового добрива із кількістю фосфору 5 л/га, покращило якісний показник зерна, що підтверджує 158

важливість внесення навіть невеликого, проте добре доступного фосфору при посіві.

Висновки. Удосконалення систем живлення основних культур завжди буде актуальним питанням. Пошук та випробування найбільш оптимальних видів та співвідношень добрив наразі є питаннями, які варто досліджувати. Застосування рідких комплексних добрив як стартових безперечно мають перспективи у майбутніх дослідженнях, оскільки завдяки невеликим їх витратам можна підсилити основне живлення на початкових етапах росту та розвитку культури. У підсумку проведеного аналізу випробувань можна зробити висновки, що для отримання високих врожаїв гарної якості важливо правильно обирати не лише норму внесення добрива, але і їх вид. Хоча варто врахувати, що внесення вищих від рекомендованих норм рідких добрив може бути не лише менш рентабельним, проте і здійснювати негативний вплив на якість проростання зерна. Тому найбільш оптимальним є застосування середніх норм гранульованого добрива спільно із нормою РКД від 25–40 л/га.

1. Стахів М. П. Фосфорне живлення рослин та методичні аспекти визначення рухомих сполук фосфору в ґрунті. *Ґрунтознавство*. 2010. № 3–4. Т. 11. С. 88–105. 2. Шевчук М. Й., Веремєєнко С. І. Агрохімія. Рівне, 2011. 728 с. 3. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ, 2018. 560 с. 4. Фурманець О. А. Ефективність застосування рідких комплексних добрив при вирощуванні кукурудзи на дерново-підзолистих ґрунтах Західного Полісся. *ТНВ*. 2022. Вип. 124. С. 104–111. 5. Gamayunova V., Khonenko L., Baklanova T., Kovalenko O., Pilipenko T. Modern approaches to use of the mineral fertilizers preservation soil fertility in the conditions of climate change. *Scientific horizons*. 2020. № 2 (23). С. 89–101. 6. Гавілей Є. В., Оничко В. І. Особливості застосування рідких комплексних добрив. *Гончарівські читання: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 93-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова М. Д., 25 травня, 2022 р. : тези доп.* Суми, 2022. С. 100–102. 7. Крамарьов С. М., Бандура Л. П., Крамарьов О. С. Тверді та рідкі комплексні добрива: отримання ефективність використання. *Наукові досягнення сучасного суспільства : IV Міжнародна науково-практична конференція, 4–6 грудня 2019 Ліверпуль (Великобританія)*. 2019. С. 1011–1020.

REFERENCES:

1. Stakhiv M. P. Fosforne zhyvlennia roslyn ta metodychni aspekty vyznachennia rukhomykh spoluk fosforu v grunti. *Gruntoznavstvo*. 2010. № 3–4. T. 11. S. 88–105.
2. Shevchuk M. Y., Veremeienko S. I. Ahrokhimiia. Rivne, 2011. 728 s.
3. Hospodarenko H. M. Ahrokhimiia. Kyiv, 2018. 560 s.
4. Furmanets O. A. Efektyvnist zastosuvannia ridkykh kompleksnykh dobryv pry vyroshchuvanni kukurudzy na dernovo-pidzolyistykh gruntakh Zakhidnoho Polissia. *TNV*. 2022. Vyp. 124. S. 104–111.
5. Gamayunova V., Khonenko L., Baklanova T., Kovalenko O., Pilipenko T. Modern approaches to use of the mineral fertilizers preservation soil fertility in the conditions of climate change. *Scientific horizons*. 2020. № 2 (23). C. 89–101.
6. Havilei Ye. V., Onychko V. I. Osoblyvosti zastosuvannia ridkykh kompleksnykh dobryv. *Honcharivski chytannia : materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii prysviachenoï 93-richchiu z dnia narodzhennia doktora silskohospodarskykh nauk, profesora Honcharova M. D., 25 travnia, 2022 r. : tezy dop.* Sumy, 2022. S. 100–102.
7. Kramarov S. M., Bandura L. P., Kramarov O. S. Tverdi ta ridki kompleksni dobryva: otrymannia efektyvnist vykorystannia. *Naukovi dosiahnennia suchasnoho suspilstva : IV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, 4–6 hrudnia 2019 Liverpul (Velykobrytaniia)*. 2019. S. 1011–1020.

Furmanets O. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Kraina M. A., Post-graduate Student, Assistant (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

OPTIMISATION OF THE CORN PRE-SOWING FERTILISATION SYSTEM THROUGH THE USE OF LIQUID COMPLEX FERTILISERS

Optimisation of the pre-sowing fertilisation system for corn is an important component of an efficient agronomic process that directly affects the yield and quality of products. One of the most promising points in this area is the use of liquid complex fertilisers (LCF), which provide plants with available nutrients at the initial stages of their growth and development. Liquid fertilisers have an advantage over solid fertilisers because they are absorbed by plants faster and ensure a more even distribution of nutrients in the soil. However, to achieve maximum results, it is necessary to optimise their application rates depending on specific soil conditions and crop needs. In this regard, the study of the effectiveness of liquid complex fertilisers in

the pre-sowing fertilisation system for corn is becoming relevant to increase agricultural productivity.

The problem with phosphorus nutrition of plants is that phosphorus in the soil is often in forms inaccessible to plants, which limits its absorption. The research was conducted on sod-podzolic sandy loam soils of Western Polissya in Ukraine in the period from 2021 to 2024 years. The tests included the use of different rates of liquid fertiliser, granular fertilisers, and their combined use during sowing. The results showed that the use of liquid complex fertilisers in the region can be effective in providing plants with available nutrients in the early stages of development. It was found that the optimal doses of liquid complex fertilisers (25–40 l/ha) in combination with granular fertiliser provide the best results in terms of yield and grain quality. The application of high doses of LCF can be inefficient and also affects the quality of grain germination. The article confirms the importance of the right combination of fertiliser types to achieve high yields and increase phosphorus use efficiency.

***Keywords:* liquid complex fertiliser; corn; phosphorus; orthophosphates; yield level.**

Польовий В. М., д.с.-г.н., професор (Інститут сільського господарства Західного Полісся, с. Шубків, rivne_apv@ukr.net), **Ященко Л. А., к.с.-г.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, l.a.yashchenko@nuwm.edu.ua), **Голуб С. М., к.с.-г.н., доцент** (Волинський національний університет імені Лесі Українки, Golub.Sergiy@vnu.edu.ua), **Кутуза Д. М., студент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, kutuza_az21@nuwm.edu.ua)

УРОЖАЙНІСТЬ ТРАДИЦІЙНИХ КУЛЬТУР ПОЛІССЯ ПІД ВПЛИВОМ ДИНАМІКИ ОБМІННОЇ КИСЛОТНОСТІ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ У ЧАСІ ЗА РІЗНИХ ДОЗ CaCO_3

Наведено результати досліджень із вивчення впливу рівнів обмінної кислотності ($\text{pH}_{\text{КСІ}}$) дерново-підзолистого ґрунту, одержаних за внесення різних доз вапна, на врожайність культур восьмипільної традиційної сівозміни Полісся. Дози внесення вапна (0,5–2,0 Нг CaCO_3 , що еквівалентно 1,8–7,0 т/га) значно підвищували рН ґрунту з початкового діапазону 4,6–4,8 до кінцевого діапазону 6,1–7,6 протягом перших трьох років. Однак рН ґрунту продемонстрував тенденцію до повторного закислення до кінця експерименту, з остаточними значеннями від 4,9 до 6,5. Реакція культур на вапнування значно варіювала. Урожайність картоплі залишилася незмінною в межах випробуваного діапазону рН (4,4–7,4), тоді як вико-вівсяна зелена маса (рН 5,7), озиме жито (рН 5,8), льон (рН 5,6), кормові буряки (рН 7,3), ярий ячмінь (рН 5,3), конюшина лучна (рН 5,9) та озима пшениця (рН 6,3) показали найвищі врожаї за цих оптимізованих умов рН. Порівняно з контрольними ділянками, приріст врожайності сільськогосподарських культур становив від 0% до 120% по досліджуваних культурах за різних темпів вапнування. Найбільш суттєве зростання врожайності спостерігалось у кормових буряків (120%) та озимій пшениці (42%). Ці результати підкреслюють важливість врахування оптимуми рН для конкретних культур і відповідного коригування норм вапнування. Оптимізація рН ґрунту відповідно до вимог сільськогосподарських культур може призвести до значного підвищення їхньої врожайності.

Ключові слова: урожайність; обмінна кислотність; вапно; норма; післядія.

Постановка проблеми. Окрім наявності вологи та вмісту поживних речовин, наукові дослідження та практичний досвід показали, що реакція ґрунтового розчину, також відома як рН ґрунту, відіграє вирішальну роль у визначенні врожайності сільськогосподарських культур та загальної родючості ґрунту [1].

В Україні значна частина земель потерпає від кислотності ґрунтів. Приблизно 10,3 млн га, що становить 26,3% від загальної площі орних земель віднесені до кислих ґрунтів. Ця проблема особливо поширена в зонах Лісостепу та Полісся, де майже половина земель (49,7% та 47,4% відповідно) має кислотні характеристики [2]. Прикладом цього є Рівненська область, де 32,6% загальної площі ріллі віднесено до кислих, починаючи від дуже сильнокислих (9%) і закінчуючи слабокислими (12,0%) [3].

Закислення ґрунту можна пояснити як природними процесами, такими як кругообіг вуглецю, азоту та сірки, так і діяльністю людини. Меліорація земель шляхом вапнування є цінним інструментом для боротьби з цією проблемою та підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва [4].

Вапнування, яке часто поєднується з внесенням добрив, є широко прийнятою практикою для вирішення проблеми кислотності ґрунту. Це сприяє вирішенню кількох проблем: підвищує рН ґрунту та врожайність сільськогосподарських культур, поповнює запаси поживних речовин і пом'якшує негативний вплив кислотності ґрунту на загальну родючість [5]. При роботі з кислими ґрунтами вапнування в поєднанні з внесенням добрив стає важливим у досягненні та підтримці конкурентоспроможного сільськогосподарського виробництва. Внесення вапна пропонує чимало переваг, включаючи покращення доступності поживних речовин для рослин, зменшення шкідливого впливу алюмінію на кореневу систему рослин, підвищення активності мікроорганізмів у ґрунті та максимізацію ефективності використання добрив [6].

Важливо визнати, що різні культури демонструють різний ступінь толерантності до кислотності ґрунту, що призводить до різних реакцій на внесення вапна [7]. При впровадженні стратегій меліорації для кислих ґрунтів важливо враховувати конкретні вимоги культур, що вирощуються, щодо рН ґрунту. Деякі культури добре пристосовані до кислого середовища і можуть досягти оптимальної врожайності навіть при більш низькому рівні рН. Дослідження

демонструють цю концепцію, оскільки овес і картопля показали мінімальну залежність врожайності від рівня рН ґрунту [8]. Хоча деякі дослідники припускають, що вапнування може принести користь урожаю картоплі [9] і створити мінімальний ризик розвитку поширеної хвороби парші (*Streptomyces* spp.) [10]. Проте, більшість культур демонструють позитивну реакцію врожайності на вапнування в умовах кислого ґрунту. Однак оптимальний діапазон рН для кожної культури може значно відрізнятись залежно від конкретного типу ґрунту [11].

Унікальною характеристикою деяких вапняних матеріалів є їх здатність сприяти підвищенню врожайності культур після одноразового внесення, при чому ці ефекти зберігаються протягом тривалого періоду. Дослідження Польового В. М. показують, що вплив вапнування на врожайність можна спостерігати через 7–8 років після внесення [12]. Враховуючи цей відстрочений ефект, оцінка реакції культур на вапнування повинна зосереджуватися не лише на кількості внесеного вапна, а й враховувати ступінь зміни кислотності ґрунту в результаті післядії внесення.

Метою цього дослідження є аналіз тривалості впливу різних норм вапна на динаміку ґрунтового обміну, кислотності та реакцію сільськогосподарських культур на відповідні зрушення рівня рН. Щоб зберегти принцип єдиної змінної, дослідження зосереджується на даних першого восьмирічного циклу сівозміни культур у межах довгострокового експерименту. Такий вибір зумовлений тим, що в наступних сівозмінах ґрунт на різних ділянках зазнавав варіацій не тільки обмінної кислотності (основний фокус дослідження), а й інших агрохімічних показників, які суттєво впливають на продуктивність сільськогосподарських культур.

Методика досліджень. Дослідження проведено у стаціонарному досліді Інституту сільського господарства Західного Полісся (раніше Рівненська ДСГДС) на дерново-підзолистому ґрунті, який на початок досліджень характеризувався наступними показниками: дуже низьким умістом гумусу 1,2%, середнім рівнем забезпеченості рухомими сполуками фосфору (62,0 мг/кг ґрунту) і калію (75,0 мг/кг ґрунту). Реакція ґрунтового розчину посівних ділянок кожного варіанту характеризувалася слабокислою реакцією у межах pH_{KCl} 4,6–4,8 од., гідролітичної кислотності (Нг) 2,23–2,48 ммоль/100 г ґрунту.

Сівозміна включала культури традиційні для зони Полісся: картопля – однорічні трави – озиме жито – льон-довгунець – буряк кормовий – ячмінь ярий з підсівом багаторічних трав – конюшина червона – пшениця озима. Розмір посівної площі складав 198 м² (33×6), облікової площі – 100 м² (25×4). Повторність досліду триразова. Мінеральні добрива були внесені у формі аміачної селітри, гранульованого суперфосфату та хлористого калію під культури сівозміни згідно схеми досліду (таблиця). Гній ВРХ вносили двічі за ротацію сівозміни під картоплю (50 т/га) і буряк кормовий (80 т/га). Із розрахунку на гектар сівозмінної площі вносилося 16 т/га гною та мінеральні добрива в дозі N₅₅P₆₈K₇₅. Облік урожаю культур проводили поділяючно суцільним зважуванням.

Хімічну меліорацію здійснювали вапном перед закладанням досліду (83,7–92,1% CaCO₃). Розрахунок фізичної дози внесення проводили за гідролітичною кислотністю ґрунту кожної дослідної ділянки. Були внесені наступні відповідні дози вапна: 0,5 Нг CaCO₃ (1,8 т/га); 1,0 Нг CaCO₃ (3,6 т/га); 1,5 Нг CaCO₃ (5,5 т/га); 2,0 Нг CaCO₃ (7,0 т/га).

Результативність отриманих даних була перевірена методом однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) для обґрунтування ефективності використання різних норм вапна під досліджувані культури. Значимість ефектів визначали за допомогою критерію Фішера при $p \leq 0,05$. Регресійний аналіз досліджував взаємозв'язок між змінами кислотності ґрунту (рН_{KCl}) та врожайністю сільськогосподарських культур у сівозміні за різних норм вапна за удобрення сільськогосподарських культур. Цей аналіз дав уявлення про те, як коригування норм внесення вапна вплинуло на кислотність ґрунту і в результаті на врожайність культур у контексті сівозміни.

Результати досліджень та обговорення. Вапнування значно підвищило рН ґрунту на всіх оброблених ділянках у порівнянні з контролем (без вапна). Цей ефект залежав від дози вапна, причому вищі дози внесення вапна призводили до більшого підвищення рН. Застосування 1,5 та 2,0 Нг CaCO₃ призвело до найвищого рівня рН (7,04 та 7,57), тоді як внесення 0,5 Нг CaCO₃ призвело до найменшого зміщення рН (5,13 та 6,12 рН) під різними культурами (таблиця).

Залежно від доз вапна найбільша нейтралізація обмінної кислотності у шарі ґрунту 0–20 см порівняно з вихідними даними відзначалась у першій – третій роки після його застосування (рис. 1). При цьому, якщо у перший рік рН_{KCl} за 0,5 і 1,0 дози CaCO₃ на фоні удобрення змістився на 1,52–1,62 од., то внесення 1,5–2,0 дози CaCO₃

збільшило величину зміщення до 2,65–2,75 од. у сторону нейтралізації кислотності. Тривалий нейтралізуючий ефект вапна, максимум післядії якого наставав у третій рік, для 0,5 дози CaCO_3 ($\Delta\text{pH}_{\text{KCl}}$ 1,2 од.) був істотно нижчим порівняно з іншими дозами, який для 1,0–2,0 доз CaCO_3 становив $\Delta\text{pH}_{\text{KCl}}$ 2,38–2,95 од. Із часом дія меліоранта знижувалася і відбулося повторне підкислення ґрунту відповідно до pH_{KCl} 4,9; 5,9; 6,3 і 6,5 од. залежно від дози CaCO_3 . Наші дані узгоджуються з висновками [19], де спостерігали найбільш значне зниження кислотності ґрунту протягом перших 3-х років після внесення вапна на 3–6 т/га. Однак термін дії застосування вапна може тривати понад 3 роки. Як запропонували [14], максимальна реакція вапнування спостерігається через чотири роки після внесення, іноді триває до восьми років, залежно від культури та типу ґрунту.

Застосування гною під картоплю і буряк кормовий у сівозміні сприяло динаміці pH_{KCl} у межах похибки досліду, тоді як внесення мінеральних добрив залежно від дози під культуру спричиняло істотну динаміку зміщення показника по роках від –0,32 до 0,24 од. як в сторону підкислення, так і нейтралізації.

Таблиця

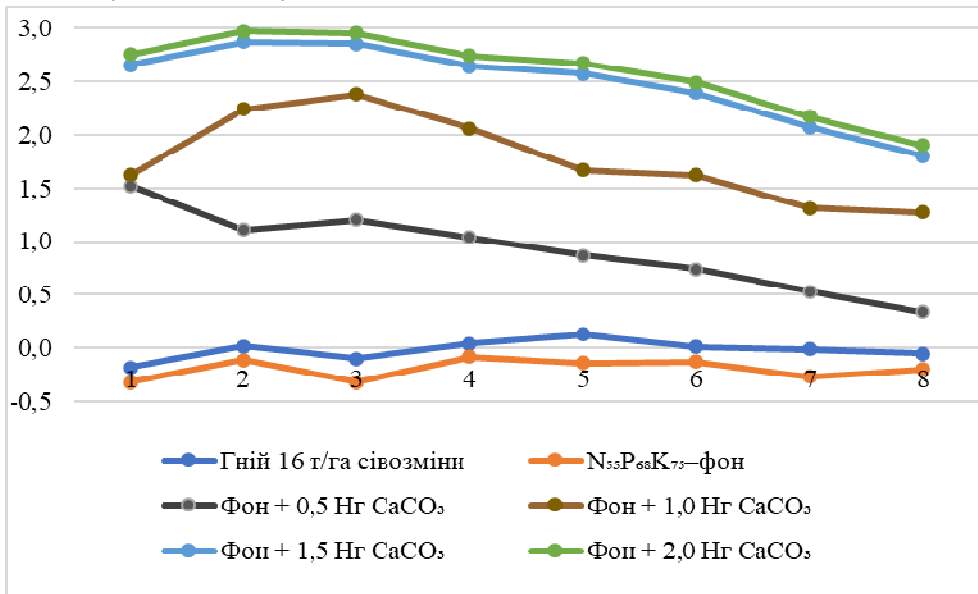
Обмінна кислотність (pH_{KCl}) за різних доз вапна та її вплив на врожайність (т/га) культур сівозміни

Варіант	Показники	Картопля	Вико-овес на з/к	Жито озиме	Льон-довгунець (солома/насіння)	Буряк кормовий	Ячмінь ярий	Конюшина лучна	Пшениця озима
		гній (50 т/га) + N90P60K90	N60P60K60	N40P60K60	N30P60K90	гній (80 т га ⁻¹) + N120P120K120	N40P60K60	P60K60	N60P60K60
Гній 16 т/га сівозміни (контроль)	урож. pH (4,8*)	18,7 4,52	16,7 4,72	2,29 4,60	2,75/0,43 4,74	30,0 4,83	1,82 4,71	26,4 4,69	2,65 4,65
N ₅₅ P ₆₈ K ₇₅ – фон	урож. pH (4,7*)	21,5 4,38	24,4 4,59	2,69 4,38	3,63/0,64 4,62	38,4 4,56	2,38 4,57	30,2 4,43	2,62 4,50

продовження таблиці

Фон + 0,5 дози CaCO ₃	урож. рН (4,6*)	22,0 6,12	27,8 5,71	2,76 5,80	4,31/0,66 5,64	65,5 5,47	3,34 5,34	37,7 5,13	3,39 4,94
Фон + 1,0 дози CaCO ₃	урож. рН (4,6*)	22,6 6,22	27,4 6,84	2,69 6,98	4,52/0,71 6,66	76,8 6,27	3,28 6,22	39,6 5,91	3,54 5,87
Фон + 1,5 дози CaCO ₃	урож. рН (4,6*)	21,8 7,35	27,7 7,27	2,81 7,16	4,48/0,72 7,04	84,6 7,34	3,36 6,91	39,9 6,62	3,73 6,33
Фон + 2,0 дози CaCO ₃	урож. рН (4,7*)	21,7 7,35	27,3 7,57	2,70 7,55	4,01/0,69 7,34	82,4 7,27	3,34 7,09	39,6 6,77	3,54 6,50
НІР ₀₅	урож.	2,19	1,91	0,59	0,17/0,36	1,63	0,21	1,17	0,14
	рН	0,13	0,26	0,19	0,22	0,23	0,11	0,24	0,14

 Примітка – *вихідний показник рН_{ккл} ґрунту дослідних ділянок

 Примітка: 1–8 рік післядії доз CaCO₃

 Рис. 1. Динаміка показників обмінної кислотності ($\Delta pH_{\text{ккл}}$) ґрунту до вихідних даних протягом восьмирічного періоду вирощування культур сівозмінн

Встановлення за результатами досліджень ступенів нейтралізації ґрунтової кислотності та закономірності повторного підкислення ґрунту в часі за внесення різних доз CaCO₃ може служити надійним науковим підґрунтям для встановлення оптимальних їх доз, виходячи з вимог вирощуваних

сільськогосподарських культур до реакції ґрунтового середовища та визначення їх черговості вирощування на полі після вапнування з тим, щоб вона у такий рік була для них найбільш сприятливою.

Створення експериментальних ділянок з широким діапазоном рівнів кислотності, що обмінюються ґрунтом, надало цінну платформу для дослідження потенціалу оптимізації практик вапнування для різних сільськогосподарських культур. Такий підхід гарантує, що рН ґрунту підтримується на рівнях, які підтримують оптимальний ріст сільськогосподарських культур та врожайність.

Картопля. Вирощувалась першою культурою восьмипільної сівозміни у перший рік після вапнування ґрунту за інтервалу pH_{KCl} 4,38–7,35. Картопля краще реагувала на удобрення ніж на вапно на фоні мінеральних добрив. Якщо на фоні 50 т/га гною врожайність бульб становила 18,7 т/га, то за додаткового внесення $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ приріст урожайності становив 2,8 т/га. За зміщення реакції ґрунту внаслідок дії різних доз вапна на фоні попереднього удобрення до pH_{KCl} 6,12–7,35 од. урожайність бульб становила 21,7–22,6 т/га, тобто приріст не перевищував істотної різниці досліду за $p=0,05$. Отримані дані свідчать, що картопля належить до малочутливих до кислотності ґрунту культур, і вапнування не впливало на її врожайність (рис. 2).

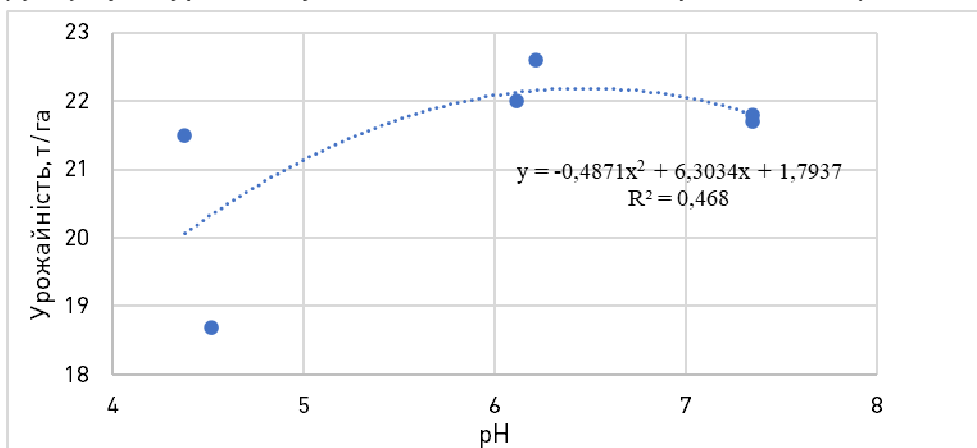


Рис. 2. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю бульб картоплі і pH_{KCl} ґрунту

Вика+овес на зелений корм. Для вики оптимальною є слабокисла реакція ґрунту, тоді як овес може добре рости в широкому діапазоні рН (pH 5,0–7,5) [15]. Також підкреслено, що хоча рослини вівса мають діапазон толерантності до алюмінію (Al^{3+}), але вони краще справляються з кислим ґрунтом ніж інші зернові

культури [16].

Отримані експериментальні дані свідчать, що внесення на фоні післядії гною $N_{60}P_{60}K_{60}$ до pH_{KCl} 4,6 забезпечило врожайність зеленої маси 24,4 т/га, а за pH_{KCl} 5,7–7,6 од. – 27,3–27,8 т/га. Зміщення реакції ґрунту від pH_{KCl} 5,7 в бік лужної не супроводжувалось підвищенням врожайності (рис. 3).

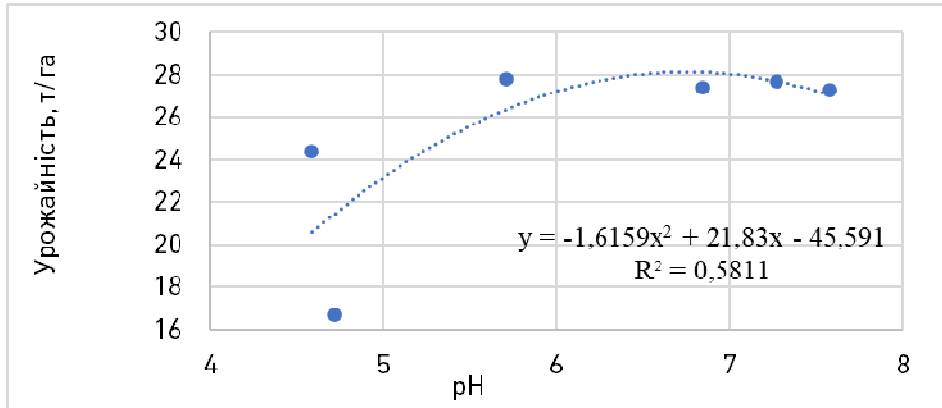


Рис. 3. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю зеленої маси вико-вівсяної сумішки і pH_{KCl} ґрунту

Жито озиме. Добре реагувало на покращення поживного режиму ґрунту, але було малочутливим до реакції ґрунтового розчину. За pH_{KCl} ґрунту 4,7 од. застосування під жито озиме $N_{40}P_{60}K_{60}$ сприяло підвищенню врожайності зерна до 2,69 т/га за 2,29 т/га на контролі, тобто на 17,5%.

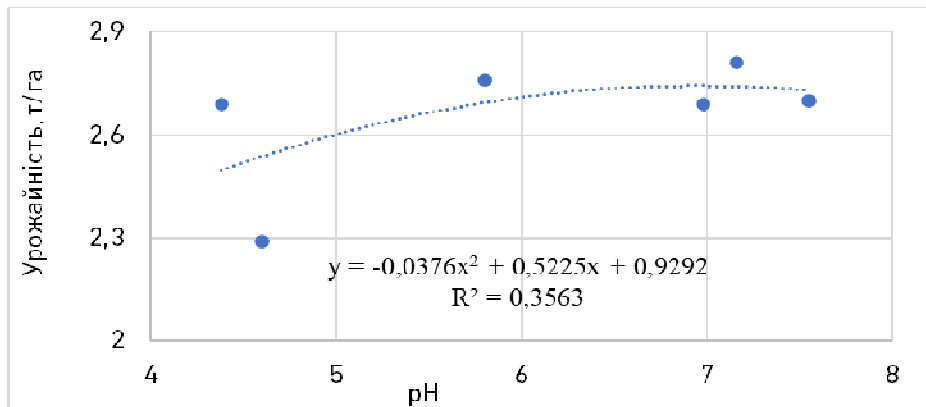


Рис. 4. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю зерна жита озимого і pH_{KCl} ґрунту

Нейтралізація кислотності ґрунту різними дозами вапна до pH_{KCl} 5,8–7,6 не забезпечувала підвищення врожайності порівняно з $N_{40}P_{60}K_{60}$, яка варіювала в межах 2,69–2,81 т/га (рис. 4).

Льон-довгунець. Льон вважається стійкою до кислотності ґрунту культурою, але дуже чутливою до токсичної дії іонів алюмінію. За літературними даними льон погано переносить високу концентрацію кальцію у ґрунтовому розчині [17].

Результати наших досліджень засвідчили, що льон позитивно реагував як на мінеральні добрива, так і вапнування. Внесення $N_{30}P_{60}K_{90}$ у варіанті без вапнування (pH_{KCl} вихідний 4,6) забезпечило підвищення врожайності соломки на 32%, а насіння – на 49% за врожайності на контролі відповідно 2,75 і 0,43 т/га. Зниження кислотності ґрунту до pH_{KCl} 6,7 на такому фоні удобрення сприяло зростанню врожайності соломки до 4,52 т/га, або на 24% порівняно з фоном. Проте за зміщення реакції ґрунту понад pH 7,3 відмічалось істотне зниження врожайності соломки (рис. 5, А). Врожайність насіння льону менше залежала від реакції ґрунту і у варіантах із вапнуванням не мала істотної різниці приросту урожаю насіння (рис. 5, Б). Це підтверджують отримані поліноміальні залежності урожайності і pH ґрунту, коефіцієнт кореляції для соломки 0,86 вказує на тісний зв'язок між досліджуваними чинниками.

Конюшина лучна. Досить добре реагувала на підживлення фосфорними і калійними добривами та зниження кислотності ґрунту. Внесення $P_{60}K_{90}$ за pH_{KCl} ґрунту 4,4; 5,7 і 5,9 сприяло підвищенню врожайності зеленої маси відповідно на 23; 43 і 50 % щодо контролю, де вона становила 26,4 т/га. Залежність урожайності конюшини від зміни pH ґрунту на рівні $R=0,90$ вказує на дуже тісний зв'язок між цими чинниками.

Буряк кормовий. Порівняно з іншими культурами сівозміни найкраще реагував на зниження кислотності ґрунту. Якщо за внесення 80 т/га гною і на його фоні $N_{120}P_{120}K_{120}$ урожайність коренеплодів без вапнування ґрунту становила відповідно 30,0 і 38,4 т/га, то за зміщення реакції ґрунту з pH_{KCl} 4,6 на фоні органічно-мінерального удобрення до pH_{KCl} 5,5; 6,3 і 7,3 за різних доз вапна вона підвищилась відповідно до 65,5; 76,8 і 84,6 т/га, або відповідно у 1,7;

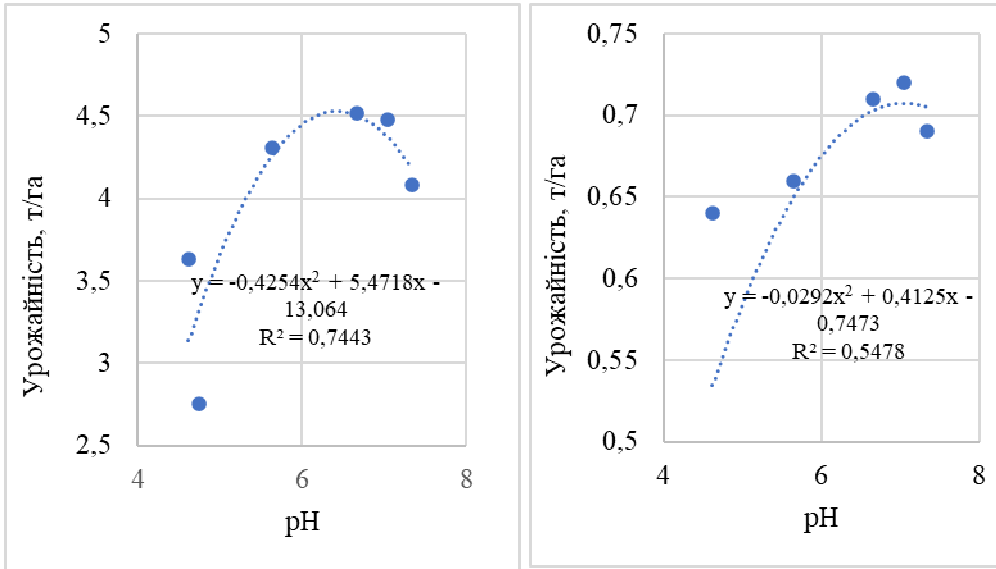


Рис. 5. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю соломки (А) і насінням (Б) льону-довгунця та pH_{KCl} ґрунту

2,0 і 2,2 рази. Поліноміальна залежність дозволила встановити тісний зв'язок між урожайністю культури і pH ґрунту у варіантах за коефіцієнта кореляції $R=0,96$ (рис. 7).

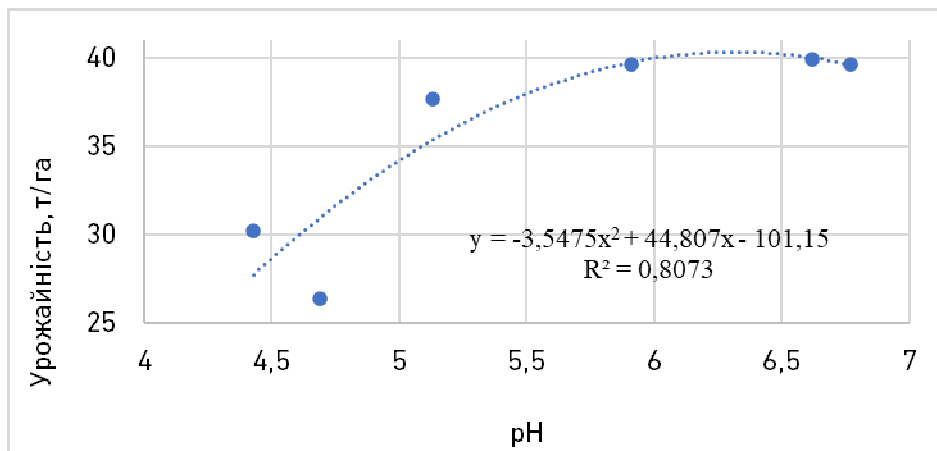


Рис. 6. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю конюшини лучної та pH_{KCl} ґрунту

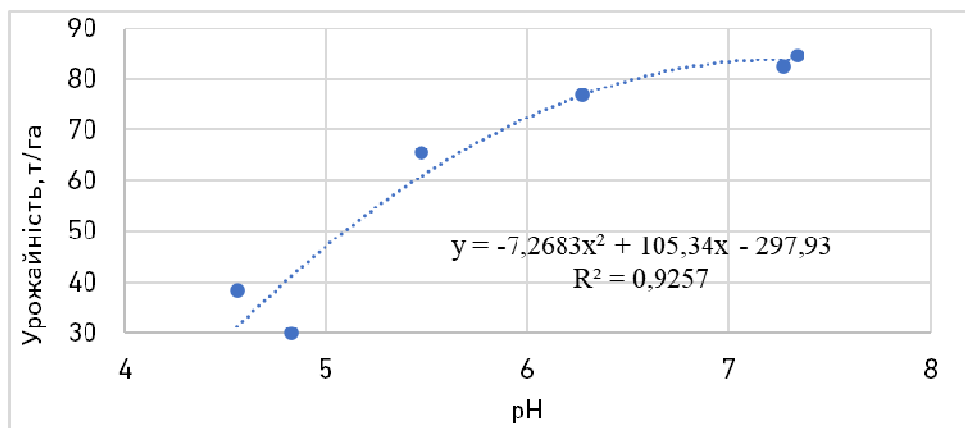


Рис. 7. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю буряка кормового та рН_{ккл} ґрунту

Ячмінь ярий. На фоні внесення $N_{40}P_{60}K_{60}$ за рН_{ккл} ґрунту 4,6 врожайність підвищилась до 7,38 т/га, або на 31% порівняно з контролем. За зміщення на фоні мінерального удобрення реакції ґрунту до рН_{ккл} 5,3 врожайність зерна зростає до 3,34 т/га, але подальше зниження кислотності до рН_{ккл} 6,2; 6,9 і 7,1 не супроводжувалось її підвищенням. Аналогічно, високі норми вапна (6,85 та 8,22 т·га⁻¹) не спричинили пропорційного збільшення врожайності ячменю в експерименті, незважаючи на значне підвищення рН ґрунту [18].

Пшениця озима. Належить до найбільш вимогливих до реакції ґрунту культур. За результатами наших досліджень була єдиною з культур сівозміни, яка не відгукувалась на внесення мінеральних добрив за дуже кислої реакції ґрунту. У варіанті досліду з внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ за рН_{ккл} 4,5 врожайність зерна становила 2,62 т/га, а на контролі – 2,65 т/га. Зміщення на фоні мінерального удобрення реакції ґрунту за рахунок післядії 8-го року вапнування до рН_{ккл} 4,9; 5,9 і 6,3 сприяло підвищенню врожайності відповідно до 3,39; 3,54 і 3,73 т/га, або на 28; 34 і 41% по відношенню до контролю, проте доведення рН_{ккл} ґрунту до 6,5 не приводило до істотного збільшення врожайності. Проте поліноміальна залежність вказує на тісний зв'язок між рівнем рН і урожайністю зерна пшениці озимої, коефіцієнт кореляції $R=0,95$ (рис. 8).

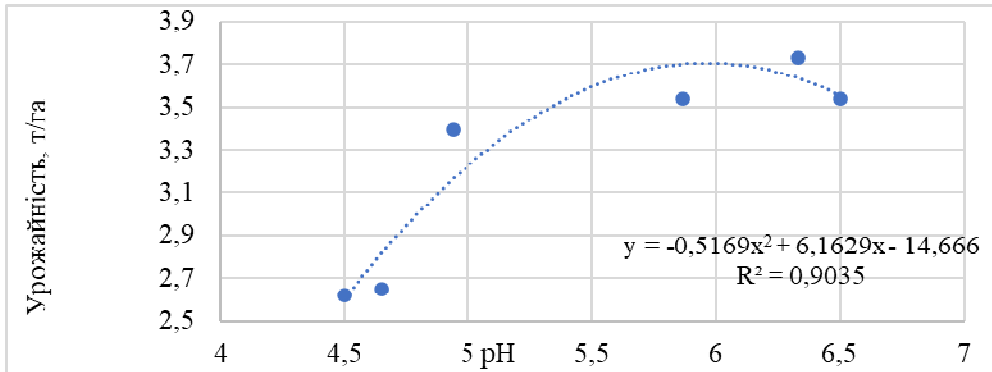


Рис. 8. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю зерна пшениці озимої та рН_{ксі} ґрунту

Ґрунтуючись на початковій ефективності, що спостерігалася протягом перших 3 років, дослідження показують, що переваги застосування вапна можуть виходити за межі цього терміну. Таким чином, моніторинг рН ґрунту та врожайності сільськогосподарських культур у часі забезпечує більш повну оцінку реакції на поверхневе внесення вапна. Це підкреслює важливість врахування довгострокового впливу вапнування та впровадження стратегій для підтримки оптимального рН ґрунту для сталої продуктивності сільськогосподарських культур.

Висновки. Результати досліджень свідчать про те, що адаптація кислотності ґрунту для досягнення оптимального діапазону рН для конкретної культури (5,3–7,3 рН_{ксі} у цьому дослідженні) може бути ефективною стратегією для покращення продуктивності сільськогосподарських культур на подібних типах ґрунтів.

1. За вапнування дерново-підзолистого піщаного ґрунту 0,5; 1,0; і 2,0 дозами CaCO₃, розрахованих за гідролітичною кислотністю (Нг) для кожного варіанта, рівень рН_{ксі} ґрунтового розчину змінювався впродовж восьмирічного періоду відповідно у межах 6,1–4,9; 7,0–5,9; 7,4–6,3 і 7,6–6,5 за вихідного 4,6–4,8. На практиці при виборі найбільш раціональної дози вапна насамперед слід керуватись вимогами до реакції ґрунту вирощуваних культур та економічною доцільністю.

2. Результати проведених досліджень засвідчили, що на фоні удобрення найвищі статистично підтверджені прирости врожайності культури сівозміни отримані за рН_{ксі} ґрунту, од.: вико-вівсяна сумішка

– 5,7; жито озиме – 5,8; льон-довгунець – 5,6; буряк кормовий – 7,3; ячмінь ярий – 5,3; конюшина лучна – 5,1; пшениця озима – 6,3. Картопля не реагувала на зміну реакції ґрунту в межах 4,4–7,4 рН_{КСІ}.

3. Істотні прирости врожайності культур сівозміни до фонів, передбачених програмою досліджень систем їх удобрення, від оптимізації кислотності ґрунту становили, %: картопля – 0; вико-вівсяна сумішка – 14; жито озиме – 0; льон-довгунець 24 (соломка), 11 (насіння); буряк кормовий – 120; ячмінь ярий – 40; конюшина лучна – 25; пшениця озима – 42.

Результати досліджень свідчать про те, що адаптація кислотності ґрунту для досягнення оптимального діапазону рН для конкретної культури (5,3–7,3 рН_{КСІ} у цьому дослідженні) може бути ефективною стратегією для покращення продуктивності сільськогосподарських культур на подібних типах ґрунтів.

1. Ходаківська О. В., Гладуненко Р. В., Корчинська С. Г., Ткачук Л. П. Хімічна меліорація кислих ґрунтів: організаційно-економічні заходи та сучасні технологічні рішення. *Економіка АПК*. 2021. № 4. С. 40–50. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202104040>. 2. Ткаченко М., Борис Н. Оптимізація живлення сільськогосподарських культур за фізико-хімічної деградації кислих ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 99 (1). С. 15–22. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-02>. 3. Крупко Г. Динаміка кислотності ґрунтів Рівненської області. *Scientific Collection «InterConf»*. 2022. Вип. 123. С. 236–240. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/1266>. (дата звернення: 10.11.2024). 4. Holland J. E., White P. J., Glendining M. J., Goulding K. W. T., McGrath S. P. Yield responses of arable crops to liming – an evaluation of relationships between yields and soil pH from a long-term liming experiment. *Eur. J. Agron.* 2019. Вип. 105. С. 176–188. doi: 10.1016/j.eja.2019.02.016. 5. Tshiabukole J. P. K., Khonde G. P., Phongo A. M., Ngoma N., Vumilia R. K., Kankolongo A. M. Liming and mineral fertilization of acid soils in maize crop within the savannah of southwestern of democratic republic of Congo. *OALib*. 2022. Вип. 09 (03). С. 1–10. doi: 10.4236/oalib.1108412. 6. Enesi R. O., Dyck M., Chang S., Thilakarathna M. S., Fan X., Strelkov S., Gorim L. Y. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability—a meta-analysis. *Frontiers in Agronomy*. 2023. Вип. 5. Р. 1194896. DOI: 10.3389/fagro.2023.1194896. 7. Прокопенко С. М., Міцай С. Г., Несін І. В. та ін. Ресурсозберігаючі прийоми меліорації кислих ґрунтів. *Охорона ґрунтів* : зб. наук. праць. 2022. Вип. 12. С. 197–205. URL: <https://www.iogu.gov.ua/literature/soil/14-%D0%92%D0%B8%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%20%E2%84%96%2012>

%20(2022).pdf#page=197. (дата звернення: 10.11.2024). **8.** Holland J. E., Bennett A. E., Newton A. C., White P. J., McKenzie B. M., George T. S., et al. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review. *In Sci. Total Environ.* 2018. Вип. 610–611. С. 316–332. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.020.

9. Jovovic Z., Dolijanovic Z., Spalevic V., Dudic B., Przulj N., Velimirovic A., Popovic V. Effects of Liming and Nutrient Management on Yield and Other Parameters of Potato Productivity on Acid Soils in Montenegro. *Agronomy.* 2021. Вип. 11(5). С. 980. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050980>.

10. Waterer D. Incidence d'un pH élevé du sol sur le rendement de la pomme de terre et les pertes attribuables à la gale commune. *Can. J. Plant Sci.* 2002. Вип. 82. С. 583–586. URL: <https://cdns.csciencepub.com/doi/abs/10.4141/P01-046>. (дата звернення: 10.11.2024).

11. Польовий В. М., Лукащук Л. Я., Лаврук М. М. Реакція пшениці озимої на удобрення залежно від кислотності дерново-підзолистого ґрунту. *Вісник аграрної науки.* 2012. № 3. С. 18–21.

12. Polovuу V., Hnativ P., Ivaniuk V., Vaha N., Parkhuts B., Yuvchik N., Avhustynovych M. Effects of lime and fertiliser on productivity of Albic Retisols. *International Journal of Environmental Studies.* 2023. Вип. 80(2). С. 464–475. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2179755>.

13. Li Y., Cui S., Chang S., Zhang Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments.* 2019. Вип. 19. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>.

14. Oliver Y. M., Gazey C., Fisher J., Robertson M. Dissection of the Contributing Factors to the Variable Response of Crop Yield to Surface Applied Lime in Australia. *Agronomy.* 2021. Вип. 11(5). С. 829. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050829>.

15. Glovin N. M., Martinenko Z. O. Study of the causes of the occurrence and influence of soil acidity on the yield of agricultural crops agricultural holdings of Ternopol region. *Colloquium-journal.* 2022. Вип. 17(140). С. 54–58. URL: <https://colloquium-journal.org/wp-content/uploads/2022/07/Colloquium-journal-2022-140-1.pdf> (дата звернення: 10.11.2024).

16. Nava I. C., Delatorre C. A., de Lima Duarte I. T., Pacheco M. T. Inheritance of Aluminum Tolerance and its Effects on Grain Yield and Grain Quality in Oats (*Avena Sativa* L.). *Euphytica.* 2006. Вип. 148. С. 353–358. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-9048-5>.

17. Tkachenko M. A., Kondratiuk I. M., Borys N. E. Chemical reclamation of acidic soils : monograph. Vinnytsia : Tvory LLC, 2019. 318 p. URL: https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2020/12/monografiya_himichna-melioratsiya-kislih-gruntiv_2019.pdf. (дата звернення: 10.11.2024).

18. Haile G., Berihun H., Abera H., Agegnehu G., Lemenih M. Soil properties, crop yield, and economic return in response to lime application on acidic nitisols of Southern Highlands of Ethiopia. *International Journal of Agronomy.* 2023. P. 6105725. DOI:10.1155/2023/6105725.

REFERENCES:

1. Khodakivska O. V., Hladunenکو R. V., Korchyńska S. H., Tkachuk L. P. Khimichna melioratsiia kyslykh gruntiv: orhanizatsiino-ekonomichni zakhody ta suchasni tekhnolohichni rishennia. *Ekonomika APK*. 2021. № 4. S. 40–50. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202104040>.
2. Tkachenko M., Borys N. Optyimizatsiia zhyvlennia silskohospodarskykh kultur za fizyko-khimichnoi dehradatsii kyslykh gruntiv. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2021. № 99 (1). S. 15–22. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-02>.
3. Krupko H. Dynamika kyslotnosti gruntiv Rivnenskoï oblasti. *Scientific Collection «InterConf»*. 2022. Vyp. 123. S. 236–240. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/1266>. (data zvernennia: 10.11.2024).
4. Holland J. E., White P. J., Glendining M. J., Goulding K. W. T., McGrath S. P. Yield responses of arable crops to liming – an evaluation of relationships between yields and soil pH from a long-term liming experiment. *Eur. J. Agron.* 2019. Vyp. 105. S. 176–188. doi: 10.1016/j.eja.2019.02.016.
5. Tshiabukole J. P. K., Khonde G. P., Phongo A. M., Ngoma N., Vumilia R. K., Kankolongo A. M. Liming and mineral fertilization of acid soils in maize crop within the savannah of southwestern of democratic republic of Congo. *OALib*. 2022. Vyp. 09 (03). S. 1–10. doi: 10.4236/oalib.1108412.
6. Enesi R. O., Dyck M., Chang S., Thilakarathna M. S., Fan X., Strelkov S., Gorim L. Y. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability-a meta-analysis. *Frontiers in Agronomy*. 2023. Vyp. 5. P. 1194896. DOI10.3389/fagro.2023.1194896.
7. Prokopenko S. M., Mitsai S. H., Nesin I. V. ta in. Resursozberihaiuchi pryiomy melioratsii kyslykh gruntiv. *Okhorona gruntiv : zb. nauk. prats*. 2022. Vyp. 12. S. 197–205. URL: [https://www.iogu.gov.ua/literature/soil/14-%D0%92%D0%B8%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%20%E2%84%96%2012%20\(2022\).pdf#page=197](https://www.iogu.gov.ua/literature/soil/14-%D0%92%D0%B8%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%20%E2%84%96%2012%20(2022).pdf#page=197). (data zvernennia: 10.11.2024).
8. Holland J. E., Bennett A. E., Newton A. C., White P. J., McKenzie B. M., George T. S., et al. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review. *In Sci. Total Environ.* 2018. Vyp. 610–611. S. 316–332. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.020.
9. Jovovic Z., Dolijanovic Z., Spalevic V., Dudic B., Przulj N., Velimirovic A., Popovic V. Effects of Liming and Nutrient Management on Yield and Other Parameters of Potato Productivity on Acid Soils in Montenegro. *Agronomy*. 2021. Vyp. 11(5). S. 980. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050980>.
10. Waterer D. Incidence dun pH élevé du sol sur le rendement de la pomme de terre et les pertes attribuables à la gale commune. *Can. J. Plant Sci.* 2002. Vyp. 82. S. 583–586. URL: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.4141/P01-046>. (data zvernennia: 10.11.2024).
11. Polovyi V. M., Lukashchuk L. Ya., Lavruk M. M. Reaktsiia pshenytsi ozymoi na udobrennia zalezho vid kyslotnosti dernovo-pidzolystoho gruntu. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2012. № 3.

S. 18–21. **12.** Polovyy V., Hnativ P., Ivaniuk V., Vaha N., Parkhuts B., Yuvchik N., Avhustynovych M. Effects of lime and fertiliser on productivity of Albic Retisols. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vyp. 80(2). S. 464–475. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2179755>. **13.** Li Y., Cui S., Chang S., Zhang Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*. 2019. Vyp. 19. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>. **14.** Oliver Y. M., Gazey C., Fisher J., Robertson M. Dissection of the Contributing Factors to the Variable Response of Crop Yield to Surface Applied Lime in Australia. *Agronomy*. 2021. Vyp. 11(5). S. 829. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050829>. **15.** Glovin N. M., Martinenko Z. O. Study of the causes of the occurrence and influence of soil acidity on the yield of agricultural crops agricultural holdings of Ternopol region. *Colloquium-journal*. 2022. Vyp. 17(140). S. 54–58. URL: <https://colloquium-journal.org/wp-content/uploads/2022/07/Colloquium-journal-2022-140-1.pdf> (data zvernennia: 10.11.2024). **16.** Nava I. C., Delatorre C. A., de Lima Duarte I. T., Pacheco M. T. Inheritance of Aluminum Tolerance and its Effects on Grain Yield and Grain Quality in Oats (*Avena Sativa* L.). *Euphytica*. 2006. Vyp. 148. S. 353–358. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-9048-5>. **17.** Tkachenko M. A., Kondratiuk I. M., Borys N. E. Chemical reclamation of acidic soils : monograph. Vinnytsia : Tvory LLC, 2019. 318 p. URL: https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2020/12/monografiya_himichna-melioratsiya-kislih-gruntiv_2019.pdf. (data zvernennia: 10.11.2024). **18.** Haile G., Berihun H., Abera H., Agegnehu G., Lemenih M. Soil properties, crop yield, and economic return in response to lime application on acidic nitisols of Southern Highlands of Ethiopia. *International Journal of Agronomy*. 2023. P. 6105725. DOI:10.1155/2023/6105725.

Polovyi V. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Institute of Agriculture of Western Polissia of NAAS, vil. Shubkiv), **Yashchenko L. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor**, (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Holub C. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk), **Kutuza D. M., Senior Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

YIELD OF TRADITIONAL CROPS IN THE POLISSIA REGION IS INFLUENCED BY THE DYNAMICS OF EXCHANGE ACIDITY IN SOD-PODZOLIC SOIL OVER TIME, DEPENDING ON VARYING RATES OF CaCO_3 APPLICATION

In Ukraine, approximately 10.3 million hectares (26.3% of total arable land) are classified as acidic soils. In the Rivne region, 32.6% of total arable land is classified as acidic, ranging from very strongly acidic (9%) to slightly acidic (12%). The objective of this study is to analyze the duration of the effect of different lime rates on the dynamics of soil exchange acidity and crop response to corresponding shifts in pH levels. An eight-year field experiment investigated the impact of varying lime (CaCO_3) application rates on soil acidity (pH) and crop yields in sod-podzolic soil. Mineral fertilizers (ammonium nitrate, granulated superphosphate, and potassium chloride) were applied under each crop in the rotation according to the experimental scheme. Cattle manure was applied to potatoes (50 t ha^{-1}) and fodder beet (80 t ha^{-1}). The crop rotation area saturation was 16 t ha^{-1} of manure and $\text{N}_{55}\text{P}_{68}\text{K}_{75}$ of mineral fertilizer. Crop yields were determined by separate-plot weighing.

Before starting the experiment, chemical amelioration was carried out with lime (83.7–92.1% CaCO_3). The physical application rate of lime was calculated based on the soil's hydrolytic acidity (Hh). The following lime doses (t ha^{-1}) were applied: 0.5 Hh CaCO_3 (1.8 t ha^{-1}); 1.0 Hh CaCO_3 (3.6 t ha^{-1}); 1.5 Hh CaCO_3 (5.5 t ha^{-1}); 2.0 Hh CaCO_3 (7.0 t ha^{-1}).

Lime application rates (0.5–2.0 Hh CaCO_3 , equivalent to $1.8\text{--}7.0 \text{ t ha}^{-1}$) significantly increased soil pH from an initial range of 4.6–4.8 to a final range of 6.1–7.6 within the first three years.

However, soil pH exhibited a tendency to re-acidify by the experiment's end, with final values ranging from 4.9 to 6.5. Crop responses to liming varied considerably. Potato yield remained unaffected within the tested pH range (4.4–7.4), while vetch-oat green mass (pH 5.7), winter rye (pH 5.8), flax (pH 5.6), fodder beet (pH 7.3), spring barley (pH 5.3), meadow clover (pH 5.9), and winter wheat (pH 6.3) achieved their highest yields under these optimized pH conditions. Compared to control plots, crop yield increases ranged from 0% to 120% across the studied crops under different liming rates. The most substantial yield increases were observed for fodder beet (120%) and winter wheat (42%).

These results underscore the importance of considering crop-specific pH optima and tailoring liming rates accordingly. Optimizing soil pH to match crop requirements can lead to substantial yield enhancements for various agricultural crops.

Keywords: crop yield; exchangeable acidity; lime; rate; aftereffect.

Прищеп А. М., д.с.-г.н., професор, Фізик І. В., к.с.-г.н., доцент, Калужний І. Ю., здобувач вищої освіти третього рівня (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, a.m.pryshchepa@nuwm.edu.ua, i.v.fizyk@nuwm.edu.ua, i.yu.kaluzhnyj@nuwm.edu.ua)

ОЦІНКА СУЧАСНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ВИКОРИСТАННЯ БЕРЕЗНІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ДЕНДРОЛОГІЧНОГО ПАРКУ

У статті розглядається сучасний екологічний стан використання Березнівського державного дендропарку, одного з найбільших природоохоронних об'єктів Рівненської області України. Метою дослідження є оцінка екологічного стану парку, зокрема його флори та фауни, а також виявлення загроз і проблем, що виникають через зміни клімату та антропогенні впливи. Для цього застосовано комплексний підхід, що включає аналіз матеріалів, картографії та даних інвентаризацій, а також проведення SWOT-аналізу. Розглянуто основні аспекти функціонування дендропарку, включаючи його біорізноманіття, соціальні та економічні функції, а також загрози для його сталого розвитку. Оцінка біорізноманіття показала, що парк багатий на різноманітні види дерев і чагарників (750 таксонів рослин, що належать до 47 родин і 124 родів). Виявлено, що серед основних проблем є зміни клімату, недостатня вологість, загущення деревних насаджень, а також знос інфраструктури парку. Встановлено, що дендропарк має значний потенціал для розвитку екологічного туризму та покращення рекреаційних умов. Для забезпечення сталого функціонування парку необхідна комплексна реконструкція інфраструктури, оновлення колекцій рослин та розробка стратегічного плану розвитку, орієнтованого на збереження біорізноманіття, розвиток туризму та залучення інвестицій.

Ключові слова: дендропарк; біорізноманіття; екологічний туризм; сталий розвиток; SWOT-аналіз; Березнівський дендропарк; екологічний стан; інфраструктура.

Постановка проблеми. На сьогодні дендрологічні парки займають важливе місце в збереженні біологічного різноманіття [1]. В останні десятиліття вони набули великого значення для суспільства завдяки своїй ролі в охороні навколишнього середовища та просвітницькій діяльності [2]. Разом з ботанічними садами, заповідниками, заказниками та національними природними парками дендропарки утворюють основні природні ядра екологічної мережі України [3]. За кількістю та площами дендрологічні парки загальнодержавного та місцевого значення (45 об'єктів), а також парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва (539 об'єктів), є одними з найбільших серед інших природоохоронних територій. Дендропарки у міських системах стають незамінними елементами, що забезпечують не лише екологічну стабільність, але і соціальний комфорт та економічний розвиток. Дендропарки є важливими елементами міського ландшафту, які виконують багатофункціональні екологічні, соціальні та економічні ролі в забезпеченні сталого розвитку міст [4–5]. Вони служать не тільки природними резервуарами біорізноманіття, але й важливими рекреаційними зонами для мешканців, а також значущими осередками природоохоронної діяльності. Збереження та належне управління дендропарками сприяє досягненню цілей сталого розвитку міст, сприяючи їх екологічній стабільності, економічній життєздатності та соціальному добробуту. Тож оцінка сучасного стану дендропарків є актуальним питанням.

Аналіз літературних джерел [1–3, 6–11] показав, що дослідження дендропарків здійснюється з різним напрямом, зокрема збереженні біорізноманіття, впливу кліматичних змін, та інтеграції дендропарків у міські екосистеми. Значна кількість досліджень присвячена дослідженню ефективності вирощування і пристосування екзотичних видів до місцевих умов, аналіз ризиків та вигоди від інтродукції нових видів, забезпечення генетичного збереження та підтримки видів у дендропарках, аналіз впливу зміни клімату на видовий склад і фізіологічний стан рослин у дендропарках, а також адаптаційних механізмів рослин до нових кліматичних умов.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є оцінка сучасного екологічного стану та використання Березнівського державного дендрологічного парку в контексті його сталого функціонування. Завдання дослідження полягають у наступному:

оцінити екологічний стан парку, зокрема стан флори та фауни, а також виявити можливі екологічні проблеми та загрози для біорізноманіття, дослідити використання природних ресурсів парку, звертаючи увагу на ефективність їх використання для рекреаційних, освітніх та наукових цілей, визначити вплив антропогенних факторів на екосистему, зокрема на стан рослинності та природних ландшафтів. На основі отриманих результатів буде розроблено рекомендації для сталого функціонування та розвитку Березнівського дендрологічного парку з урахуванням сучасних вимог до охорони природи, збереження біорізноманіття та екологічної стійкості.

Об'єкт дослідження – природно-екологічний стан, структура флори та фауни, а також процеси, пов'язані з використанням і сталим функціонуванням Березнівського державного дендропарку. Предметом дослідження є показники біорізноманіття, екологічних, рекреаційних і соціальних функцій Березнівського державного дендропарку, а також аналіз його ефективного управління, охорони та розвитку в контексті сучасних екологічних та соціальних викликів.

Матеріалі методика дослідження. Для дослідження використовувалися як письмові, так і картографічні матеріали. Серед письмових джерел були опрацьовані закони, що регулюють природоохоронні території в Україні, дані Міністерства екології та природних ресурсів України, наукові публікації й інтернет-ресурси. Картографічні матеріали включали фізико-географічні, адміністративні та супутникові карти України, каталоги з інвентаризаційними відомостями, план-схемами посадок та відомостей щодо місць отримання садивного матеріалу, інформація про дендрологічний парк. Методи дослідження дендропарку включають комплекс підходів, що дозволяють оцінити екологічний, біологічний та соціальний аспекти його функціонування.

Виклад основного матеріалу. Березнівський дендропарк розташований на території Березнівської міської територіальної громади Рівненської області України. Він займає площу 29,5 га (рис. 1). Це один із найбільших і найцінніших природно-заповідних об'єктів у регіоні, є дев'ятим за розмірами в Україні, має важливе значення для збереження біорізноманіття, розвитку екологічного туризму та забезпечення рекреаційних потреб населення.



Рис. 1. Місце розташування Березнівського державного дендрологічного парку

На основі ретроспективного аналізу встановлено, що заснування дендропарку відбулося у 1979 році, і протягом 10 років проводилися роботи щодо планування території та ландшафтних композицій, підбору та висадки деревних рослин. Статус державного значення дендропарк отримав у 1989 році. Понад 1000 деревних рослин були об'єднані за ботаніко-географічними зонами, а в межах зон – за систематичним принципом; крім цього, були створені колекційно-експозиційні ділянки. У 1986 році в парку налічувалося 1350 таксонів. Внаслідок процесів акліматизації та адаптації певна частина таксонів, висаджених у Березнівському дендропарку, загинула. Це сталося через те, що деякі види, особливо з Японо-Китайського регіону, Кавказу та Середньої Азії, виявилися не зовсім пристосованими до кліматичних та ґрунтових умов північно-західної частини України. Багато з цих рослин не змогли витримати зимові морози, змінні температури або недостатню кількість опадів, що є типовими для цієї географічної зони. Крім того, важливим фактором стала різниця в екологічних умовах, зокрема склад ґрунтів, рівень вологи, а також локальні кліматичні умови, які значно відрізняються від тих, до яких ці рослини були звиклі у своїх природних

середовища існування. Наприклад, для представників Японо-Китайського регіону властиві м'якші зими, що не дозволяє їм вижити при низьких температурах північних широт. Рослини з Кавказу та Середньої Азії мають специфічні вимоги до ґрунту та клімату, які не завжди можуть бути повністю задоволені в умовах України. У 2008 році була проведена інвентаризація дендропарку, і визначено, що в колекційному фонді дендропарку нараховується понад 750 таксонів, що належать до 2 класів, 47 родин, 124 родів [7; 11–13].

На основі проведеного ретроспективного аналізу можна зробити такі висновки: по-перше, Березнівський дендропарк, заснований у 1979 році, став результатом багаторічної праці з планування, ландшафтного дизайну та підбору рослин; по-друге, незважаючи на значні зусилля, пов'язані з акліматизацією екзотичних видів, природні умови північно-західної частини України виявилися суворими для багатьох рослин; по-третє, попри певні втрати, парк залишається цінним об'єктом для наукових досліджень, освіти та рекреації, а отримані дані можуть бути використані для подальшого розвитку дендропарку та оптимізації підбору рослин, що дозволить створити більш стійку та різноманітну колекцію.

Досліджено абіотичні умови та вплив факторів навколишнього середовища на стан екосистем парку. Визначено, що дендропарк є невід'ємною частиною природного ландшафту Західного Полісся, органічно вписуючись у його екосистему. Помірно континентальний клімат регіону створив сприятливі умови для розвитку різноманітних видів рослин, які представлені в колекційних фондах парку. Дендропарк, незважаючи на високе біорізноманіття, стикається з низкою загроз, пов'язаних зі зміною клімату та антропогенним впливом. Зокрема, в останні роки відзначається нестача вологи в окремих ділянках, що, як наслідок, спричиняє проблеми з посухостійкістю у значної частини дерев. Однією з проблем парку є загушення деревних насаджень у деяких зонах, що призводить до порушення природних процесів і зниження естетичної та екологічної цінності ландшафтів. Це створює умови для розвитку хвороб і шкідників, а також обмежує доступ світла до нижнього ярусу рослинності. Виявлено порушення санітарного стану в деяких частинах парку, особливо в старих ділянках розсадників [8; 9].

Оцінка біорізноманіття [13] показала, що парк багатий на різноманітні види дерев і чагарників (750 таксонів рослин, що

належать до 47 родин і 124 родів), зокрема ті, що входять до складу колекційних фондів. Нами проаналізовано життєві форми рослин: деревні форми (дерева, кущі) та ліани (рис. 2). За життєвими формами у дендроколекціях переважають дерева.

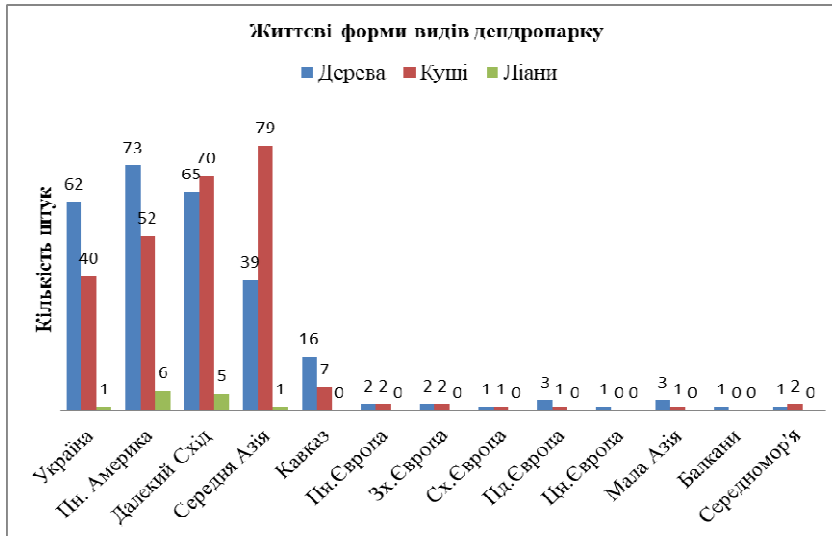


Рис. 2. Аналіз життєвих форм ботаніко-географічних зон парку

Визначено, що 27% дерев представлені в ботаніко-географічній зоні Північної Америки, 24% – Далекого Сходу, 23% – Кавказу та 15% – Середньої Азії.

Оцінка дендрологічної цінності парку представлена за матеріалами [3] табл. 1. Науковці провели детальне дослідження дендрологічної цінності парку за 11 критеріями за 5-бальною шкалою, застосували методику, рекомендовану провідними фахівцями в галузі садово-паркового мистецтва Н. О. Олексійченко та Н. В. Гатальською [6].

Таблиця 1

Оцінка дендрологічної цінності (складено за матеріалами [3])

Критерії	Характеристика	Бали
Наявність документальних відомостей про історію створення та розвитку об'єкта	Наявна чітка та повна документацію, що включає каталоги з інвентаризаційними відомостями, план-схеми посадок, а також інформацію щодо місць отримання садивного матеріалу	5
Таксономічний склад колекцій	Має високу таксономічну різноманітність – 572 таксони (432 види, 23 підвиди, 11 різновидів та 106 культиварів)	5
Наявність рідкісних видів і вікових дерев	Виявлено 94 рідкісні види та 3 різновиди, що становить 17,1% загального дендроскладу парку	3
Принципи формування колекцій	При закладанні насаджень у парку застосовувалися географічний і систематичний принципи, а в межах локальних груп – фізіономічний., виявлено порушення на окремих ділянках	4
Відповідність розміщення рослин екологічним вимогам	При створенні парку, екологічний принцип не був значною мірою врахований, адже умови для рослин на всій території були однаковими. Парк був орієнтований на випробування екзотичних видів деревних рослин. Зараз, під впливом абіотичних факторів (загущення, бідні ґрунти, відсутність достатнього зволоження), колекція знаходиться в задовільному стані	3
Вікова структура насаджень	Вікова структура насаджень є різноманітною, що сприяє підвищенню природоохоронної цінності парку	4
Зимостійкість насаджень	Більше 80% видів у парку є зимостійкими	5
Посухостійкість насаджень	Понад 24% деревних рослин у парку страждають від посухи	4
Природне поновлення інтродукованих видів	Природне поновлення інтродукованих видів становить близько 10% від загальної кількості колекційних рослин	1
Декоративні характеристики	Добре розвинена композиція, з різними формами мікрорельєфу, чітко вираженими композиційними акцентами та візуальними зв'язками	4
Особливості догляду за рослинами	Догляд за насадженнями в парку здійснювався активно протягом 25 років, однак останнім часом, через недостатнє фінансування та кадрові проблеми, догляд обмежений локальними зонами	4

Таким чином, Березнівський дендропарк є важливим об'єктом садово-паркового мистецтва з високою дендрологічною цінністю,
186

хоча має деякі аспекти, які потребують покращення, зокрема в плані поновлення інтродукованих видів та покращення догляду за насадженнями.

З метою проведення комплексної оцінки стану та виявлення потенційних проблем було проведено SWOT-аналіз Березнівського дендропарку (табл. 2).

Таблиця 2

SWOT-аналіз Березнівського дендропарку

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
<p>Історична цінність. Наявність документальної інформації про парк, каталогів дендрофлори. Унікальність, високий рівень біорізноманіття, високе видове та внутрішньовидове багатство, велика кількість раритетних видів. Поширення хвойних видів. Висока естетична цінність завдяки гармонійним ландшафтним композиціям з використанням хвойних дерев і малих архітектурних форм. Значний відсоток видів створює самосів, що сприяє природному поновленню рослинного покриву. Значний науковий, освітній, рекреаційний потенціал</p>	<p>Проблеми з фінансуванням. Недостатнє фінансування на утримання парку і низька забезпеченість кадрами для виконання необхідних робіт. Недостатня кількість персоналу. Знос інфраструктури (доріжки, альтанки, ставки). Пошкодження рослинності. Відсутність сучасних систем моніторингу. Несистематичний догляд за станом дендроценозів. Розміщення рослин не завжди відповідає їхнім біологічними та екологічним вимогам. Потреба в оновленні багатьох наявних насаджень та заміні старих дерев</p>
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
<p>Створення нових екологічних програм. Розвиток екотуризму та популяризація парку серед місцевого населення та туристів. Використання мобільних додатків, геоінформаційних систем (GIS), та датчиків для моніторингу і догляду за насадженнями. Розробка і впровадження нових підходів до планування і догляду за ландшафтами в дендропарках. Відновлення історичних ландшафтних композицій. Проведення санітарної чистки та видалення надмірно загущених ділянок, що дозволить покращити умови для зростання інших рослин і знизить ризик</p>	<p>Негативний вплив людської діяльності може погіршити стан екосистеми парку. Кліматичні зміни можуть призвести до зниження стійкості рослин. Присутність інвазійних видів може порушити екологічний баланс та знизити біорізноманіття парку. Недостатня адаптація інтродукованих видів до місцевих умов, а також відсутність природного поновлення багатьох з них можуть загрожувати довгостроковій стабільності колекції. Відсутність підтримки з боку місцевих органів влади або недостатня фінансова спроможність можуть негативно вплинути на розвиток і підтримку парку. Нестача фінансування та брак</p>

продовження табл. 2

<p>захворювань. Розширення парку та збільшення його території може дозволити створити додаткові охоронні зони для рідкісних видів, що дозволить значно збільшити рівень його природоохоронної цінності. Співпраця з науковими установами, університетами та викладацькими організаціями для проведення досліджень і освітньо-наукових заходів. Залучення волонтерів та громадських організацій для підтримки догляду за парком і реалізації спільних екологічних проєктів. Залучення грантів, інвестицій і спонсорів для підтримки та розвитку парку, а також забезпечити додаткове фінансування для відновлення зелених насаджень і створення нових декоративних композицій. Відповідно до встановлених норм, парк може бути збережений при виконанні комплексу реконструкційних заходів, що сприятиме його функціонуванню як рекреаційного об'єкта та підтримці високих декоративних якостей</p>	<p>кваліфікованих кадрів для належного догляду за насадженнями та розвитку інфраструктури – може призвести до погіршення стану колекції та зниження її природоохоронної цінності. Нестача фінансування на реконструкцію може призвести до повного занепаду інфраструктури</p>
--	---

Цей метод дозволив системно дослідити як внутрішні фактори (сильні та слабкі сторони), так і зовнішнє середовище (можливості та загрози), що впливають на функціонування парку. Зокрема, детальний аналіз слабких сторін та загроз дав змогу ідентифікувати критичні аспекти, які потребують негайної уваги та вжиття відповідних заходів. SWOT-аналіз Березнівського державного дендропарку дозволив комплексно оцінити його стан та визначити ключові напрямки для подальшого розвитку.

Аналіз виявив сильні сторони парку, які можуть бути ефективно використані для досягнення конкурентних переваг, а також ідентифікував слабкі місця, що потребують негайної уваги. Крім того, були визначені нові можливості для розвитку та потенційні загрози, які можуть вплинути на функціонування парку. Отримані дані можуть стати основою для розробки детального плану дій, спрямованого на оптимізацію управління парком, залучення інвестицій та

забезпечення його сталого розвитку.

Таким чином, Березнівський державний дендрологічний парк, з його унікальною колекцією деревних рослин, є справжньою перлиною природного заповідного фонду України. Проте знос інфраструктури, зокрема доріжок, альтанок та оглядових майданчиків, а також нефункціонування каскаду ставків, створює небезпечні ситуації та знижує комфортність відвідування. Цей факт негативно впливає на репутацію парку та може відштовхнути потенційних відвідувачів.

Враховуючи унікальні колекції, Березнівський дендропарк має великий потенціал для розвитку екологічного туризму, що може стати додатковим джерелом фінансування для парку. Розвиток туризму сприятиме не лише популяризації парку, але й посиленню уваги до його історико-культурного значення. Крім того, парк може бути використаний як рекреаційна зона для відпочинку місцевих жителів і туристів, що сприятиме покращенню якості життя в регіоні. Для досягнення цього необхідно провести відповідні роботи з благоустрою та покращення інфраструктури, що дозволить створити комфортні умови для відвідувачів.

Разом з тим, співпраця з науковими установами відкриває нові перспективи для розвитку парку. Спільні дослідження можуть допомогти розробити ефективні програми збереження біорізноманіття, а також створити нові освітні проєкти для відвідувачів.

Однак існують серйозні загрози, які можуть погіршити існування парку в його нинішньому вигляді. Кліматичні зміни, такі як підвищення температури, зміна режиму опадів та посилення екстремальних погодних явищ, можуть призвести до зміни видового складу рослинності, поширення шкідників та хвороб, а також до погіршення загального стану екосистем парку.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, Березнівський дендропарк є важливим багатофункціональним об'єктом, який відіграє ключову роль у збереженні природної спадщини, розвитку науки, освіти, екологічного туризму та рекреації. Комплексне оцінювання стану дендропарків дозволяє створити основу для науково обґрунтованого догляду та підтримки зелених насаджень.

Завдяки можливостям залучення додаткового фінансування та

розвитку екологічного туризму парк може зберегти та розвинути свою цінність. Проте загрози, пов'язані з кліматичними змінами та фінансовою нестабільністю, потребують уваги та стратегічного підходу. Оцінка стану парку виявила потребу в комплексній реконструкції. Для забезпечення сталого розвитку парку необхідні інвестиції в його інфраструктуру та догляд за насадженнями.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на обґрунтування та розробку стратегічного плану розвитку дендропарку, з урахуванням усіх аспектів управління парком, включаючи збереження біорізноманіття, розвиток інфраструктури, залучення відвідувачів та створення системи моніторингу стану екосистем парку. Реалізація цих рекомендацій дозволить забезпечити збереження Березнівського державного дендрологічного парку як унікального природного об'єкта та важливого центру екологічної освіти та відпочинку.

1. Ботанічні сади та дендропарки / упоряд. : В. В. Кваша, О. О. Семенова, Н. В. Чувікіна. Відп. ред.: Т. М. Черевченко, С. С. Волков ; Державна служба заповідної справи Мінприроди України, Глобальний екологічний фонд, Програма розвитку ООН в Україні. К. : ТОВ «Майстерня книги», 2009. 296 с.
2. Калініченко О. А. Декоративна дендрологія. Київ : Вища школа, 2003. 199 с.
3. Олексійченко Н. О., Подольхова М. О., Курдюк О. М. Дендрологічні парки Українського Полісся : монографія. Біла Церква : Вид. Пшонківський О. В., 2019. 251 с.
4. Прищепка А. М., Калужний І. Ю. Екосистемні послуги Березнівського дендрологічного парку. *Актуальні проблеми природоохоронного законодавства* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, 5 червня 2023 р. НУВГП. Рівне, 2023. С. 108–111.
5. Прищепка А. М., Калужний І. Ю. Дендропарки як унікальні екосистеми в урбанізованому середовищі. *Екологічний стан навколишнього середовища та раціональне природокористування в контексті сталого розвитку* : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції (26–27 жовтня 2024, м. Херсон) С. 159–162.
6. Олексійченко Н. О. Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Центральнопридніпровської височинної області : монографія. Київ : ЦП «КОМПРИНТ», 2012. Ч. 1. 145 с.
7. Дзиба А. А. Раритетні види деревних рослин відділу Pinophyta Березнівського дендрологічного парку (таксономічний склад, стан, екологічна та біоморфологічна структури). *Наук. вісник Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України*. 2019. № 4. С. 81–91.
8. Семенюк М. В., Миронець М. А., Грицюк І. І., Писаренко В. О., Кондратюк Н. В. Сучасний стан фітоколекцій Березнівського державного дендрологічного парку. *Вісник*

НУВГП. *Сільськогосподарські науки*. 2022. Вип. 3(99). С. 127–137. **9.** Семенюк М. В., Ціпан Ю. Р., Грицюк І. І., Кондратюк Н. В., Писаренко В. О. Реставрація та реконструкція «Північноамериканського регіону» у Березнівському державному дендропарку. *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки*. 2023. Вип. 4(104). С. 141–150. **10.** Подольхова М. О., Островська В. А. До питання вивчення таксономічного складу насаджень дендропарку Березнівського лісотехнічного коледжу. *Соціально-екологічна роль заповідних дендропарків України*. 2015. С. 63–68. **11.** Курдюк О. М., Гричук М. О., Лазарець М. В., Островська В. А. Таксономічний склад і структура насаджень дендрологічного парку Березнівського лісового коледжу. *Наук. вісник Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України*. 2015. № 216–1. С. 168–175. **12.** Рукотворний міні-рай: дайджест / КЗ «Березнівська централізована система публічношкільних бібліотек», Сектор довідково-інформаційної та бібліографічної роботи. 2019. Березне, 16 с. **13.** Каталог деревних рослин Березнівського державного дендрологічного парку : довідковий посібник / укл. В. М. Почаєвець. Березне : Березнівський лісовий коледж, 2009. 47 с.

REFERENCES:

1. Botanichni sady ta dendroparky / uporiad. : V. V. Kvasha, O. O. Semenova, N. V. Chuvikina. Vidp. red.: T. M. Cherevchenko, S. S. Volkov ; Derzhavna sluzhba zapovidnoi spravy Minpryrody Ukrainy, Hlobalnyi ekolohichniy fond, Prohrama rozvytku OON v Ukraini. K. : TOV «Maisternia knyhy», 2009. 296 s.
2. Kalinichenko O. A. Dekoratyvna dendrolohiia. Kyiv : Vyshcha shkola, 2003. 199 s.
3. Oleksiichenko N. O., Podolkhova M. O., Kurdiuk O. M. Dendrolohični parky Ukrainskoho Polissia : monohrafiia. Bila Tserkva : Vyd. Pshonkivskiyi O. V., 2019. 251 s.
4. Pryshchepa A. M., Kaluzhnyi I. Yu. Ekosystemni posluhy Bereznivskoho dendrolohičnogo parku. *Aktualni problemy pryrodookhoronnoho zakonodavstva* : materialy Vseukrainskoi naukovopraktyčnoj internet-konferentsii, 5 chervnia 2023 r. NUVHP. Rivne, 2023. С. 108–111.
5. Pryshchepa A. M., Kaluzhnyi I. Yu. Dendroparky yak unikalni ekosystemy v urbanizovanomu seredovyshchi. *Ekolohichniy stan navkolyshnoho seredovyshcha ta ratsionalne pryrodokorystuvannia v konteksti staloho rozvytku* : materialy VII Mizhnarodnoi naukovopraktyčnoj konferentsii (26–27 zhovtnia 2024, m. Kherson) С. 159–162.
6. Oleksiichenko N. O. Parky-pamiatky sadovoparkovoho mystetstva Tsentralnoprydniprovskoi vysochynnoi oblasti : monohrafiia. Kyiv : TsP «KOMPRYNT», 2012. Ch. 1. 145 c.
7. Dzyba A. A. Rarytetni vydy derevnykh roslyn viddilu Pinophyta Bereznivskoho dendrolohičnogo parku (taksonomichniy sklad, stan, ekolohichna ta biomorfolohichna struktury). *Nauk. visnyk Nats. un-tu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*. 2019. № 4. S. 81–91.
8. Semeniuk M. V.,

Myronets M. A., Hrytsiuk I. I., Pysarenko V. O., Kondratiuk N. V. Suchasnyi stan fitokolektsii Berezniivskoho derzhavnogo dendrolohichnogo parku. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky*. 2022. Vyp. 3(99). S. 127–137. **9.** Semeniuk M. V., Tsipan Yu. R., Hrytsiuk I. I., Kondratiuk N. V., Pysarenko V. O. Restavratsiia ta rekonstruktsiia «Pivnichnoamerykanskooho rehionu» u Berezniivskomu derzhavnomu dendroparku. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky*. 2023. Vyp. 4(104). S. 141–150. **10.** Podolkhova M. O., Ostrovska V. A. Do pytannia vyvchennia taksonomichnoho skladu nasadzhen dendroparku Berezniivskoho lisotekhnichnoho koledzhu. *Sotsialno-ekolohichna rol zapovidnykh dendroparkiv Ukrainy*. 2015. S. 63–68. **11.** Kurdiuk O. M., Hrychuk M. O., Lazarets M. V., Ostrovska V. A. Taksonomichni sklad i struktura nasadzhen dendrolohichnoho parku Berezniivskoho lisovoho koledzhu. *Nauk. visnyk Nats. un-tu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*. 2015. № 216–1. S. 168–175. **12.** Rukotvornyi mini-rai : daidzhest / KZ «Berezniivska tsentralizovana systema publichnoshkilnykh bibliotek», Sektor dovidkovo-informatsiinoi ta bibliohrafichnoi roboty. 2019. Berezne, 16 s. **13.** Katalog derevnykh roslin Berezniivskoho derzhavnogo dendrolohichnoho parku : dovidkovyi posibnyk / ukl. V. M. Pochaievets. Berezne : Berezniivskiy lisoviy koledzh, 2009. 47 s.

Pryshchepa A. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Fyzik I. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Kaluzhnyi I. Yu., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ASSESSMENT OF THE CURRENT ECOLOGICAL CONDITION AND USAGE OF THE BEREZNE STATE DENDROLOGICAL PARK

The article examines the current ecological condition of the Berezne State Dendrological Park, one of the largest protected natural areas in the Rivne region of Ukraine. The study aims to assess the park's ecological state, including its flora and fauna, and to identify threats and challenges caused by climate change and anthropogenic influences. A comprehensive approach was employed, involving the analysis of materials, cartography, and inventory data and the application of a SWOT analysis. Key aspects of the park's functioning were considered, including its biodiversity, social and economic functions, and threats to its sustainable development.

The biodiversity assessment showed that the park is rich in a variety of tree and shrub species (750 plant taxa belonging to 47

families and 124 genera), including those that are part of the collection funds. The dendrological park is an important object of garden and park art with high dendrological value, although it has some aspects that require improvement, particularly in terms of the renewal of introduced species and enhancing the care of plantings.

The primary issues found include climate change, insufficient moisture levels, overcrowding of tree plantations, and wear of park infrastructure. The study established that the dendrological park has significant potential for developing ecological tourism and improving recreational conditions. Ensuring the park's sustainable functioning requires comprehensive infrastructure reconstruction, the renewal of plant collections, and a strategic development plan focused on biodiversity conservation, tourism development, and attracting investments.

Keywords: dendrological park; biodiversity; ecological tourism; sustainable development; SWOT analysis; Berezne dendrological park; ecological condition; infrastructure.

Романчук Л. Д., д.с.-г.н., професор, Кравчук-Ободзінська Т. В., аспірант (Державний університет «Житомирська політехніка», ke_rld@ztu.edu.ua, taja_slivinsjka@ukr.net)

АМАРАНТ І ТРАДИЦІЙНІ КУЛЬТУРИ: БІОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ

У статті аналізується стратегічне значення амаранту в контексті забезпечення продовольчої безпеки. Досліджуються його унікальні агрономічні, біохімічні та харчові характеристики, які роблять цю культуру перспективною для вирішення глобальних проблем продовольчої системи. Висвітлюються переваги амаранту в порівнянні з традиційними культурами, такими як пшениця, ячмінь, рис, соя та нут, зокрема за показниками вмісту білка, клітковини, протеїну та стійкості до несприятливих умов вирощування.

Забезпечення продовольчої безпеки є одним з найактуальніших викликів сучасності, особливо в умовах зростання населення, змін клімату та деградації природних ресурсів. Традиційні сільськогосподарські культури, такі як пшениця, рис, кукурудза та соя, становлять основну частину раціону людей. Однак їх вирощування супроводжується значними екологічними витратами, великою залежністю від природних умов та високими вимогами до води.

У таких умовах виникає потреба в пошуку альтернативних культур, які можуть стати надійними джерелами поживних речовин і допомогти зменшити навантаження на екосистеми. Амарант, як особлива культура, привертає все більше уваги завдяки своїм унікальним властивостям: високому вмісту білка з повним набором незамінних амінокислот, здатності рости на бідних ґрунтах і в умовах посухи, а також стійкості до змін клімату та шкідників.

Амарант вирізняється як особлива культура завдяки своїй здатності адаптуватися до різних умов, невеликим вимогам до води та ґрунтів, а також високому вмісту білка і мінералів. Його поживні характеристики можна порівняти з іншими сільськогосподарськими культурами, такими як рис, пшениця,

ячмінь, соя та нут. Проте амарант має певні переваги, зокрема, відсутність глютену та підвищений вміст лізину. Це робить його привабливим для багатьох споживачів, особливо тих, хто шукає здорову альтернативу традиційним злакам і бобовим культурам.

Амарант, який відзначається високою харчовою цінністю, стійкістю до посухи та невеликими вимогами до води, є перспективною культурою для вирощування в умовах зміни клімату та в регіонах з обмеженими водними ресурсами. Ячмінь, в свою чергу, є важливою кормовою та промисловою культурою, але потребує більше води та добрив. У контексті продовольчої безпеки амарант може стати ключовим продуктом для забезпечення білка і мінералів у зонах, де інші культури не можуть вижити.

Ключові слова: щириця; система удобрення; білок; протеїн; продуктивність; урожайність; важкі метали; продовольча безпека; екологічна безпека.

Постановка проблеми. Гарантування продовольчої безпеки є одним із найважливіших викликів сучасності, особливо в умовах зростання населення, змін клімату та деградації природних ресурсів [1]. Традиційні сільськогосподарські культури, такі як пшениця, рис, кукурудза та соя, складають основну частину харчового раціону людей, проте їх вирощування пов'язане з істотними екологічними витратами, великою залежністю від природних умов та значними потребами у воді [2, С. 3–6].

У таких умовах виникає необхідність у пошуку альтернативних культур, які можуть стати надійними джерелами поживних речовин і допомогти зменшити навантаження на екосистеми. Амарант, як специфічна культура, привертає все більше уваги завдяки своїм унікальним характеристикам: високому вмісту білка з повним набором незамінних амінокислот, здатності рости на бідних ґрунтах і в умовах посухи, а також стійкості до змін клімату та шкідників [3, С. 22–29; 5, С. 14–23].

Амарант є багатофункціональною культурою, яка може слугувати продовольчим, кормовим та технічним ресурсом. Саме тому його вважають однією з найперспективніших культур для вирішення питань продовольчої безпеки, особливо в районах з несприятливими умовами для традиційного сільського господарства [6, С. 231].

Проблема полягає в недостатньому дослідженні стратегічної ролі амаранту у забезпеченні продовольчої безпеки на глобальному та регіональному рівнях [6, С. 231]. Це питання охоплює: визначення потенціалу амаранту як альтернативної культури для зменшення продовольчих ризиків; розробку агротехнічних заходів для його ефективного вирощування в різних кліматичних умовах; а також популяризацію амаранту серед споживачів і фермерів як економічно вигідного та екологічно безпечного продукту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Протягом останніх десятиліть амарант викликає великий інтерес у дослідників, аграріїв та фахівців у галузі продовольчої безпеки завдяки своїм унікальним біологічним, харчовим і агротехнічним характеристикам. У наукових дослідженнях розглядаються як харчові, так і агроекологічні аспекти застосування амаранту [7, С. 100–107; 9, С. 26].

Амарант досліджується як культура, яка може успішно розвиватися в умовах посухи, високих температур та на малопридатних ґрунтах. Згідно з дослідженнями FAO (Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН), амарант рекомендується для вирощування в регіонах, де спостерігається нестача води [10, С. 348]. Його висока адаптивність дозволяє зменшити втрати врожаю навіть за несприятливих кліматичних умов.

Аналіз останніх досліджень вказує, що амарант сприяє збереженню родючості ґрунту, знижує ерозійні процеси та виконує роль сидерату. Дослідження також підтверджують ефективність амаранту як культури для ротації посівів завдяки його здатності до накопичення органічної маси та поліпшення структури ґрунту [11, С. 52].

У дослідженнях українських та іноземних авторів підкреслюється вигідність вирощування амаранту. Завдяки його високій урожайності (до 2–2,5 т/га) та різноманітним можливостям використання (в продуктах харчування, кормах, фармацевтичній промисловості), амарант є економічно вигідною культурою як для малих фермерських господарств, так і для великих агрокомпаній [9, С. 26].

Аналітичні звіти міжнародних організацій та дослідження вчених акцентують увагу на тому, що амарант може стати важливим чинником у забезпеченні продовольчої безпеки [11, С. 52]. Це особливо актуально для регіонів, які стикаються з підвищеним

ризиком продовольчих криз, де традиційні культури зазнають серйозних втрат через нестабільні природні умови.

Мета дослідження. Метою дослідження є наукове обґрунтування стратегічного значення амаранту як високопродуктивної, поживної та екологічно стійкої культури для забезпечення продовольчої безпеки.

Матеріали та методи досліджень. Для вивчення стратегічної ролі амаранту у забезпеченні продовольчої безпеки використовувалась статистична інформація щодо продуктивності, поживної цінності та економічної ефективності вирощування традиційних сільськогосподарських культур (рис, пшениця, ячмінь, соя, нут), наукові публікації, звіти та аналітичні матеріали, що стосуються харчової цінності, агротехнічних характеристик та економічного значення амаранту. Також проводились дослідження з вивчення впливу різних систем удобрення (контроль, мінеральні добрива) на врожайність, якість, вміст важких металів та продуктивність амаранту.

Результати досліджень. Амарант вирізняється як унікальна культура завдяки своїй здатності адаптуватися до різних умов, невеликим вимогам до води та ґрунтів, а також високому вмісту білка і мінералів. Його поживні властивості можна порівняти з іншими сільськогосподарськими культурами, такими як рис, пшениця, ячмінь, соя та нут, проте амарант має певні переваги, зокрема, відсутність глютену та підвищений вміст лізину, що робить його привабливим для тих споживачів, хто шукає здорову альтернативу традиційним злакам і бобовим культурам.

Амарант, з високою харчовою цінністю, стійкістю до посухи та низькими вимогами до води, є перспективною культурою для вирощування в умовах змін клімату та в районах з обмеженими водними ресурсами. Ячмінь, з іншого боку, є важливою кормовою і промисловою культурою, але має більші вимоги до води та добрив. У контексті продовольчої безпеки амарант може стати ключовим продуктом для забезпечення білка і мінералів у зонах, де інші культури не можуть вижити.

Рис є важливою сільськогосподарською культурою, проте амарант має кілька суттєвих переваг, як-от висока харчова цінність, стійкість до несприятливих умов та невеликі вимоги до води. Хоча рис є критично важливим для забезпечення продовольчої безпеки в

багатьох країнах, він потребує значних водних ресурсів і має більший екологічний слід. Тому амарант може стати перспективною культурою для вирощування в умовах зміни клімату, нестачі води та необхідності зменшення екологічного впливу сільського господарства.

Результати досліджень, які порівнюють вміст білка в амаранті з іншими культурами (пшениця, ячмінь, рис, соя, нут), показують, що амарант містить значну кількість білка, перевищуючи пшеницю, ячмінь і рис, але поступається сої та нуту (рис. 1).

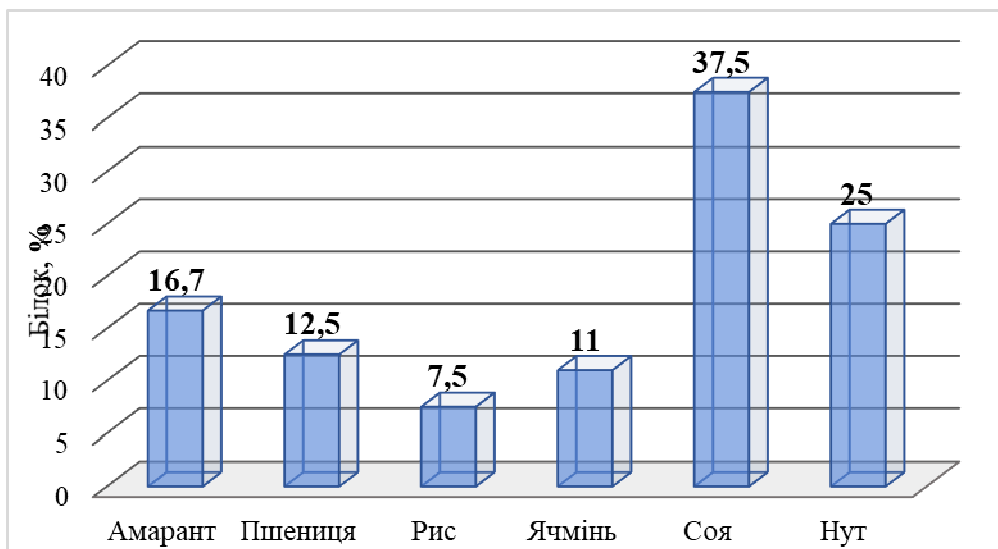


Рис. 1. Характеристика вмісту білка у різних сільськогосподарських культурах

Дослідження свідчать, що амарант містить 16,7% білка, що робить його культурою з високим вмістом білка, перевищуючи більшість традиційних зернових. Наприклад, пшениця має 12,5% білка і поступається амаранту за білковою цінністю, тоді як ячмінь має найнижчий вміст білка серед зернових – 11%. Рис є найменш білковою культурою з 7,5% білка, що підкреслює його основне використання як джерела вуглеводів. Лідером за вмістом білка серед усіх культур є соя з 37,5%, хоча її переробка часто є складнішою. Нут займає друге місце після сої, але його вміст білка близький до амаранту.

Дослідження показують, що амарант є вигідною альтернативою звичайним зерновим культурам, оскільки містить високий рівень білка, хоча й поступається сої. Його застосування має потенціал для вирішення проблем продовольчої безпеки, особливо в регіонах з обмеженим доступом до білкових продуктів.

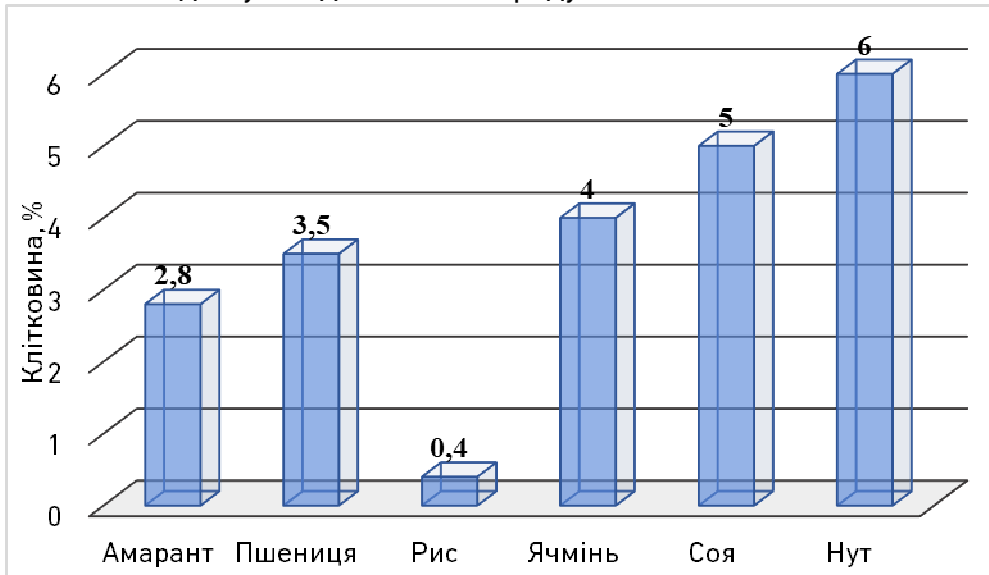


Рис. 2. Характеристика вмісту клітковини у різних сільськогосподарських культурах

Нут має найвищий вміст клітковини серед усіх розглянутих культур, становлячи 6%, що підкреслює його роль як джерела харчових волокон. Соя містить 5% клітковини, що поступається нуту, але значно перевищує показники зернових культур. Ячмінь і пшениця мають помірний вміст клітковини – 4% і 3,5% відповідно, що робить їх традиційними, але менш концентрованими джерелами волокон.

Амарант займає п'яте місце з показником 2,8%, що також робить його важливим елементом у збалансованому харчуванні, що свідчить про те, що амарант є перспективною культурою для забезпечення організму необхідною кількістю харчових волокон, які сприяють підтримці здоров'я травної системи та запобіганню хронічним захворюванням. Натомість рис, з вмістом лише 0,4% клітковини, має найнижчий рівень серед усіх культур, що знижує його харчову цінність.

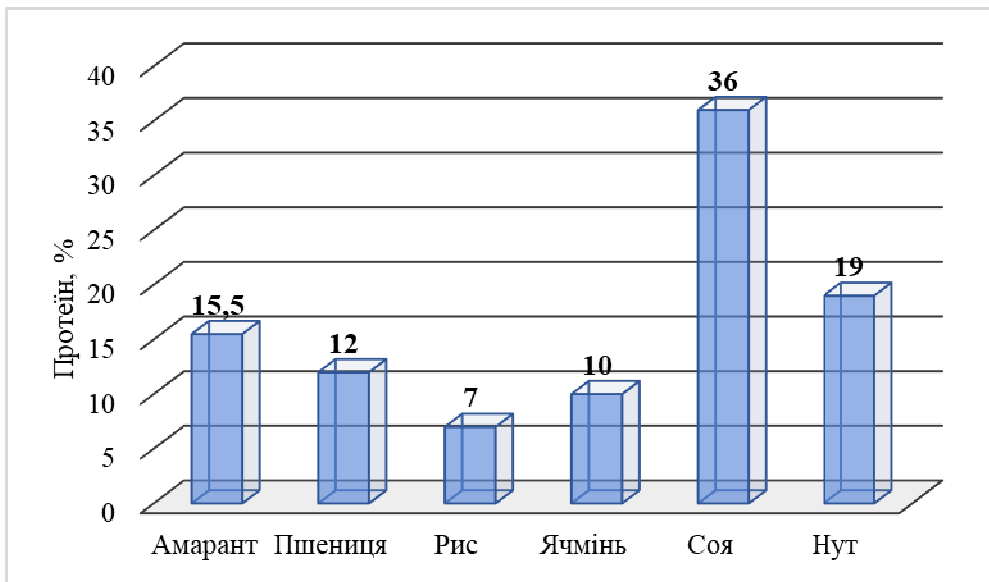


Рис. 3. Характеристика вмісту протеїну у різних сільськогосподарських культурах

Результати лабораторних досліджень показують, що абсолютним лідером за вмістом протеїну є соя, яка містить 36%. Вона використовується як основне джерело рослинного протеїну для харчування людей і тварин. Нут займає друге місце за вмістом протеїну, поступаючись сої, з показником 19%.

Амарант займає середню позицію за вмістом протеїну, його протеїн є високоякісним, містить усі незамінні амінокислоти та має багатий склад жирних кислот. Пшениця та ячмінь мають дещо нижчий вміст протеїну – 12% та 10% відповідно. Протеїн пшениці часто використовується в хлібопекарській промисловості, тоді як протеїн ячменю має важливе значення в кормовій та пивоварній галузях. Найнижчий вміст протеїну серед зазначених культур має рис – 7%, проте він залишається важливим продуктом у раціонах багатьох країн.

Висновки. Дослідження показують, що амарант є вигідною альтернативою звичайним зерновим культурам, оскільки містить високий рівень білка, хоча й поступається сої. Його застосування має потенціал для вирішення проблем продовольчої безпеки, особливо в регіонах з обмеженим доступом до білкових продуктів.

Дослідження вмісту клітковини виявило, що амарант займає п'яту позицію серед проаналізованих сільськогосподарських культур, маючи показник 2,8%. Це робить його важливим компонентом збалансованого харчування і свідчить про перспективність амаранту як культури, здатної забезпечити організм необхідною кількістю харчових волокон, які сприяють підтримці здоров'я травної системи та запобіганню хронічним захворюванням.

Дослідження показали, що амарант вирізняється високим вмістом повноцінного протеїну, що містить усі незамінні амінокислоти, зокрема лізин, який часто обмежений у традиційних зернових культурах. Це робить його стратегічно важливою культурою для зміцнення продовольчої безпеки.

1. Alt D. S., Paul P. A., Lindsey A. J., Lindsey L. E. Early Wheat harvest influenced grain quality and profit but not yield. *Crop, Forage & Turfgrass Management*. 2019. Vol. 5, № 1.
2. Рослинницькі аспекти та агроекологічні засади вирощування сорго зернового на півдні України / Базалій В. В. та ін. *Таврійський науковий вісник. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2015. Вип. 91. С. 3–6.
3. Дзюндзя О., Звагольська К. М. Аналіз нетрадиційної борошняної сировини для виробництва хлібобулочних виробів. *Таврійський науковий вісник. Сер. Технічні науки*. 2021. Вип. 117(1). С. 22–29.
4. Bezuhla L. Economic aspect of territorial production of amaranth, hemp and sorgo in Ukraine. *Economy and Society*. 2021. P. 25.
5. Gebremariam G., Assefa D. Nitrogen fertilization effect on grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield, yield components and witchweed (*Striga hermonthica* (Del.) Benth) infestation in Northern Ethiopia. *International Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 10(1). P. 14–23.
6. Nasirpour-Tabrizi P., Azadmard-Damirchi S., Hesari J., Piravi-Vanak Z. Amaranth Seed Oil Composition. In V. Y. Waisundara (Ed.), *Nutritional Value of Amaranth*. *Intech Open*. 2020. P. 231–234. Doi: 10.5772/intechopen.91381.
7. Pivovarov A., Mykolenko S., Hez' Y., Shcherbakov S. Plasma-chemically activated water influence on staling and safety of sprouted bread. *Journal of Food Science and Technology*. 2018. Vol. 12(2). P. 100–107.
8. Procopet O., Oroian M. Amaranth Seed Polyphenol, Fatty Acid and Amino Acid Profile. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12(4). P. 2181.
9. Можарівська І. А. Агроекологічна оцінка вирощування енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення Полісся України : автореф. дис. ... канд. сільгосп. наук : 03.00.16. м. Житомир, 2020. 26 с.
10. Романчук Л. Д., Кравчук Т. В. Вміст важких металів у зерні амаранту при вирощуванні в умовах Полісся України. *Таврійський науковий вісник. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2023. Вип. 134. С. 348–352.
11. Вишнівський П. С., Кравчук Т. В. Вміст важких металів у фітомасі

амаранту при вирощуванні в умовах Полісся України. *Таврійський науковий вісник. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2022. Вип. 128. С. 52–57.

REFERENCES:

1. Alt D. S., Paul P. A., Lindsey A. J., Lindsey L. E. Early Wheat harvest influenced grain quality and profit but not yield. *Crop, Forage & Turfgrass Management*. 2019. Vol. 5, № 1.
 2. Roslynnnytski aspekty ta ahroekolohichni zasady vyroshchuvannya sorho zernovoho na pivdni Ukrainy / Bazalii V. V. ta in. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2015. Vyp. 91. S. 3–6.
 3. Dziundzia O., Zvaholska K. M. Analiz netradytsiinoi boroshnianoi syrovyny dlia vyrobnytstva khlibobulochnykh vyrobiv. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Ser. Tekhnichni nauky*. 2021. Vyp. 117(1). S. 22–29.
 4. Bezuhla L. Economic aspect of territorial production of amaranth, hemp and sorgo in Ukraine. *Economy and Society*. 2021. P. 25.
 5. Gebremariam G., Assefa D. Nitrogen fertilization effect on grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield, yield components and witchweed (*Striga hermonthica* (Del.) Benth) infestation in Northern Ethiopia. *International Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 10(1). P. 14–23.
 6. Nasirpour-Tabrizi P., Azadmard-Damirchi S., Hesari J., Piravi-Vanak Z. Amaranth Seed Oil Composition. In V. Y. Waisundara (Ed.), *Nutritional Value of Amaranth*. *Intech Open*. 2020. P. 231–234. Doi: 10.5772/intechopen.91381.
 7. Pivovarov A., Mykolenko S., Hez' Y., Shcherbakov S. Plasma-chemically activated water influence on staling and safety of sprouted bread. *Journal of Food Science and Technology*. 2018. Vol. 12(2). P. 100–107.
 8. Procopet O., Oroian M. Amaranth Seed Polyphenol, Fatty Acid and Amino Acid Profile. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12(4). P. 2181.
 9. Mozharivska I. A. Ahroekolohichna otsinka vyroshchuvannya enerhetychnykh kultur v umovakh radioaktyvnoho zabrudnennia Polissia Ukrainy : avtoref. dys. ... kand. silhosp. nauk : 03.00.16. m. Zhytomyr, 2020. 26 s.
 10. Romanchuk L. D., Kravchuk T. V. Vmist vazhkykh metaliv u zerni amarantu pry vyroshchuvanni v umovakh Polissia Ukrainy. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2023. Vyp. 134. S. 348–352.
 11. Vyshnivskiy P. S., Kravchuk T. V. Vmist vazhkykh metaliv u fitomasi amarantu pry vyroshchuvanni v umovakh Polissia Ukrainy. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2022. Vyp. 128. S. 52–57.
-

**Romanchuk L. D., Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Kravchuk-Obodzinska T. V., Post-graduate Student (Zhytomyr
Polytechnic State University)**

AMARANTH AND TRADITIONAL CROPS: BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND PROSPECTS FOR USE

The article analyses the strategic importance of amaranth in the context of food security. Its unique agronomic, biochemical and nutritional characteristics are investigated, which make it a promising crop for solving global food system problems. The advantages of amaranth over traditional crops such as wheat, barley, rice, soybeans and chickpeas are highlighted, in particular, in terms of protein, fibre, protein content and resistance to adverse growing conditions.

Ensuring food security is one of the most pressing challenges of our time, especially in the face of population growth, climate change and natural resource degradation. Traditional crops, such as wheat, rice, corn and soybeans, make up the bulk of people's diets. However, their cultivation is accompanied by significant environmental costs, high dependence on natural conditions and high water requirements.

In such conditions, there is a need to find alternative crops that can become reliable sources of nutrients and help reduce the burden on ecosystems. Amaranth, as a special crop, is attracting more and more attention due to its unique properties: high protein content with a full range of essential amino acids, ability to grow on poor soils and in drought conditions, and resistance to climate change and pests.

Amaranth stands out as a special crop due to its ability to adapt to different conditions, its low water and soil requirements, and its high protein and mineral content. Its nutritional characteristics are comparable to other crops such as rice, wheat, barley, soybeans and chickpeas. However, amaranth has certain advantages, such as being gluten-free and high in lysine. This makes it attractive to many consumers, especially those looking for a healthy alternative to traditional grains and pulses.

With its high nutritional value, drought tolerance and low water requirements, amaranth is a promising crop for growing in the face of climate change and in regions with limited water resources. Barley, in turn, is an important fodder and industrial crop, but requires more

water and fertiliser. In the context of food security, amaranth can be a key product to provide protein and minerals in areas where other crops cannot survive.

***Keywords:* amaranth; fertilisation system; protein; protein; productivity; yield; heavy metals; food security; environmental safety.**

Sadigov A. N., Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
(Ministry of Agriculture of the Republic of Azerbaijan Scientific-Research
Institute of Fruit and Tea Growing, AZ4035, Guba, Azerbaijan)

IMPORTANCE OF SELECTION VARIETIES IN THE PRODUCTION OF ECOLOGICALLY CLEAN APPLE PRODUCTS

The article provides extensive information on the economic and biological characteristics of apple varieties cultivated in the conditions of the Guba-Khachmaz economic zone, introduced, and obtained through selection at the Scientific Research Institute of Fruit and Tea Growing, and on the mechanical composition of the soil in which they are cultivated, electrical conductivity, etc. indicators (nitrogen, phosphorus, Ca, humus, Ph). As a result of the study, the chemical and mechanical composition, tasting value, resistance to diseases and pests, as well as transport resistance of varieties grouped into summer (Zirve, Ziya, Lala, Nigar), autumn (Marfa, Sülh) and winter (Giziltaj, Ulvi, Vatan, Zümrüd, etc.) were determined, and varieties with high economic efficiency were selected. According to the productivity indicators, the varieties Zia (18 tons), Sülh (23 tons), Makhmeri, Chiraggala (25 tons), Elvin, Emil, Shabran (27 tons) and Sadaf (30 tons) stood out. The highest indicator in terms of the amount of soluble dry matter was recorded in Lale, Makhmeri, Davamli with 11.5%, Khazar with 11.7%, vitamin "C" was recorded in Emil, Sadaf with 4.35 mg/%, and Giziltaj, Makhmeri varieties with 4.61 mg/%. In terms of sugar content, the summer varieties Lale with 9.15%, the winter varieties Gobustan, Chiraggala, Giziltaj, Khazar, Makhmeri, Davamli, Emil, Elvin with 9.13-9.14% and Sadaf with 9.61% showed good results. Compared to other varieties, the highest yield of commercial varieties of the first group was observed in the varieties Gobustan, Ulvi, Nubar, Vatan, Emil, Elvin (75%), Giziltaj (76%), Chiraggala, Davamli, Makhmeri, Sadaf (77%) and Sevinj (78%). According to their transport resistance, Zirve, Ziya, Gobustan, Zümrüd, Khazar, Eldar, Nubar, Vatan, Nuran, Sarvan, Chiraggala, Elvin, Payizlig Guba, Qishlig Guba, Shabran varieties were selected as medium transport resistance,

while Qiziltaj, Ulvi, Makhmeri, Davamli, Emil, Sadaf and Sevinj varieties were selected as good transport resistance varieties.

Keywords: apple; gene pool; quality; ecology; Azerbaijan.

Introduction. The current state of the environment is the result of the long-term evolution of living and non-living nature all over the world. In the modern world, producing ecologically clean products is one of the most urgent problems of the day. It is impossible to imagine the modern life of mankind without ecological knowledge. Currently, inter-republican scientific conferences, symposiums, etc. are regularly held in all countries of the world on the implementation of the necessary measures to produce ecologically clean products. Every year, Azerbaijani entrepreneurs organize an activity called “healthy lifestyle” to produce ecologically clean products. Research work is ongoing on the creation of new varieties that are highly efficient and surpass previous varieties in terms of their superior characteristics through selection that is suitable for the soil and climatic conditions of each economic region. In order to obtain ecologically clean products in fruit growing, breeding scientists prefer to create varieties resistant to the most common diseases and pests today and use innovative technologies to achieve high-quality fruit (apple) products with minimal use of pesticides (Aliyeva, Mustafayeva, 2006; Salimov, 2007).

Azerbaijan is a country with a rich gene pool of fruit plants, where more than 500 forms and varieties of apple plants alone are cultivated. These varieties are widely distributed in the region as folk selection, introduced, and Scientific Research varieties of Fruit and Tea Growing. Considering the high genetic characteristics of the varieties, their long-term adaptation to the soil-climatic conditions of Azerbaijan, and their ecological efficiency, they were involved in the selection program, and new apple varieties were obtained using maternal and paternal pairs (Sadigov, 2016).

The obtained selection varieties were resistant to diseases and pests compared to other varieties, which ultimately led to a partial reduction in the use of pesticides in the fight against them in order to obtain an ecologically clean fruit crop. Since their mechanical and chemical indicators are economical for farmers, these varieties are cultivated in large areas to grow an ecologically clean apple crop. In this regard, Elvin-2015, Sevinj-2015, and Zumrud-2020 were regionalized

from these varieties (Staton Register, 2022). Ecologically clean and efficient, promising and regionalized varieties are currently being introduced in the fruit-growing regions of our country.

Research conditions. The creation of ecologically clean new apple varieties is located at the Guba Auxiliary Experimental Farm of the Scientific Research Institute of Fruit and Tea Growing, located in the Guba-Khachmaz economic region. The farm is located at an altitude of 750 m above sea level, and its area is 250 ha. Apple varieties are mainly cultivated on the farm. The annual rainfall here is 530 mm, of which 353 mm covers the period from April to October. The average annual temperature is 9.7–11.3° C, the minimum is 18.5–20.4° C, the summer temperature (in July-August) is 21.7–36.3° C. The total active temperature above 10° C during the year is 3450–3469° C. The soils are gray, tugai, tugai-meadow, chestnut, mountain forest brown and brown soils. The duration of the active development phases of the apple plant under the research conditions, depending on the pomological characteristics of the varieties, is 222–235 days, during which the average daily air temperature is 9.5–13.4° C.

Research material. The selection varieties of the Scientific Research Institute of Fruit and Tea Growing, obtained by artificial pollination from local and introduced varieties included in the gene pool of apple plants in Azerbaijan, were used as research material.

Scientific novelty of the research. For the first time in Azerbaijan, the new selection varieties of the Scientific Research Institute of Fruit and Tea Growing, obtained from local and introduced varieties included in the gene pool of apple plants, were grouped into summer, autumn, and winter varieties, the mechanical and chemical indicators of the fruits were analyzed, and the varieties that differed in their resistance to diseases and pests and quality indicators were selected and their role in the cultivation of ecologically clean fruit crops was determined.

Research methodology. The research was carried out mainly by N.I. Vavilov. The program methodology of Vavilov's "Introduction, Variety Study and Selection of Fruit Plants" (1970) was used. The resistance of varieties to spot disease was determined by the 5-point scale table of the Michurinsky methodology (1973); Sugar (total, sucrose, monosaccharide) by the Bertrand method; Soluble dry matter – by drying in a thermostat at a temperature of 105° C; Ascorbic acid (vitamin "C") – by the method of Tilmans and Murin; The tasting price of the fruits was determined based on the price given by the tasting commission.

Results and their discussion. As globalization increases among the countries of the world, problems also increase. One of the main priorities in modern times is to more correctly meet the needs of the growing population for agricultural and other ecological food products. Currently, the existing land fund in our independent republic has been privatized and is operating in the direction of peasant (farmer) farms. Fruit orchards (apple) are being planted based on new innovative technologies. Introduced varieties are used in the planting of those orchards, most of which are not adapted to the soil-climatic conditions of our republic and are environmentally unsuitable for our country. In order to partially eliminate these shortcomings, the gene pool of apple plants existing in our republic has been studied since 1982, forms and varieties with high ecological efficiency have been selected and involved in the selection program, and varieties that are historically suitable for the soil-climatic conditions of our country have been created. Those varieties have been submitted to the Agrarian Services Agency, and some of them have been regionalized for fruit-growing regions and have begun to be applied. The varieties obtained through selection were divided into three groups according to their ripening period: summer, autumn and winter, their productivity indicators, chemical composition, transportability, etc. indicators were determined and the results are shown in Table 1.

As can be seen from Table (1), the average weight of 1 fruit in summer varieties was 110–123 grams, and the highest weight was recorded in the Nigar variety (123 g). The average weight of 1 fruit in autumn varieties was between 130–210 grams, and the Marfa variety stood out with the highest indicator of 130 grams. In winter varieties, the average mass of 1 fruit was between 110–130 grams, and the highest indicator was observed in the varieties Giziltaj, Ulvi, Nubar, Davamli, Shabran (125 grams), Gobustan, Makhmeri, Chiraggala, Emil, Elvin, Payizliq Guba, Qishliq Guba, Sevinj and Sadaf (130 grams). The average productivity indicators per hectare in summer varieties were between 13–18 tons/ha, and the highest indicator was in the Ziya variety (18 tons), in autumn varieties it was 20–23 tons/ha, and the highest indicator was recorded in the Marfa variety with 20 tons. The average productivity indicators of winter varieties were 13–30 tons/ha, and compared to other varieties, the varieties Gobustan, Giziltaj, Ulvi,

Table 1

Quality indicators of ecologically pure apple varieties

Sort	Ripening period	Average weight of one fruit, g	Average yield per hectare, tons	Resistance to spot disease, 5 points	Tasting price, out of 5 points	Soluble dry matter, %	Total sugar, %	Vitamin C, mg%	Duration of stay, days	First group commodity variety yield, %	Transportability of fruits
Zirve	Summer	120	15	0.8	4.5	11.3	9.13	3.21	18–20	65	Medium
Ziya	Summer	120	18	0.8	4.6	11.4	9.13	3.22	18–23	71	Medium
Lala	Summer	110	13	0.9	4.2	11.5	9.15	2.61	18–20	66	Weak
Nigar	Summer	123	13	1.0	4.0	10.9	8.61	3.61	18–20	63	Weak
Marfa	Autumn	130	20	1.2	4.0	10.6	8.59	2.63	25–30	64	Weak
Sulh	Autumn	210	23	1.3	4.0	10.7	8.56	2.64	27–30	66	Weak
Gobustan	Winter	130	21	0.7	4.2	11.3	9.13	3.64	120–130	75	Medium
Zumrud	Winter	118	18	1.2	4.0	10.4	8.61	3.63	115–120	70	Medium
Giziltaj	Winter	125	22	0.8	4.8	11.4	9.14	4.61	120–135	76	Good
Khazar	Winter	120	18	1.3	4.1	11.7	9.14	3.71	120–130	70	Medium
Eldar	Winter	110	13	1.3	4.0	10.3	8.62	2.41	110–120	65	Medium
Ulvi	Winter	125	20	0.8	4.4	10.3	8.62	4.21	125–130	75	Good
Nubar	Winter	125	20	1.1	4.1	10.4	8.61	3.61	110–120	75	Medium
Vatan	Winter	123	20	1.1	4.1	10.4	8.62	3.61	125–130	75	Medium
Makhmari	Winter	130	25	1.3	4.6	11.5	9.14	4.61	130–135	77	Good
Nuran	Winter	120	13	1.2	4.0	10.5	8.63	3.21	120–125	66	Medium
Sarvan	Winter	120	13	1.3	4.0	10.3	8.63	3.15	115–120	67	Medium
Chiraggala	Winter	130	25	0.7	4.2	11.4	9.13	4.15	120–126	77	Medium
Davamli	Winter	125	20	0.6	4.1	11.5	9.14	3.55	120–126	77	Good

Continuation of the table 1

Emil	Winter	130	27	0.6	4.5	11.2	9.14	4.35	125–130	75	Good
Elvin	Winter	130	27	0.7	4.5	11.3	9.14	4.25	125–130	75	Medium
Payizlig Guba	Winter	130	21	1.3	4.1	10.4	8.21	3.22	115–120	68	Medium
Qishlig Guba	Winter	130	22	1.4	4.1	10.4	8.21	3.20	122–130	70	Medium
Shabran	Winter	125	27	0.7	4,2	10,5	8,41	3,41	120–130	71	Medium
Sadaf	Winter	130	30	0.6	4.6	11.3	9.61	4.35	130–140	77	Good
Sevinj	Winter	130	27	0.8	4.6	11.4	9.64	4.37	130–135	78	Good

Nubar, Vatan, Davamli, Payizliq Guba, Qishliq Guba, Chiraggala and Makhmeri stood out with 20-25 tons. The highest yield indicators among winter varieties were recorded in Emil, Elvin, Shabran, and Sadaf varieties (27–30 tons/ha). The average infection rate of varieties with spot disease was estimated at 0.7–1.3 points. Compared to other varieties, the highest infection rates were recorded in summer varieties Nigar (1 point), autumn varieties Marfa (1.2 points) and Sülh (1.3 points), winter varieties Nubar, Vatan (1.1 points), Zümürd, Nuran (1.2 points), Khazar, Eldar, Makhmeri, Sarvan, Autumn Guba (1.3 points), and Winter Guba (1.4 points). Infection below 1 point was observed in the summer varieties Zirve, Ziya (0.8) and Lale (0.9), and the winter varieties Davamli, Emil, Sadaef (0.6), Gobustan, Chiraggala, Elvin, Shabran (0.7), Giziltaj, Ulvi, Sevinj (0.8).

The tasting value of the fruits was assessed at 5 points. According to the tasting assessment, the highest indicator was recorded in the summer varieties Zirve, Ziya with 4.5–4.6 points, and the winter varieties Emil, Emil (4.5 points), Makhmeri, Sadaef, Sevinj (4.6 points) and Giziltaj. In the autumn varieties Marfa and Sülh, these indicators (4.0 points) were somewhat lower.

The amount of soluble dry matter in the fruits of all varieties was more than 10%. These indicators varied between 10.3–11.7% according to the varieties. The soluble dry matter content of Zirve (11.3%), Ziya (11.4%), Lale (11.5%), Gobustan (11.3%), Qiziltaj (11.4%), Khazar (11.7%), Makhmeri (11.5%), Chiraggala (11.4%), Davamli (11.5%), Elvin (11.3%), Sadaf (11.4%), and Sevinj (11.3%) varieties was higher than that of other varieties.

The total sugar content among the varieties was observed between 8.56–9.64%. The lowest sugar content was recorded in the Sülh variety (8.56%), the highest sugar content was recorded in the Sevinj variety (9.64%). In terms of sugar content, the summer varieties Lale with 9.15%, winter Gobustan, Chiraggala, Giziltaj, Khazar, Makhmeri, Davamli, Emil, Elvin and Sadaf varieties with 9.13–9.14% showed good results.

Among the varieties, the lowest indicator of the amount of vitamin “C” was recorded in the Eldar and Lale varieties with 2.41–2.61 mg/%, and the highest indicator was recorded in the Giziltaj and Makhmeri apple varieties with 4.61 mg/%. In summer varieties, these indicators varied between 2.61–3.61, in autumn varieties – 2.63–2.64, and in winter varieties – 3.20–4.45 mg/%.

The shelf life of the fruits after harvesting maturity under normal conditions was determined and it was concluded that the shelf life of summer varieties (Zirve, Ziya, Lale, Nigar) is 18–23 days, and the shelf life of autumn varieties Marfa and Sülh is a maximum of 27–30 days. Winter varieties can be stored for a longer period (110–140 days).

Among the varieties, the yield of commodity varieties of group I was 63–71% in summer varieties, 64–66% in autumn varieties, and 65–78% in winter varieties. The highest commercial yield of varieties was recorded in Ziya (summer) with 71%, Gobustan, Ulvi, Nubar, Vatan, Emil, Elvin with 75%, Giziltaj with 76%, Makhmeri, Chiraggala, Davamli, Sadaef with 77%.

The transport resistance of fruits was evaluated according to the indicators of weak, medium and good. According to these indicators, Zirve, Ziya, Gobustan, Zumrud, Khazar, Eldar, Nubar, Vatan, Nuran, Sarvan, Chiraggala, Elvin, Payizlig Guba, Qishlig Guba, Shabran varieties were selected as medium transport resistant varieties, and Giziltaj, Ulvi, Makhmeri, Davamli, Emil, Sadaef and Sevinj varieties were selected as good transport resistant varieties.

Conclusion: Since local and selected varieties adapted to historical soil and climatic conditions surpass introduced varieties in terms of their agricultural biological characteristics and quality indicators, as well as resistance to diseases and pests, it is possible to achieve high productivity and partially protect our country from existing ecological problems by applying innovative technologies to these varieties and creating new industrial-type orchards.

1. Fundamentals of Ecology / Aliyeva R. A., Mustafayeva G. T. et al. Baku, 2006. 536 p.
2. Salimov V. S. Organization of selection work in terms of ecologically clean production. *Conference dedicated to the 100th anniversary of Academician H.A. Aliyev*. Baku, 2007. P. 217–219.
3. Sadigov A. N. Variety study and selection of apple plants in Azerbaijan. Authored doc. diss. Baku, 2016. 48 p.
4. Agrarian Services Agency under the Ministry of Agriculture. *Staton Register*. Baku, 2022. P. 121–124.
5. Main, rare and non-traditional plant species – from study to development (agricultural and biological sciences). *Scientific Week in Kruty – 2023* : Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference (within the framework of the VIII Scientific Forum, 2 March 2023, Kruty village, Chernihiv region) / SS 'Mayak' IOB NAAS: in 2 vols. Obukhiv : Printing house of V. M. Guliaiev, 2023. Vol. 2. 332 p.
6. ДСТУ 4957:2008. Продукти перероблення плодів та овочів. Методи визначення титрованої кислотності. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=83280.

(дата звернення: 10.11.2024). **7.** ДСТУ ISO 6557-2:2014. Фрукти, овочі та продукти перероблення. Визначання вмісту аскорбінової кислоти. Частина 2. Практичні методи (ISO 6557-2-1984, IDT). **8.** Козлова О. П., Домарацький Є. О. Практикум з плодівництва : навч. посіб. Херсон : Видавничий дім «ОЛДІ-ПЛЮС», 2021. 146 с.

REFERENCES:

1. Fundamentals of Ecology / Aliyeva R. A., Mustafayeva G. T. et al. Baku, 2006. 536 p. **2.** Salimov V. S. Organization of selection work in terms of ecologically clean production. *Conference dedicated to the 100th anniversary of Academician H.A. Aliyev*. Baku, 2007. P. 217–219. **3.** Sadigov A. N. Variety study and selection of apple plants in Azerbaijan. Authored doc. diss. Baku, 2016. 48 p. **4.** Agrarian Services Agency under the Ministry of Agriculture. *Staton Register*. Baku, 2022. P. 121–124. **5.** Main, rare and non-traditional plant species – from study to development (agricultural and biological sciences). *Scientific Week in Kruty – 2023* : Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference (within the framework of the VIII Scientific Forum, 2 March 2023, Kruty village, Chernihiv region) / SS 'Mayak' IOB NAAS: in 2 vols. Obukhiv : Printing house of V. M. Guliaiev, 2023. Vol. 2. 332 p. **6.** DSTU 4957:2008. Produkty pereroblennia plodiv ta ovochiv. Metody vyznachennia tytrovanoj kyslotnosti. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=83280. (data zvernennia: 10.11.2024). **7.** DSTU ISO 6557-2:2014. Frukty, ovochi ta produkty pereroblennia. Vyznachannia vmistu askorbinovoi kysloty. Chastyna 2. Praktychni metody (ISO 6557-2-1984, IDT). **8.** Kozlova O. P., Domaratskyi Ye. O. Praktykum z plodivnytstva : navch. posib. Kherson : Vydavnychiy dim «OLDI-PLIUС», 2021. 146 s.

Садигов А. Н., д.с.-г.н., доцент (Міністерство сільського господарства Азербайджанської Республіки, Науково-дослідний інститут плодівництва та чаївництва, AZ4035, м. Губа, Азербайджан)

ЗНАЧЕННЯ СЕЛЕКЦІЙНИХ СОРТІВ У ВИРОБНИЦТВІ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТОЇ ПРОДУКЦІЇ З ЯБЛУК

У статті наведено широку інформацію про господарсько-біологічні особливості сортів яблуні, що культивуються в умовах Губа-Хачмазської економічної зони, інтродукованих та отриманих шляхом селекції в Науково-дослідному інституті плодівництва і

чаївництва, а також про механічний склад ґрунту, в якому вони культивуються (азот, фосфор, Са, гумус, Ph тощо). В результаті дослідження було визначено хіміко-механічний склад, дегустаційну цінність, стійкість до хвороб і шкідників, а також транспортабельність сортів, згрупованих у літні (Zirve, Ziya, Lala, Nıgar), осінні (Marfa, Sülh) і зимові (Giziltaj, Ulvi, Vatan, Zumurud та ін.), та відібрано сорти з високою економічною ефективністю. За показниками врожайності виділилися сорти Зія (18 т), Сулх (23 т), Махмері, Чираггала (25 т), Елвін, Еміль, Шабран (27 т) і Садаф (30 т). Найвищий показник за кількістю розчинної сухої речовини був зафіксований у Лале, Махмері, Давамлі – 11,5%, Хазар – 11,7%, вітамін «С» зафіксовано у сортах Еміль, Садаф – 4,35 мг/%, Гізілтадж, Махмері – 4,61 мг/%. За вмістом цукру хороші результати показали літні сорти Лале – 9,15%, зимові Гобустан, Чираггала, Гізілтадж, Хазар, Махмері, Давамлі, Еміль, Елвін – 9,13–9,14% і Садаф – 9,61%. Порівняно з іншими сортами, найвищий вихід товарних сортів першої групи спостерігався у сортів Гобустан, Ульві, Нубар, Ватан, Еміль, Ельвін (75%), Гізілтадж (76%), Чираггала, Давамлі, Махмері, Садаф (77%) і Севіндж (78%). За стійкістю до транспортування сорти Зірве, Зія, Гобустан, Зумруд, Хазар, Ельдар, Нубар, Ватан, Нуран, Сарван, Чираггала, Елвін, Пайзіліг Губа, Кишлиг Губа, Шабран були відібрані як середньостійкі до транспортування, а сорти Гізілтадж, Ульві, Махмері, Давамлі, Еміль, Садаф і Севіндж – як добре стійкі до транспортування.

Ключові слова: яблуко; генофонд; якість; екологія; Азербайджан.

Статник І. І., к.с.-г.н., доцент, Науменко Р. М., здобувач вищої освіти третього рівня (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, i.i.statnik@nuwm.edu.ua; r.m.naumenko@nuwm.edu.ua)

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА В ЦЕМЕНТНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ НА ШЛЯХУ ДО СТАЛОГО РОЗВИТКУ

У статті розглянуто актуальні питання в сфері управління відходами виробництва та споживання, які на сьогодні потребують уваги та вирішення на всіх рівнях управління, починаючи від державного регулювання, управління на рівні територіальних громад до залучення кожного приватного домогосподарства.

Наголошено на важливості застосування сучасних методів управління відходами, що мають широкий практичний досвід впровадження в країнах Європейського Союзу та в світі, зокрема використання процесу відновлення відходів шляхом використання переважно як палива чи в інший спосіб для виробництва енергії.

Мета статті полягає в аналізі та обґрунтуванні використання альтернативного палива з побутових та промислових відходів як сучасного напрямку розвитку у сфері управління відходами виробництва та споживання в Україні та пріоритетного напрямку для досягнення цілей сталого розвитку в Україні та в світі.

При підготовці наукової публікації використано методи системного, структурно-логічного аналізу та узагальнення практичного досвіду.

Зростаюча кількість відходів виробництва та споживання, що розміщуються на полігонах та сміттєзвалищах, місцях неорганізованого складування, частина з яких переповнена та не відповідає екологічним вимогам, є одним з основних екологічних аспектів впливу на навколишнє середовище в Україні. Проблема також суттєво поглиблюється з врахуванням впливу воєнних дій в Україні.

У статті розглянуто основні проблеми у сфері розвитку системи управління відходами в Україні, проведено аналіз наукових досліджень в українському науковому полі, які мали

практичне та теоретичне підґрунтя для застосування. Зібрано та проаналізовано тенденції розвитку системи управління та поводження з відходами в Європейському Союзі та в інших країнах світу. Представлено та проаналізовано нормативні вимоги, які встановлюються до установок спалювання відходів та сумісного спалювання в Європейському Союзі, а також характеристики технології цементного виробництва, що є визначальними для визначення можливості використання альтернативного палива з відходів.

Ключові слова: сталий розвиток; відходи виробництва та споживання; управління відходами; альтернативне паливо; спалювання.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Питання управління відходами виробництва та споживання на сучасному етапі технологічного розвитку людства становить одну з найбільш глобальних проблем сучасності. Формування адекватних механізмів управління щодо накопичення, зберігання та поводження з відходами, які будуть дієвими на всіх рівнях управління, від державного до приватного домогосподарства, відповідно до ієрархії управління відходами, є одним з ключових завдань концепції сталого розвитку.

За даними Міністерства розвитку громад та територій України щорічно утворюється і видаляється на полігони та сміттєзвалища близько 9–15 млн тонн побутових відходів, з яких переробляється за різними оцінками від 5 до 10%. В умовах війни значно зросла кількість сміттєзвалищ і перевантажених полігонів, які не відповідають нормам екологічної безпеки та через відсутність належного управління створюють додаткові екологічні загрози.

Одним із дієвих інструментів управління відходами відповідно до Директиви Європейського Парламенту і Ради 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 року про відходи [1, С. 42] є інші види відновлення, наприклад з отриманням енергії, що передбачає попереднє роздільне сортування, збирання, обробку та застосування як альтернативного палива у цементній промисловості та енергетичному секторі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання управління відходами виробництва та споживання з врахуванням екологічних

аспектів впливу на довкілля в Україні розглядали Саницький М. А. (2007), Клименко М. О. та Бєдункова О. О. (2010), Статник І. І. (2013), Хруник С. Я. (2014), Трофімов І. Л. (2016) та інші [2–6].

В українському науковому полі, питання застосування альтернативних палив від оброблених побутових та промислових відходів в цементній промисловості, як одного з напрямів сталого розвитку в сфері управління відходами, розглянуто частково та потребує ширшого розгляду та додаткового дослідження.

Трофімов І. Л. та інші [4, С. 106, 109] звертає увагу на необхідність впровадження систем роздільного збору твердих побутових відходів (ТПВ), що зменшить частку компонентів, котрі не розкладаються біологічним шляхом, у загальній масі ТПВ. Це також підвищить вміст органічної складової у відходах, що захоронюються на сміттєзвалищах і полігонах з метою подальшого виробітку біогазу та подальшого його використання. Напрямок видобутку біогазу на полігонах та сміттєзвалищах є достатньо важливим, оскільки вирішує такі проблеми: перероблення органічної складової ТПВ, попередження самозаймання полігонів, з подальшим горінням та викидом діоксинів та фуранів, парникових газів, зменшення забруднення навколишнього середовища завдяки відведенню біогазу, та використання його як джерела енергії.

Реалізація проєктів видобутку біогазу такого типу дозволяють виробляти як електричну, так і теплову енергію, причому виробництво лише електроенергії є менш рентабельним. Однією з необхідних умов для проєктів є наявність поблизу звалища споживача енергії. Доцільність транспортування теплової енергії в таких випадках складає за оцінками експертів до 3 км.

Паралельно зі збором звалищного газу автором [4, С. 109] пропонується на місцях звалищ ТПВ розміщувати цехи для виробництва каталізаторів з очищення вихлопних газів. Однак це потребуватиме додаткових вартісних технологій з сортування і виділення зі шламів та відходів металів та їх оксидів для виробництва каталізаторів.

У роботі Трофімова І.Л. зі співавторами наголошується на відсутності дієвих механізмів та ефективних методів спалювання відходів на сміттєспалювальних заводах. При спалюванні в таких умовах потребується додаткова витрата палива, отримана при цьому енергія повинна використовуватись для виробництва електроенергії

та пари. Шлаки, що утворюються при спалюванні відходів на сміттєспалювальних заводах, складають до 30% від вхідного матеріалу, що потребує також вирішення питання подальшого застосування золи та шлаків. Автором зазначається, що на момент публікації наукової роботи спалювання не є ефективною технологією та не вирішує енергетичну проблему України, тому що не дозволяє отримувати альтернативних джерел енергії з відходів, а також негативно впливає на стан навколишнього середовища.

В окремих роботах українських науковців акцентовано увагу на підвищенні екологічної безпеки при співспалюванні з вугіллям в цементних печах окремих підвидів альтернативного палива на основі горючих відходів (відходи оброблення макулатури, тари пластикової дрібної, тирси деревинної, зношених автомобільних шин) на прикладі Миколаївського цементного заводу [2; 3]. Авторами проаналізовано можливі впливи на довкілля та перспективи застосування окремих видів відходів як потенційних складових альтернативного палива.

У публікаціях та роботах іноземних авторів Chatziaras, Psomopoulos та Themelis [7, С. 521, 524] зазначається, що заміна частини викопного палива на альтернативне паливо при виробництві цементу має надзвичайно важливе значення як для виробника цементу, так і для суспільства. Це дозволяє зберегти запаси викопного палива, а у випадку застосування відходів з біоскладовою – зменшити викиди парникових газів.

Процес випалу клінкеру є найбільш придатним до застосування різноманітних видів альтернативних палив, важливою складовою при цьому є контроль споживання альтернативного палива при одночасному відстеженні та контролі якості виробленого клінкеру (система управління якістю).

Мета та завдання досліджень. Мета досліджень полягає в оцінці впливу використання альтернативного палива та вторинних ресурсів при виробництві цементу на стан природних та штучних екосистем. Для виконання поставленої мети вирішувались такі першочергові завдання: аналіз сучасного стану проблеми накопичення, зберігання та поводження з відходами, використання альтернативного палива в цементній промисловості на шляху до сталого розвитку в Україні; аналіз вимог законодавства України, нормативних актів Європейського Союзу (ЄС) щодо застосування альтернативного палива.

Виклад основного матеріалу дослідження. За даними Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2021 році, найбільша кількість відходів утворюється унаслідок економічної діяльності підприємств та організацій (близько 98%). На відходи, що утворюються у домогосподарствах, припадає менше 2% [8, С. 171].

За даними Міністерства розвитку громад та територій України в населених пунктах України за 2023 рік утворилось понад 44 млн м³ побутових відходів, або понад 9 млн тонн, які захоронюються на 5,6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 12 тис. га. У 2023 році відновлено близько 10,35% побутових відходів, з них: 1,6% спалено, а 8,75% побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні лінії (в тому числі 1,25% побутових відходів було компостовано). Кількість перевантажених сміттєзвалищ становить 230 од. (3,8%), а 824 од. (13,8%) не відповідають нормам екологічної безпеки.

Обсяг відходів руйнації в Україні внаслідок війни складає близько 7,5 млн м³ – це тисячі тонн цегли, бетону, скла, металопластику, мінеральної вати, пінопласту, матеріалів фасаду, а також матеріалів внутрішнього оздоблення, уламки газових, водопровідних та електромереж, побутових речей, деревини, матеріалів покрівлі, серед яких смола, руберойд, шифер. І вся ця суміш має ризик вмісту нерозірваних бомб, снарядів або мін.

Прямі збитки у сфері управління відходами станом на кінець 2023 склали 95,36 млн доларів США, орієнтовна вартість вивезення відходів руйнування будівель та споруд та завалів – 320,7 млн доларів США, а потенційні втрати прибутків підприємств з перероблення відходів оцінюються в 11,9 млн доларів США [9, С. 4].

Основою для складання прогнозів утворення відходів в Україні застосовано прогноз розвитку виробничого потенціалу, соціальної інфраструктури та транспорту, а також прогнозована чисельність населення. На основі даних Держкомстату України, Інституту демографії та соціальних досліджень НАН України, UNHCR, інформації Управління Верховного комісара ООН у справах біженців розроблено прогнози чисельності населення в Україні та відповідно прогнози утворення відходів за видами [9, С. 23–24].

Виходячи з середнього морфологічного складу ТПВ в Україні, планів щодо майбутнього повторного використання, рециклінгу та

середньоєвропейських даних щодо енергетичного складу та % виходу Refuse derived fuel (RDF) в Європі в 2010 році, ми здійснили розрахунок прогностичних даних щодо утворення та переробки складових побутових відходів в Україні на період до 2033 року. Графік представлено на рис. 1.

Окремою категорією відходів, які можуть бути застосовані в якості енергетичної складової для виробництва альтернативного палива, є відпрацьовані шини та оливи, відходи медичної допомоги (рис. 2).

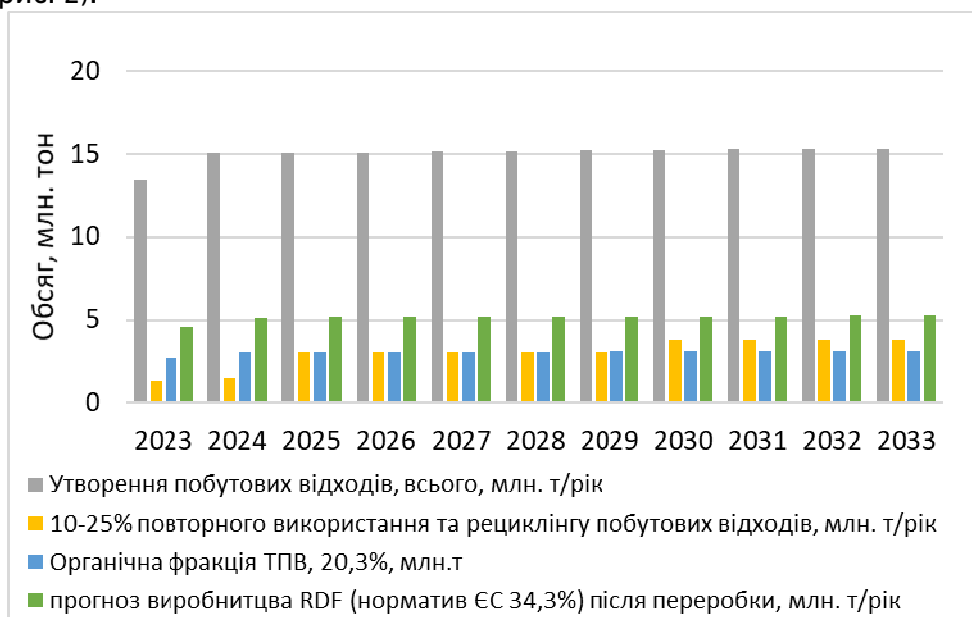


Рис. 1. Прогноз утворення та переробки побутових відходів в Україні до 2033 року

Найбільш актуальними проблемами у сфері поводження з відходами в Україні є [10]:

- накопичення великої кількості відходів, збільшення кількості несанкціонованих звалищ та перевантажених полігонів, які не відповідають нормам екологічної безпеки, подальше поглиблення екологічної кризи;

- низький рівень врегулювання питань поводження з відходами на законодавчому рівні та недостатній рівень впровадження в європейських директив і регламентів;

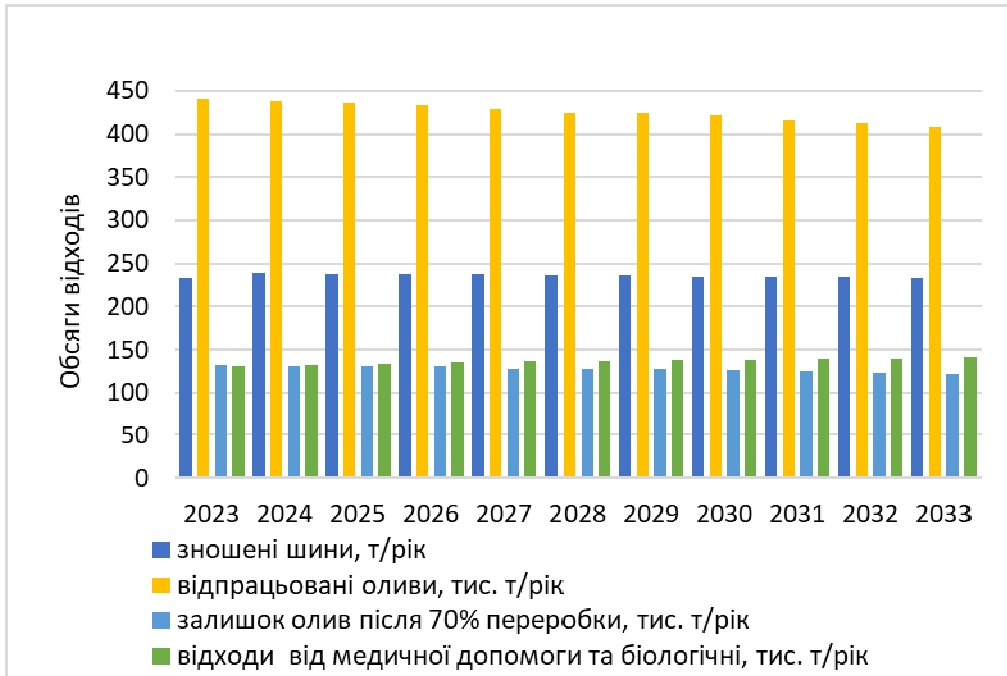


Рис. 2. Прогноз утворення зношених шин, відпрацьованих олив, медичних та біологічних відходів в Україні до 2033 року

- відсутність систем управління відходами, що могли б впроваджувати заходи відповідно до ієрархії управління відходами у порядку спадання ефективності – запобігання утворенню, перероблення, утилізація та захоронення відходів;

- слабка інституційна спроможність органів державної влади та місцевого самоврядування щодо впровадження дієвої взаємодії в системі управління відходами;

- необхідність належного інформування та навчання населення щодо методів сортування відходів та поводження з ними.

Реформи у сфері управління відходами, які поступово впроваджуються Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України, передбачають:

- гармонізацію українського законодавства з вимогами законодавства ЄС у сфері поводження з відходами;

- створення умов для залучення необхідних іноземних інвестицій та європейського досвіду для будівництва в Україні сучасних інфраструктурних об'єктів зі збору та переробки відходів;

- консервація екологічно небезпечних об'єктів (закриття несанкціонованих сміттєзвалищ та рекультивацію забруднених полігонів);

- вирішення питання поводження з небезпечними відходами та відходами видобувної промисловості;

- впровадження принципів оцінки екологічних ризиків та ієрархії управління відходами та системи розширеної відповідальності виробника;

- впровадження системи екологічного навчання суспільства принципам управління відходами, сортування, роздільного збору відходів, економного та ефективного використання енергетичних ресурсів та принципів рециркуляційної економіки (в т.ч. повторного використання ресурсів).

На першому етапі впровадження реформи управління відходами прийнято Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-ІХ, який передбачає запровадження дієвих механізмів у сфері управління відходами. Закон базується на принципах та найкращих практиках європейського законодавства.

Україною планується поступове реформування у сфері поводження з відходами та адаптація відповідних нормативно-правових актів за прикладом ЄС.

Одним з пріоритетних напрямів управління відходами виробництва та споживання, що застосовується в ЄС, є їх сортування, оброблення з метою вилучення енергетичної складової та вилучення інертних компонентів. Продукт обробки муніципальних відходів – Refuse derived fuel (RDF) у більшості європейських країн може складати 20–50% від початкової маси утворених муніципальних відходів і застосовуватись як додаткове (альтернативне) паливо на печах цементного виробництва. Це дає можливість зменшити кількість розміщених відходів на сміттєзвалищах та зменшити витрати викопного палива, включаючи зменшення шкоди довкіллю внаслідок розробки кар'єрів. Італія, Бельгія, Нідерланди та Данія є в числі країн, що мають хоча б одну цементну піч, яка використовує RDF.

За оцінками Європейської комісії, близько 115 000 тонн/рік муніципальних відходів було використано в цементних печах шляхом сумісного спалювання в 1997 р. та більш ніж 300 000 тонн/рік RDF, вироблених з муніципальних відходів, було співспалено в цементних

печах ЄС у 2003 [11, С. 37].

В Україні перші зразки RDF як альтернативних палив були вироблені та застосовані у 2009 та 2013 роках (рис. 3).

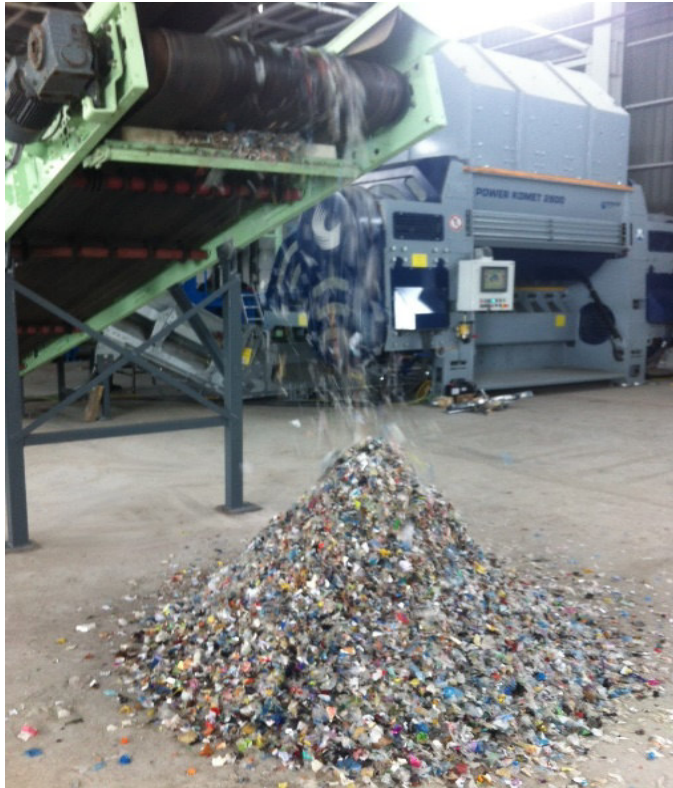


Рис. 3. Зразок матеріалу RDF, виробленого в 2013 році в Україні (м. Рівне)

Іншим підвидом альтернативного палива, що широко застосовується у ЄС та в інших державах світу є SRF (Solid Recovered Fuel) – вид альтернативного палива, що отримується з безпечних промислових та муніципальних відходів і містить матеріали з високим калорійним вмістом.

Так, наприклад, в Італії в 2019 році установками сумісного спалювання відходів за дослідженнями ISPRA було використано 393 тис. тонн SRF, з них на підприємствах цементної галузі 290 тис. тонн [12].

Німеччина є однією з країн, де питання застосування альтернативного палива досліджувались на глибокому рівні та має значний європейський досвід. Уперше альтернативне паливо з

використаних шин було використано у 1950 році. У 1980 р. було налагоджено постійне використання альтернативних палив концерном «Brennstoff aus Müll» (BRAM) у Вестфальській цементній промисловості Німеччини. У 1987 р. менше 5% викопного палива було замінено альтернативним паливом, а у 2015 р. – використання альтернативного палива в цементній галузі Німеччини зросло майже до 62%.

У цементній промисловості Європейського Союзу утилізується значна кількість палива, отриманого з відходів, яке замінило викопні види палива більш ніж на 75–80% на окремих заводах. Цементна промисловість робить таким чином додатковий внесок у зниження викидів парникових газів та зменшення використання природних викопних палив за рахунок заміни на альтернативні.

Заборона на захоронення неперероблених відходів на звалищах, прийнята у деяких країнах-членах ЄС, призвела до того, що в експлуатацію вводиться все більше заводів з механічної та механічно-біологічної переробки відходів. Внаслідок цього все гостріше постає питання про утилізацію попередньо перероблених фракцій відходів. Після належної переробки окремі фракції відходів можуть відповідати вимогам до екологічно прийняттого повторного використання на цементних заводах.

Цементна промисловість країн ЄС-27 вже багато років займається регенерацією вибраних потоків відходів. Ця галузь промисловості, яка традиційно споживає значну кількість невідновлюваних природних ресурсів, бере активну участь у використанні відходів для збереження цих ресурсів, не виробляючи при цьому залишкових шлаків [13, С. 17].

Для забезпечення екологічної безпеки процесу відновлення відходів шляхом використання переважно як палива чи в інший спосіб для виробництва енергії Директива 2000/76/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 4 грудня 2000 року Про спалювання відходів [14, С. 96–97] встановлює наступні вимоги до сміттєспалювальних установок та установок сумісного спалювання відходів:

- експлуатація сміттєспалювальних установок повинна відбуватися з досягненням загального вмісту загального органічного вуглецю (ТОС) у шлаку менш ніж 3% або втрати при прожарюванні

були менш ніж 5% сухої ваги матеріалу. При потребі застосовуються відповідні технології підготовки відходів;

- комплекси сумісного спалювання повинні бути спроектовані, обладнані, змонтовані та експлуатуватись так, щоб температура газу після останнього контрольованого нагнітання повітря для горіння навіть за найгірших умов піднімалася протягом двох секунд до 850° С. Температуру слід вимірювати біля внутрішньої стінки камери згоряння або в іншій відповідній точці камери. При спалюванні небезпечних відходів, з вмістом більше 1% галогенованих органічних речовин у вигляді хлору, температура повинна підніматися до 1100° С мінімум за дві секунди;

- автоматична система попередження подачі сміття повинна бути встановлена на сміттєспалювальних установках та комплексах сумісного спалювання та використана при:

(а) запуску, до досягнення температури 850° С або 1100° С, залежно від потреби або температури;

(б) у випадку, коли температури 850° С або 1100° С, залежно від потреби, не утримуються;

(в) у випадку, коли вимірювання, здійснення яких вимагається Директивою, показують перевищення граничних величин емісії через неполадки або поломки очищувальних пристроїв.

Процес виробництва клінкеру в цементному виробництві з огляду на його технологічні характеристики дає змогу екологічно безпечним способом використовувати відходи з метою утворення енергії. Ключові характеристики технологічного процесу випалу клінкеру можна підсумувати таким чином [13, С. 18; 15, С. 59]:

-максимальна температура на основному пальнику обертової печі – приблизно до 2000° С;

-тривалість перебування газу в обертовій випалювальній печі – близько 8 секунд за температур понад 1200° С з окисною газовою атмосферою;

-температура матеріалу в зоні спікання складає близько 1450° С;

-час перебування газу у вторинній системі випалювання – понад 2 секунди за температур понад 850° С; а час перебування в попередньому кальцинаторі значно довший, і температури в ній вища (для печей сухого способу);

-температури твердих речовин у вторинній системі та/або кальцинаторі складають 850° С (для печей сухого способу);

-умови згорання є рівномірними за коливань навантаження внаслідок високих температур та достатньо тривалого часу перебування в печі;

-розкладання органічних забруднюючих речовин відбувається під дією високих температур за достатньо тривалого часу перебування в печі;

-поглинання газоподібних сполук, таких як HF, HCl, SO₂, лужними реагентами клінкерного матеріалу;

-висока здатність до утримання зв'язаних з твердими частками важких металів; хімічно-мінералогічне включення нелетких важких металів у склад клінкеру;

-повна утилізація золи-виносу від спалювання палива в якості компонентів клінкеру, одночасно часткове заміщення золю сировинних матеріалів та збереження енергії;

-зола, що характерна для конкретного продукту при його звичайному спалюванні, не утворюється, оскільки матеріал повністю використовується у клінкерній матриці.

З огляду на характеристики технологічного процесу випалу клінкеру, цементною промисловістю Європи застосовується значна кількість відповідно підготовленого альтернативного палива з комунальних та промислових відходів [13, С. 17–18]. Перелік відходів, що використовуються цементними заводами ЄС достатньо різноманітний (таблиця).

Таблиця

Типи відходів, що використовувались як паливо для цементних печей у країнах ЄС-27 в 2003 та 2004 роках

№ групи (1)	Типи палива з відходів (небезпечні та такі, що не є небезпечними)
1	Деревина, папір, картон
2	Текстиль
3	Пластмаси
4	Перероблені фракції (наприклад, паливо з твердих побутових відходів)
5	Гума/покришки
6	Промисловий шлам
7	Шлам з комунально-побутових стічних вод
8	Тваринне борошно, жири
9	Відходи вугілля / вуглецеві відходи

продовження таблиці

10	Сільськогосподарські відходи
11	Тверді відходи (просочена тирса)
12	Розчинники та пов'язані з ними відходи
13	Нафта та нафтовмісні стічні води
14	Інші відходи
(1) Кожна група охоплює кілька позицій Європейського каталогу відходів (EWC)	

На сьогодні у світовій практиці використовуються різні види відходів у якості сировини та/або палива. Вибір типу матеріалу, що буде застосовуватись як альтернативне паливо, має враховувати різні базові принципи, як-от правильний вибір відходів та поглиблена процедура аналізу складу та властивостей відходів та їх попередньої переробки, відповідність їх вимогам споживача. Попереднє сортування та переробка відходів повинна здійснюватися таким чином, щоб витримувати в майбутньому стандарти якості клінкеру, оскільки зола-винос повністю адсорбується в склад клінкерного продукту. На питання, який вид відходів, зрештою, можна використовувати на конкретному підприємстві, не можна дати однозначної відповіді. Доцільною може бути розробка технічних умов на альтернативне паливо для конкретного цементного підприємства з врахуванням всіх факторів, що впливають на технологічний процес, включаючи якість вхідного альтернативного палива та якість вихідного клінкеру.

Міркування та рішення повинні базуватися на таких факторах, як характер процесу виробництва клінкеру та умови роботи, склад сировинної суміші та основного палива, що використовується в технологічному процесі, склад і властивості альтернативного палива, точки живлення, технологія очищення димових газів, що використовується, наявні проблеми з керування відходами в регіоні та вимоги існуючих європейських і національних норм.

Висновки. Використання альтернативного палива з перероблених відходів у цементній галузі є одним з основних напрямів сталого розвитку та дозволяє підприємствам цементної галузі в Європейському Союзі та в інших країнах світу вирішувати глобальні проблеми енергетичного менеджменту, споживання первинних ресурсів та поводження з відходами. Багаторічний світовий досвід цементних підприємств показує, що використання

відходів як альтернативного палива для цементних підприємств України є екологічно та економічно виправданим. Переваги від використання альтернативних видів палива як заміника викопного палива повинні бути забезпечені наявністю відповідного рівня контролю викидів та системи контролю якості вхідних матеріалів та цементного клінкеру.

Повоєнна структура економіки України повинна зосередитись на використанні сучасних методів переробки та повторного використання відходів, а також технологій їх рециклінгу та відновлення на противагу до довоєнної економіки, яка зосереджувалась більшістю на споживанні природних ресурсів. В такому контексті подальші дослідження в сфері застосування альтернативних палив на підприємствах цементної галузі та енергетики в Україні є надзвичайно актуальними і сприятимуть вирішенню екологічних проблем. Застосування альтернативного палива в цементній промисловості та енергетичному секторі є одним із основних напрямів, що сприяють зменшенню обсягів відходів, які потребують захоронення. Як наслідок, знижується рівень заповнення сміттєзвалищ і викидів парникових газів. Додатковий екологічний ефект полягає у зменшенні використання викопного палива та сировинних матеріалів, що скорочує площі розробки кар'єрів для видобутку корисних копалин.

1. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance), 18.02.2024, Document 02008L0098-20240218. P. 1–59. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20240218>. (дата звернення: 10.11.2024). 2. Саницький М. А., Хруник С. Я., Мазурак О. Т., Кіракевич І. І. Екологічні аспекти спалювання вторинних паливних матеріалів у цементних печах. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2007. № 602. С. 158–163. 3. Хруник С. Я. Підвищення екологічної безпеки при використанні альтернативного палива в цементному виробництві : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2014. URL: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/4700/1/an2505.pdf>. (дата звернення: 10.11.2024). 4. Трофімов І. Л., Яковлева А. В., Іванченко О. В., Верягіна Л. С. Аналіз потенціалу твердих побутових відходів як сировини для виробництва альтернативних палив в Україні. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2016. № 2. ISSN 1813-5420 5. Утилізація твердих

побутових відходів : навч. посіб. / М. О. Клименко, А. М. Рокочинський, О. О. Бедункова, Є. З. Маланчук, Р. В. Жомирук, С. Ю. Громаченко. Рівне, 2010. 307 с. **6.** Статник І. І. Обґрунтування доцільності використання альтернативного палива на ПАТ «Волинь-Цемент». *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*. 2013. Вип. 1 (61). С. 107–112. **7.** Chatziaras N., Psomopoulos C. S., Themelis N. J. Use of alternative fuels in cement industry. *Proceedings of the 12th International Conference on Protection and Restoration of the Environment*. Skiathos Island, Greece, 29 June–3 July 2014. Vol. 1. Pp. 521–529. URL: https://www.researchgate.net/publication/263714046_Use_of_alternative_fuels_in_cement_industry. (дата звернення: 10.11.2024). **8.** Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. 2024. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>. (дата звернення: 10.11.2024). **9.** Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Проєкт національного плану управління відходами України до 2033 року. 27.05.2024. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2024/05/Proyekt-NPUV-10.docx>. (дата звернення: 10.11.2024). **10.** Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Реформи з ефективного управління відходами. 2024. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/reformy/efektyvne-upravlinnya-vidhodamy/>. (дата звернення: 10.11.2024). **11.** Gendebien A., Leavens A., Blackmore K., Godley A., Lewin K., Whiting K.J., Davis R., Giegrich J., Fehrenbach H., Gromke U., del Bufalo N., & Hogg D. Refuse Derived Fuel, current practice and perspectives (B4-3040/2000/306517/MAR/E3) : Final Report. European Commission–DG Environment, July 2003. URL: <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/rdf.pdf>. (дата звернення: 10.11.2024). **12.** Ecostar Srl. The SRF market in Italy and Europe: insights and an Ecostar case study. Vicenza, Italy, 12.08.2024. URL: <https://ecostar.eu.com/the-solid-recovered-fuels-industry-in-europe-challenges-and-limits-ecostar/>. (дата звернення: 10.11.2024). **13.** Шорхт Ф., Коурті І., Скалет Б. М., Рудьє С., Санчо Л. Д. Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію. Директива щодо промислових викидів 2010/75/EU (Комплексне запобігання та контроль забруднень). Іспанія, 2013. URL: <https://www.doi.org/10.2788/12850>. (дата звернення: 10.11.2024). **14.** DIRECTIVE 2000/76/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the incineration of waste, 04.12.2000. *Official Journal of the European Communities*. 28.12.2000. L 332. P. 91–111. **15.** ICS 13.040.40. Об'єднання німецьких інженерів. Контроль відхідних газів. Цементні заводи. VDI 2094, березень 2003. С. 1–72.

REFERENCES:

1. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance), 18.02.2024, Document 02008L0098-20240218. P. 1–59. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20240218>. (data zvernennia: 10.11.2024).
2. Sanytskyi M. A., Khrunyk S. Ya., Mazurak O. T., Kirakevych I. I. Ekolohichni aspekty spaliovannia vtorynnykh palyvnykh materialiv u tsementnykh pechakh. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. 2007. № 602. С. 158–163.
3. Khrunyk S. Ya. Pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky pry vykorystanni alternatyvnoho palyva v tsementnomu vyrobnytstvi : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk. Ivano-Frankivskiyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet nafty i hazu, 2014. URL: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/4700/1/an2505.pdf>. (data zvernennia: 10.11.2024).
4. Trofimov I. L., Yakovlieva A. V., Ivanchenko O. V., Vieriahina L. S. Analiz potentsialu tverdykh pobutovykh vidkhodiv yak syrovyny dlia vyrobnytstva alternatyvnykh palyv v Ukraini. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*. 2016. № 2. ISSN 1813-5420
5. Utylizatsiia tverdykh pobutovykh vidkhodiv : navch. posib. / M. O. Klymenko, A. M. Rokochynskiyi, O. O. Biedunkova, Ye. Z. Malanchuk, R. V. Zhomyruk, S. Yu. Hromachenko. Rivne, 2010. 307 s.
6. Statnyk I. I. Obhruntuvannia dotsilnosti vykorystannia alternatyvnoho palyva na PAT «Volyn-Tsement». *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Silskohospodarski nauky*. 2013. Vyp. 1 (61). S. 107–112.
7. Chatziaras N., Psomopoulos C. S., Themelis N. J. Use of alternative fuels in cement industry. *Proceedings of the 12th International Conference on Protection and Restoration of the Environment*. Skiathos Island, Greece, 29 June–3 July 2014. Vol. 1. Pp. 521–529. URL: https://www.researchgate.net/publication/263714046_Use_of_alternative_fuels_in_cement_industry. (data zvernennia: 10.11.2024).
8. Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. Natsionalna dopovid pro stan navkolynshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini u 2021 rotsi. 2024. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>. (data zvernennia: 10.11.2024).
9. Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. Proiekt natsionalnoho planu upravlinnia vidkhodamy Ukrainy do 2033 roku. 27.05.2024. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2024/05/Proyekt-NPUV-10.docx>. (data zvernennia: 10.11.2024).
10. Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. Reformy z efektyvnoho upravlinnia vidkhodamy. 2024. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/reformy/efektyvne-upravlinnya-vidhodamy/>. (data zvernennia: 10.11.2024).
11. Gendebien A., Leavens A., Blackmore K., Godley A., Lewin K., Whiting K.J., Davis R., Giegrich J., Fehrenbach H., Gromke U.,

del Bufalo N., & Hogg D. Refuse Derived Fuel, current practice and perspectives (B4-3040/2000/306517/MAR/E3) : Final Report. European Commission–DG Environment, July 2003. URL: <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/rdf.pdf>. (data zvernennia: 10.11.2024). **12.** Ecostar Srl. The SRF market in Italy and Europe: insights and an Ecostar case study. Vicenza, Italy, 12.08.2024. URL: <https://ecostar.eu.com/the-solid-recovered-fuels-industry-in-europe-challenges-and-limits-ecostar/>. (data zvernennia: 10.11.2024). **13.** Shorkht F., Kourti I., Skalet B. M., Rudie S., Sancho L. D. Dovidkovyi dokument z naikrashchykh dostupnykh tekhnolohii ta metodiv upravlinnia (NDTM) dlia vyrobnytstva tsementu, vapna ta oksydu mahniuu. Dyrektyva shchodo promyslovykh vykydiv 2010/75/EU (Kompleksne zapobihannia ta kontrol zabrudnen). Ispaniia, 2013. URL: <https://www.doi.org/10.2788/12850>. (data zvernennia: 10.11.2024). **14.** DIRECTIVE 2000/76/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the incineration of waste, 04.12.2000. *Official Journal of the European Communities*. 28.12.2000. L 332. P. 91–111. **15.** ICS 13.040.40. Obiednannia nimetskykh inzheneriv. Kontrol vidkhidnykh haziv. Tsementni zavody. VDI 2094, berezen 2003. S. 1–72.

Statnyk I. I., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Naumenko R. M., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

USE OF ALTERNATIVE FUELS IN THE CEMENT INDUSTRY ON THE PATH TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The article addresses pressing issues in the field of production and consumption waste management, which require attention and solutions at all levels of governance. These levels include state regulation, management at the level of territorial communities, and the involvement of individual private households.

The importance of applying modern waste management methods is emphasized. These methods have proven practical value and are widely implemented in European Union countries and worldwide. In particular, the focus is on waste recovery processes, primarily through its use as fuel or in other ways for energy production.

The purpose of the article is to analyze and substantiate the use of alternative fuels derived from household and industrial waste as a modern development trend in the field of production and consumption

waste management in Ukraine, as well as a priority direction for achieving sustainable development goals in Ukraine and globally.

The preparation of this scientific publication involved the use of methods such as systemic and structural-logical analysis, as well as the generalization of practical experience obtained.

The increasing amount of production and consumption waste disposed of in landfills, dumpsites, and unorganized storage locations, many of which are overfilled and fail to meet environmental standards, is one of the primary environmental factors impacting Ukraine's ecosystem. This issue is further exacerbated by the effects of military actions in Ukraine.

The article addresses the main challenges of the waste management system development in Ukraine and analyzes key scientific research in Ukrainian academic field that provided practical and theoretical foundation for application. The trends in waste management system development in the European Union and globally were collected and examined. Regulatory requirements for waste incineration and co-incineration plants in the European Union, as well as the characteristics of cement production technology that are crucial for assessing the feasibility of using alternative fuel derived from waste, are presented and analyzed.

***Keywords:* sustainable development; production and consumption waste; waste management; alternative fuel; co-incineration.**

Ткачук С. О., к.с.-г.н., доцент (Рівненська філія Українського інституту експертизи сортів рослин, м. Рівне, rivno.filiya@gmail.com),
Олійник О. О., к.с.-г.н., доцент, Кучерова А. В., старший викладач (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.o.oleinik@nuwm.edu.ua , a.v.kucherova@nuwm.edu.ua)

ОЦІНКА ВПЛИВУ НОРМ ВИСІВУ ТА СТРОКІВ ПОСІВУ НА РЕАЛІЗАЦІЮ ПОТЕНЦІАЛУ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

В технологічному регламенті вирощування пшениці озимої правильно визначена норма висіву насіння сприяє створенню нормальних умов для росту і розвитку рослин, що суттєво впливає на рівень врожаю культури і його складові. Так, надто загущені або зріджені посіви знижують урожай.

Завданням проведених досліджень було оцінити та порівняти ефективність різних норм висіву та строків посіву на продуктивність сортів пшениці озимої в умовах Західного Лісостепу. Дослідження проводились на дослідному полі Рівненської філії Українського інституту експертизи сортів рослин у с. Верхівськ Рівненського району Рівненської області. Ґрунт дослідної ділянки – темно-сірий опідзолений легкосуглинковий. Дослідження проводилось упродовж 2022–2023 років.

Поєднання впливу різних норм висіву та строків посіву не однаково вплинули на досліджувані сорти пшениці озимої. За результатами проведеного нами дослідження встановлено, що для середньо раннього сорту Ауреліус, середньо пізніх сортів Тоннаж та Грегор більш результативним було проведення посіву 10 жовтня, тоді як на варіантах із дуже раннім сортом Активус була отримана вища врожайність за проведення посіву у пізні строки (8 листопада) за різних норм висіву.

Ключові слова: пшениця озима; норми висіву; строки посіву; урожайність; маса 1000 зерен.

Постановка проблеми. У нинішніх, складних для сільськогосподарського виробництва економічних умовах

надзвичайно актуальними є питання пошуку нових економічно вигідних агротехнічних заходів для підвищення врожайності та якості продукції. Світовий досвід переконує: шлях до подолання кризової ситуації пролягає насамперед через виробництво конкурентоздатної продукції як для внутрішнього, так і зовнішнього ринку. Досягти цього можна на основі комплексного підходу до виробництва, переробки й реалізації продукції рослинництва та широкого освоєння останніх науково-технічних досягнень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання удосконалення технології вирощування є одним з головних резервів збільшення виробництва високоякісного зерна і знаходяться в полі зору як вітчизняних, так і закордонних вчених. Ефективними агротехнічними заходами в реалізації потенціалу продуктивності нових сортів є оптимізація строків сівби, способів, норм висіву [1; 2; 3; 4; 5; 6]. Експериментальні дані вказують на значний вплив строків сівби на ріст і розвиток рослин пшениці озимої та формування її продуктивності. Варто зазначити, що в останні десятиріччя оптимальні строки сівби змінилися від оптимально ранніх до середньо- та оптимально пізніх з урахуванням специфічних ґрунтово-кліматичних умов регіону вирощування культури. За даними деяких авторів пшеницю озиму слід висівати у другій половині оптимальних для конкретного регіону досліджень строків, щоб зменшити вплив шкідників і хвороб на рослини та для забезпечення найкращої врожайності [1; 2; 3; 4]. Однак за більш пізньої сівби за складних погодних умов зими, підвищується ризик вимерзання посівів [2]. За даними [8] норма висіву залежить також від строку сівби: так, 250–300 штук схожих насінин на 1 м² були оптимальними за раннього строку сівби, 400 штук – за пізнього і 450–500 штук – за дуже пізнього. Норму висіву пшениці озимої слід диференціювати залежно від біологічних особливостей сорту [7]. Численні дослідження показали, що найвища урожайність пшениці озимої формувалася за оптимальних строків сівби та норми висіву, які вибираються залежно від ґрунтово-кліматичних умов, попередника, біологічних особливостей сортів, осіннього температурного режиму та вологості ґрунту [1; 2; 3; 4; 5].

Мета і завдання дослідження. Мета досліджень полягає в удосконаленні елементів технології вирощування та прискореного розмноження високоякісного насіння сортів пшениці м'якої озимої з

високим генетичним потенціалом продуктивності в умовах Західного Лісостепу. Завдання досліджень – оцінити та порівняти ефективність різних норм висіву та строків посіву на продуктивність сортів пшениці озимої в умовах Західного Лісостепу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження ефективності елементів технологій вирощування пшениці озимої протягом 2022–2023 років були проведені на дослідному полі Рівненської філії Українського інституту експертизи сортів рослин у с. Верхівськ Рівненського району Рівненської області. Ґрунт дослідної ділянки – темно-сірий опідзолений легкосуглинковий, який характеризується слабкислою реакцією сольової витяжки ($\text{pH}_{\text{КСІ}} = 6,3$), низьким вмістом в орному шарі гумусу (2,3%), низьким вмістом сполук азоту, які легко гідролізуються (84 мг/кг), середнім вмістом рухомого фосфору (255 мг/кг) та низьким вмістом обмінного калію (156 мг/кг).

Вирощували пшеницю озиму за рекомендованою для цієї ґрунтово-кліматичної зони технологією. Перший посів пшениці озимої був проведений 10.10.2022, другий посів – 08.11.22 р. Посів проводили селекційною сівалкою Клен 1,5П, спосіб посіву звичайний рядковий. Програма захисту від шкодочинних об'єктів включала обприскування у фазу кушення гербіцидом Пріма – 0,5 л/га (22.04.2023) та у фазу виходу в трубку проводилася обробка посівів баковою сумішшю за складом – гербіцид Гренадер 0,025г/га + фунгіцид Флутривіт 0,5 л/га + мікродобриво Живиця універсальна 0,5 л/га (12.05.2023 р.). Удобрення пшениці озимої перед посівом (19.08.2022 р.) проводили внесенням Нітроамофоски 15:15:15+S 112,0 кг д.р./га та I весняне підживлення аміачною селітрою (20.03.2023 р.) – 68,8 кг д.р./га. Досліди закладались методом систематизованого розміщення ділянок у чотириразовому повторенні. Загальна площа ділянки становила 25 м².

Схема досліду передбачає вивчення особливостей формування посівних якостей і врожайних властивостей сортів пшениці м'якої озимої (Ауреліус, Актівус, Тоннаж та Грегор) під дією строків та різних норм висіву насіння (3,5; 4,5; і 5,5 млн шт. схожих насінин/га) за наступними варіантами: Фактор А – строки сівби: 10 жовтня та 08 листопада; Фактор Б – норми висіву: 3,5; 4,5 та 5,5 млн шт./га.

Результати досліджень. Під час досліджень проводили фенологічні спостереження за настанням фенофаз залежно від

строків посіву пшениці озимої досліджуваних сортів. Як видно з даних табл. 1, припинення осінньої вегетації відбулося 15.11.2022 р. за середньодобової температури повітря $+2,9^{\circ}\text{C}$ для всіх досліджуваних сортів. Для сортів висіяних 10 жовтня настання фази початку кущення було 8–12 листопада. Після відновлення весняної вегетації (14.03.2023 р.) повне настання фази початку кущення для пшениці озимої, висіяної 8 листопада, фіксувалося 18–20 березня.

Аналогічна закономірність спостерігається увесь вегетаційний період. Так, настання фази воскової стиглості за проведення посіву 10 жовтня для всіх досліджуваних сортів фіксувалося 22–25 липня. За більш пізніх строків посіву (8 листопада), настання даної фази було 5–8 серпня для всіх досліджуваних сортів. Збір врожаю за більш раннього посіву був проведений 1 серпня, а для більш пізнього посіву – 12 серпня для всіх досліджуваних сортів.

Тривалість вегетаційного періоду для середньораннього сорту Ауреліус була 266 діб (посів 10 жовтня) та 188 діб за більш пізнього посіву (8 листопада). Різниця в тривалості вегетаційного періоду залежно від строків посіву становила: сорт Ауреліус – 78 діб, дуже ранній сорт Актівус – 86 діб, середньопізній сорт Тоннаж – 87 діб, середньопізній сорт Грегор – 69 діб.

В табл. 2 наведені основні результати дослідження впливу різних норм висіву та строків посіву на сортах пшениці озимої. Рівень перезимівлі усіх досліджуваних сортів пшениці озимої незалежно від строків сівби оцінювався на 9 балів.

Правильно визначена норма висіву насіння забезпечує необхідну густоту стояння рослин, що сприяє нормальному їх росту та розвитку, і зокрема впливає на кущистість, а отже, і визначає кількість колосків на одиниці площі. Слід зазначити, що різні сорти мають неоднакову енергію кущення. Згідно з отриманими даними, коефіцієнт продуктивного кущення сучасних сортів перебуває у зворотній залежності від норм висіву. Так, для середньораннього сорту Ауреліус коефіцієнт кущення був 1,82 за раннього посіву з нормою 3,5 млн схожих насінин/га. При збільшенні норми висіву до 4,5 млн схожих насінин/га відбулося зменшення коефіцієнту кущення до 1,62. За більш пізніх посівів для даного сорту спостерігалася така ж закономірність. Найменшим даний показник, а саме, 1,4, був при більш загущених посівах (5,5 млн схожих насінин/га).

Таблиця 1

Фенологічні спостереження досліджуваних сортів пшениці озимої, 2022–2023 рр.

Назва сорту	Варіант, млн/га	Дата посіву	Повні сходи	Припинення осінньої вегетації	Початок відновлення весняної вегетації	Початок кущення	Початок виходу в трубку	Початок колосіння	Воскова (господарська) стиглість	Дата збирання	Веgetаційний період, днів
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ауреліус	3,5	10.10.22 р.	29.10.22 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	08.11.22 р.	25.04.23 р.	27.05.23 р.	22.07.23 р.	01.08.23 р.	266
	4,5	10.10.22 р.	29.10.22 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	08.11.22 р.	25.04.23 р.	27.05.23 р.	22.07.23 р.	01.08.23 р.	
	3,5	08.11.22 р.	31.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	20.03.23 р.	08.05.23 р.	05.06.23 р.	07.08.23 р.	12.08.23 р.	188
	4,5	08.11.22 р.	31.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	20.03.23 р.	08.05.23 р.	05.06.23 р.	07.08.23 р.	12.08.23 р.	
	5,5	08.11.22 р.	31.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	20.03.23 р.	08.05.23 р.	05.06.23 р.	07.08.23 р.	12.08.23 р.	
Активус	3,5	10.10.22 р.	26.10.22 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	10.11.23 р.	23.04.23 р.	30.05.23 р.	25.07.23 р.	01.08.23 р.	272
	4,5	10.10.22 р.	26.10.22 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	10.11.23 р.	23.04.23 р.	30.05.23 р.	25.07.23 р.	01.08.23 р.	
	3,5	08.11.22 р.	31.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	20.03.23 р.	08.05.23 р.	03.06.23 р.	05.08.23 р.	12.08.23 р.	186
	4,5	08.11.22 р.	31.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	20.03.23 р.	08.05.23 р.	03.06.23 р.	05.08.23 р.	12.08.23 р.	
	5,5	08.11.22 р.	31.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	20.03.23 р.	08.05.23 р.	03.06.23 р.	05.08.23 р.	12.08.23 р.	

продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Тоннаж	3,5	10.10.22 р.	26.10.22 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	12.11.23 р.	28.04.23 р.	03.06.23 р.	29.07.23 р.	01.08.23 р.	276
	4,5	10.10.22 р.	26.10.22 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	12.11.23 р.	28.04.23 р.	03.06.23 р.	29.07.23 р.	01.08.23 р.	
	3,5	08.11.22 р.	31.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	22.03.23 р.	10.05.23 р.	12.06.23 р.	08.08.23 р.	12.08.23 р.	189
	4,5	08.11.22 р.	31.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	22.03.23 р.	10.05.23 р.	12.06.23 р.	08.08.23 р.	12.08.23 р.	
	5,5	08.11.22 р.	31.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	22.03.23 р.	10.05.23 р.	12.06.23 р.	08.08.23 р.	12.08.23 р.	
Грегор	3,5	10.10.22 р.	28.10.22 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	12.11.23 р.	26.04.23 р.	30.05.23 р.	26.07.23 р.	01.08.23 р.	269
	4,5	10.10.22 р.	28.10.22 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	12.11.23 р.	26.04.23 р.	30.05.23 р.	26.07.23 р.	01.08.23 р.	
	3,5	08.11.22 р.	16.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	18.03.23 р.	06.05.23 р.	03.06.23 р.	04.08.23 р.	12.08.23 р.	200
	4,5	08.11.22 р.	16.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	18.03.23 р.	06.05.23 р.	03.06.23 р.	04.08.23 р.	12.08.23 р.	
	5,5	08.11.22 р.	16.01.23 р.	15.11.22 р.	14.03.23 р.	18.03.23 р.	06.05.23 р.	03.06.23 р.	04.08.23 р.	12.08.23 р.	

Таблиця 2

Результати дослідження впливу різних норм висіву та строків посіву на сортах пшениці озимої,
2022–2023 р.

Сорт	Варіант, млн./га	Дата посіву	Урожайність, т/га	Маса 1000 зерен, г	Натура, г	Вологість, %	Густота стояння, шт/м ² (повні сходи)	Густота стояння, шт/ м ² (перед збиранням)	Коефіцієнт кущення	Оцінка перезимівлі, бал
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Ауреліус</i>	3,5	10.10.22	8,37	41,4	781	15,1	348	633	1,82	9
	4,5	10.10.22	8,82	41,7	786	15,5	447	724	1,62	9
	3,5	8.11.22	7,35	40,0	773	14,7	285	563	1,97	9
	4,5	8.11.22	7,84	41,6	785	15,2	396	646	1,63	9
	5,5	8.11.22	8,32	42,9	789	15,1	512	711	1,40	9
<i>Активус</i>	3,5	10.10.22	7,87	39,7	757	14,5	350	655	1,87	9
	4,5	10.10.22	8,60	39,0	761	14,2	452	718	1,60	9
	3,5	8.11.22	8,82	44,3	760	14,0	326	588	1,80	9
	4,5	8.11.22	8,18	43,0	762	13,7	418	622	1,49	9
	5,5	8.11.22	8,24	43,4	760	14,2	516	685	1,33	9

продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тоннаж	3,5	10.10.22	8,23	40,7	676	13,8	346	657	1,90	9
	4,5	10.10.22	8,98	37,4	672	13,0	451	802	1,78	9
	3,5	8.11.22	7,70	37,7	682	13,6	328	485	1,48	9
	4,5	8.11.22	8,54	40,0	690	13,1	416	575	1,38	9
	5,5	8.11.22	8,32	41,1	700	13,4	502	644	1,28	9
Грегор	3,5	10.10.22	8,44	38,8	760	14,9	348	654	1,88	9
	4,5	10.10.22	9,02	38,5	764	15,4	450	810	1,80	9
	3,5	8.11.22	7,26	41,2	753	14,3	324	486	1,50	9
	4,5	8.11.22	7,17	40,2	760	14,8	430	633	1,47	9
	5,5	8.11.22	6,50	38,6	742	14,4	528	610	1,16	9

Густота стояння рослин перед збиранням врожаю, враховуючи високий рівень перезимівлі рослин, знаходиться у прямій залежності від норми висіву насіння. Так, для дуже раннього сорту Актівус цей показник був 655 шт. м² за норми висіву 3,5 млн схожих насінин/га та збільшився до 718 шт. м² при збільшенні норми висіву до 4,5 млн схожих насінин/га.

Висновки. Поєднання впливу різних норм висіву та строків посіву не однаково вплинули на досліджувані сорти пшениці озимої. Так, для середньораннього сорту Ауреліус та середньопізнього сорту Тоннаж відслідковується пряма залежність між нормою висіву та врожайністю в межах одного строку посіву. Врожайність зерна пшениці озимої сорту Тоннаж за норми висіву 3,5 млн схожих насінин/га була 8,23 т/га (посів 10 жовтня), при збільшенні норми висіву до 4,5 млн схожих насінин/га врожайність була 8,98 т/га. За більш пізніх строків посіву, а саме 8 листопада, спостерігалася така ж закономірність. На варіантах із дуже раннім сортом Актівус та середньопізнім сортом Грегор спостерігали пряму залежність між нормою висіву та врожайністю за більш ранніх строків посіву та обернену за більш пізніх.

Найбільша врожайність зерна для сортів Ауреліус, Тоннаж та Грегор була за норми висіву 4,5 млн схожих насінин/га за проведення посіву 10 жовтня. З усіх досліджуваних варіантів найбільша врожайність дуже раннього сорту Актівус була за норми висіву 3,5 млн схожих насінин/га у більш пізні строки (8,82 т/га).

На варіантах з найбільшою врожайністю для сортів Ауреліус та Актівус, згідно з отриманими даними, була і найбільша маса 1000 зерен.

Найбільший показник маси 1000 зерен сорту Тоннаж, а саме 41,1 г, був на варіанті з нормою висіву 3,5 млн схожих насінин/га у більш пізні строки.

Реалізація потенціалу пшениці озимої залежно від строків посіву і, як наслідок, скорочення вегетаційного періоду досліджуваних сортів за різних норм висіву суттєво відрізнялася по варіантах. Так, для середньораннього сорту Ауреліус врожайність при більш загущених посівах (5,5 млн схожих насінин/га) за пізніх строках висіву була на рівні з врожайністю варіанту зріджених посівів (3,5 млн схожих насінин/га) за більш ранніх строках висіву. Зменшення вегетаційного періоду на 69 діб середньопізнього сорту

Грегор обумовило суттєве зменшення врожайності за всіх досліджуваних норм висіву.

Отже, встановлення строків висіву пшениці озимої необхідно проводити з урахуванням особливостей та пластичності сорту. Для середньораннього сорту Ауреліус, середньопізніх сортів Тоннаж та Грегор більш результативним було проведення посіву 10 жовтня, тоді як на варіантах із дуже раннім сортом Актівус була отримана вища врожайність за проведення посіву у пізні строки (8 листопада) за різних норм висіву.

1. Гаврилюк М. М., Каленич П. Є. Вплив екологічних чинників на врожайність нових сортів пшениці озимої в умовах Південного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 1 (778). С. 25–29. doi.org/10.31073/agrovisnyk201801-04.
2. Польовий В. М., Лукашук Л. Я., Гук Л. І. Ефективність інтенсифікації технології вирощування пшениці озимої в Західному Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 11 (788). С. 35–40. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-05.
3. Poltoretskyi S., Tretiakova S., Mostoviyak I., Yatsenko A., Tereshchenko Y., Poltoretska N., Berezovskyi A. Growth and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the sowing parameters. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10 (2). P. 81–87. doi: 10.15421/2020_68.
4. Andrii Siroshstan, Valerii Kavunets, Oleksandr Derhachov, Serhii Pykalo, Liudmyla Ilchenk. Yield and Sowing Qualities of Winter Bread Wheat Seeds Depending on the Preceding Crops and Sowing Dates in the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2021. Vol. 9(2). P. 76–82. https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20210902.15.
5. J. G. Nuttall, G. J. O'Leary, J. F. Panozzo, C. K. Walker, K. M. Barlow, G. J. Fitzgerald. Models of grain quality in wheat—A review. *Field Crops Research*. 2017. Vol. 202. P. 136–145. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.12.011.
6. Wajid Ali Shah, Zafar Hayat, Ikram Ullah, Shazma Anwar and Babar Iqbal. *Response of different wheat varieties to various seed rates Pure and Applied Biology*. 2016. Vol. 5 (3). P. 529–537. http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2016.50067.
7. Zhang Y., Song Q., Yan J., et al. Mineral element concentrations in grain of Chinese wheat cultivars. *Euphytica*. 2010. Vol. 174. № 3. P. 303–313.
8. McKendry A. L., McVetty P. B. E., Evans L. E. Selection criteria for combining high grain yield and high grain protein concentration in bread wheat. *Crop Sci*. 1995. Vol. 35. P. 1597–1602.

REFERENCES:

1. Havryliuk M. M., Kalenych P. Ye. Vplyv ekolohichnykh chynnykiv na vrozhaunist novykh sortiv pshenytsi ozymoi v umovakh Pivdennoho Lisostepu.

Visnyk ahrarnoi nauky. 2018. № 1 (778). С. 25–29. doi.org/10.31073/agrovisnyk201801-04. **2.** Polovyi V. M., Lukashchuk L. Ya., Huk L. I. Efektyvnist intensyfikatsii tekhnolohii vyroshchuvannya pshenytsi ozymoi v Zakhidnomu Lisostepu. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2018. № 11 (788). С. 35–40. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-05>. **3.** Poltoretskyi S., Tretiakova S., Mostoviyak I., Yatsenko A., Tereshchenko Y., Poltoretska N., Berezovskyi A. Growth and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the sowing parameters. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10 (2). P. 81–87. doi: 10.15421/2020_68. **4.** Andrii Siroshantan, Valerii Kavunets, Oleksandr Derhachov, Serhii Pykalo, Liudmyla Ilchenk. Yield and Sowing Qualities of Winter Bread Wheat Seeds Depending on the Preceding Crops and Sowing Dates in the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2021. Vol. 9(2). P. 76–82. <https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20210902.15>. **5.** J. G. Nuttall, G. J. O'Leary, J. F. Panozzo, C. K. Walker, K. M. Barlow, G. J. Fitzgerald. Models of grain quality in wheat—A review. *Field Crops Research*. 2017. Vol. 202. P. 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.12.011>. **6.** Wajid Ali Shah, Zafar Hayat, Ikram Ullah, Shazma Anwar and Babar Iqbal. *Response of different wheat varieties to various seed rates Pure and Applied Biology*. 2016. Vol. 5 (3). P. 529–537. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2016.50067>. **7.** Zhang Y., Song Q., Yan J., et al. Mineral element concentrations in grain of Chinese wheat cultivars. *Euphytica*. 2010. Vol. 174. № 3. P. 303–313. **8.** McKendry A. L., McVetty P. B. E., Evans L. E. Selection criteria for combining high grain yield and high grain protein concentration in bread wheat. *Crop Sci*. 1995. Vol. 35. P. 1597–1602.

Tkachuk S. O., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Rivne Branch of the Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, Rivne), **Oliinyk O. O., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Kucherova A. V., Senior Lecturer** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ESTIMATION OF THE SEEDING RATE AND SOWING TIME INFLUENCE ON THE REALISATION OF THE WINTER WHEAT POTENTIAL

In the technological regulations for growing winter wheat, a correctly determined seed sowing rate contributes to the creation of normal conditions for plant growth and development, which significantly affects the crop yield level and its components. Thus, excessively thickened or thinned crops reduce the yield.

The aim of the research was to evaluate and compare the effectiveness of different sowing rates and sowing dates on the productivity of winter wheat varieties in the conditions of the Western Forest-Steppe. Field experiments were carried out on the Luvic Greyzemic Phaeozems (WRB. 2015) during 2022–2023 at the stationary field experimental plots of the Rivne branch Ukrainian Institute of Plant Variety Examination, Rivne region (Ukraine). Laboratory analyses were performed using standard techniques.

Sowing dates for winter wheat – first sowing on 10.10.2022, second sowing on 08.11.2022. The realisation of winter wheat potential depending on the sowing dates and, as a result, the shortening of the growing season of the studied varieties at different sowing rates differed significantly depending on the level of maturity of the variety. The level of overwintering of all studied winter wheat varieties, regardless of sowing dates, was estimated at 9 points. According to the data obtained, the coefficient of productive tillering of the studied varieties is inversely related to the seeding rate. The density of crops before harvesting, given the high level of overwintering of plants, is directly dependent on the seeding rate. The combination of the influence of different sowing rates and sowing dates did not equally affect the studied winter wheat varieties.

According to the results of our research, it was found that for the medium-early variety Aurelius, medium-late varieties Tonnage and Gregor, sowing on October, 10 was more effective, while for the variants with the very early variety Aktivus, a higher yield was obtained when sowing was at later dates (November, 8) with different sowing rates.

***Keywords:* winter wheat; sowing rates; sowing dates; yield; weight of 1000 grains.**

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор, Кононцев С. В., д.т.н., професор, Гроховська Ю. Р., д.с.-г.н., професор, Прищепа А. М., д.с.-г.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, m.o.klimenko@nuwm.edu.ua, s.v.konontsev@nuwm.edu.ua, y.r.grokhovska@nuwm.edu.ua, a.m.pryshchepa@nuwm.edu.ua)

ПОТЕНЦІАЛ ДЕФІЦИТУ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН ЗА УМОВ РОЗВИТКУ НИТЧАСТИХ ВОДОРОСТЕЙ В АКВАПОНІЦІ

У статті розглядається проблема розвитку нитчастих водоростей у системах аквапоніки, їхній вплив на хімічний склад води та можливі заходи боротьби. Аквапоніка, що поєднує аквакультуру та гідропоніку, є перспективною технологією для відновлення сільськогосподарського виробництва в Україні в умовах обмежених земельних ресурсів. Основною метою дослідження є встановлення умов розвитку нитчастих водоростей, зокрема спірогіри, та оцінка їхнього негативного впливу на вирощування листового салату та кларієвого сома.

Методологія дослідження включала контроль за елементами хімічного складу води, аналіз лабораторних даних та системний аналіз факторів, що сприяють появі водоростей. Було встановлено, що основними причинами надмірного розповсюдження нитчастих водоростей є дисбаланс макроелементів (азоту, фосфору, калію), підвищений рівень аміаку у воді, а також неконтрольоване освітлення та температура. У темній фазі фотосинтезу нитчасті водорості споживають кисень, що може спричинити гіпоксію у риб. Крім того, біообростання елементів аквапонічних систем водоростями зменшує ефективність роботи фільтрів, обмежує потік води та створює додаткові технічні складнощі.

Результати досліджень показали, що високі концентрації нітратів і фосфатів сприяють зростанню нитчастих водоростей, які активно асимілюють ці елементи, створюючи дефіцит для рослин. Зокрема, за умов інтенсивного розвитку водоростей у системі може спостерігатися вилучення до 50% нітратного азоту та 70% фосфору, що негативно впливає на врожайність салату та інших культур.

Запропоновано комплекс заходів щодо боротьби з нитчастими водоростями, включаючи контроль освітлення, регулювання швидкості циркуляції води, підтримку оптимального балансу поживних речовин, моніторинг температури та рН води. Отримані результати сприятимуть підвищенню ефективності аквапонічних систем та забезпеченню сталого виробництва продукції в умовах контрольованого середовища.

Ключові слова: аквапоніка; нитчасті водорості; салат листовий; елементи живлення; сом кларієвий; поживні речовини.

Постановка проблеми. Аквапоніка – це високотехнологічний ведення сільськогосподарського виробництва, що поєднує аквакультуру (вирощування риб) та гідропоніку (вирощування рослин). Це революційне майбутнє розвитку аквапонічних господарств, які гібридно поєднують отримання харчових продуктів в одній системі [1].

Це актуально для нашої країни у після воєнний час, коли значна частина сільськогосподарських угідь виведення з можливого використання.

Аквапонічні господарства можливо розвивати в усіх райцентрах України при умовах енергетичного та централізованого водного забезпечення.

Мета дослідження: встановити умови розвитку нитчастих водоростей та їхній негативний вплив на хімічний склад води у якій вирощується листовий салат та сом кларієвий, щоб забезпечити сталий розвиток аквапонного господарства.

Для цього автори визначили причини появи нитчастих водоростей, їхній вплив на зміни хімічного складу середовища вирощування продукції. Важливо знати величини виносу елементів живлення нитчастими водоростями в системі аквапоніки залежно від швидкості циркуляції водного середовища.

Для цього автори визначили методи боротьби із нитчастими водоростями та встановили потенціал живлення зелених культур.

Об'єкт дослідження. Процеси, що протікають у аквапонічній системі салату листового та сома кларієвого.

Предмет дослідження. Показники лабораторних досліджень аквапонічної системи.

Методи дослідження. При проведенні аквапонічних досліджень використовувались методи контролю за елементами складників процесу взаємозв'язку, методи аналізу отриманих лабораторних даних, порівнянь та системного аналізу.

Результати досліджень. За сприятливих промислових умов розширення виробництва аквапонічної продукції виникають проблеми з появою синьо-зелених водоростей, відомих під загальною назвою «нитчатки» [7].

Це одні з найдавніших організмів, що населяють нашу планету. Від них виникли наземні рослини. Збагативши атмосферу киснем, вони зумовили існування різноманітного світу тварин і сприяли розвитку аеробних бактерій. Завдяки їхній діяльності в атмосфері з'явився Землю від радіаційного випромінювання. Органічні речовини, які створюють водорості в процесі фотосинтезу, стають їжею для бактерій і тварин, зокрема риб.

Однією з найпоширеніших зелених нитчастих водоростей є спірогіра, що заводиться у прісноводних басейнах [8]. Її довгі нитки утворюють сплетення (баговиння) яскраво-зеленого кольору до субстрату вони не прикріплюються і вільно плавають у воді.

Нитки спірогіри завдовжки від кількох міліметрів до 8–10 см не галузяться і складаються з одного ряду однакових видовжених циліндричних клітин. Кожна клітина має оболонку, яка зовні вкрита слизовим чохлам. Внутрішній шар оболонки складається з целюлози, зовнішній – з пектинових речовин.

Спірогіра розмножується вегетативним та статевим шляхами.

Найчастіше зелені нитчасті водорості вражають саме установки замкнутого водоспоживання, де порушений режим внесення мікро- та макроелементів. Поява нитчатки – сигнал до перегляду внесених доз. Внести водорості в гідроустановку можна з новими рослинами і, якщо умови для їхнього розвитку комфортні, тоді отримаємо водоростевий спалах.

Виникнення нитчатки можливе при порушенні балансу макроелементів, особливо це стосується азоту, калію і фосфору. У разі їх нестачі зупиняється ріст рослин, що призводить і до загибелі. Особливо важливо підтримувати оптимальне співвідношення азоту і фосфору, їх співвідношення має складати 12:1 [2]. Надлишок, так само як і брак макроелементів чи їх неправильна пропорція – прямий шлях до появи водоростей. Поява нитчатки також можлива

при підвищенні рівня аміаку в УЗВ. Таке явище може спостерігатись у результаті неправильного запуску УЗВ, регулярного перегодовування риб, перенаселення, а також через проблеми у роботі обладнання. Але аміак не тільки може спровокувати водоростевий спалах, він вкрай токсичний для риб. Вчасно дізнатись про надлишок аміаку дозволяють регулярні тести води [9].

Під час світлової фази фотосинтезу нитчасті водорості інтенсивно продукують молекулярний кисень (O_2), що призводить до підвищення концентрації розчиненого кисню у воді. Однак у темновій фазі, коли фотосинтез припиняється, водорості та інші аеробні організми споживають O_2 для дихання, що може спричинити зниження рівня DO. Такі добові коливання концентрації розчиненого кисню можуть створювати стресові умови для гідробіонтів, зокрема риб, і в екстремальних випадках призводити до гіпоксії [6].

Надмірний розвиток нитчастих водоростей може призвести до біообростання на поверхнях аквапонічних систем, включаючи стінки резервуарів, трубопроводи та фільтрувальні елементи. Це біообростання зменшує ефективний діаметр труб, обмежує потік води та підвищує гідравлічний опір системи. Крім того, накопичення біомаси водоростей на фільтрах знижує їхню ефективність та вимагає частішого обслуговування.

Нитчасті водорості активно асимілюють розчинені у воді макроелементи, зокрема нітрати (NO_3^-) та фосфати (PO_4^{3-}), які є критично важливими для росту культивованих рослин в аквапонічних системах. Надмірне споживання цих елементів водоростями може призвести до їх дефіциту для рослин, що проявляється у вигляді уповільнення росту, хлорозу листя та зниження врожайності [11].

Процеси фотосинтезу та дихання водоростей впливають на концентрацію розчиненого вуглекислого газу (CO_2) у воді. Під час фотосинтезу водорості споживають CO_2 , що може призводити до підвищення рН води (алкалізація). У темновій фазі, коли дихання переважає, CO_2 накопичується, що може знижувати рН (ацидифікація). Такі добові коливання рН створюють нестабільні умови для гідробіонтів та впливають на їхній метаболізм.

Деякі види нитчастих водоростей здатні продукувати вторинні метаболіти, такі як фенольні сполуки або алкалоїди, які можуть мати алелопатичний вплив на інші водні організми. Ці речовини можуть

інгібувати ріст інших водоростей, мікроорганізмів або навіть вищих рослин, що призводить до змін у структурі біоценозу аквапонічної системи [10].

Швидкість циркуляції води визначає час контакту води з водоростями, що впливає на ефективність їхнього поглинання поживних речовин. Як зазначають у статті Goddek [2], збільшення швидкості циркуляції води знижує ефективність поглинання поживних елементів водоростями. Це зумовлено тим, що при більш швидкому потоці води час контакту з водоростями скорочується. Зокрема, в аквапонічних системах з швидкістю циркуляції 1–2 м/с ефективність поглинання нітратів може зменшуватися на 20–30%.

Інтенсивність і тривалість освітлення впливають на фотосинтетичну активність водоростей. Надмірне освітлення може стимулювати ріст водоростей, збільшуючи їх здатність до поглинання поживних речовин. Однак, недостатнє освітлення може обмежити їхній ріст і, відповідно, здатність до вилучення елементів живлення. Також температура води впливає на метаболічні процеси водоростей. Оптимальна температура сприяє їхньому росту та підвищеній здатності до поглинання поживних речовин. Занадто висока або низька температура може знижувати ефективність цих процесів. При оптимальних умовах (температура води 22–24° С й інтенсивність освітлення 100–150 мкмоль м²·с) водорості можуть поглинати значні обсяги елементів живлення, зокрема нітратів і фосфатів. Як вказано в дослідженні Blidariu та Grozea [4], при цих умовах водорості здатні асимілювати до 5 мг/дм³ нітратів і 2 мг/дм³ фосфатів на день.

Високі концентрації нітратів і фосфатів у воді можуть стимулювати ріст водоростей, збільшуючи їх здатність до вилучення цих елементів. Загалом, поглинання водоростями значних обсягів нітратів і фосфатів може призвести до дефіциту цих елементів для рослин, особливо в аквапонічних системах з тривалістю вегетації 30 діб. Наприклад, якщо водорості поглинають 2–3 мг/л нітратів на день, то для аквапонічної системи з об'ємом води 1000 л це може становити до 3 г/день. Якщо цей процес продовжується протягом 30 діб, водорості можуть забрати до 90 г нітратів, що може суттєво зменшити доступність цих елементів для рослин, особливо в умовах обмеженого постачання. Подібним чином, водорості можуть забирати

до 60 г фосфатів за 30 діб, що може значно вплинути на доступність цього елемента для рослин [3].

Дослідження показують, що нитчасті водорості можуть вилучати значні кількості азоту та фосфору з води (рисунок). Зокрема, вони здатні видаляти до 12–18 г амонійного азоту (NH_4^+) на квадратний метр за добу за умови оптимальних параметрів освітлення та біомаси у фітореакторі. Це свідчить про їх високу ефективність у зниженні концентрації цих елементів у воді [2].

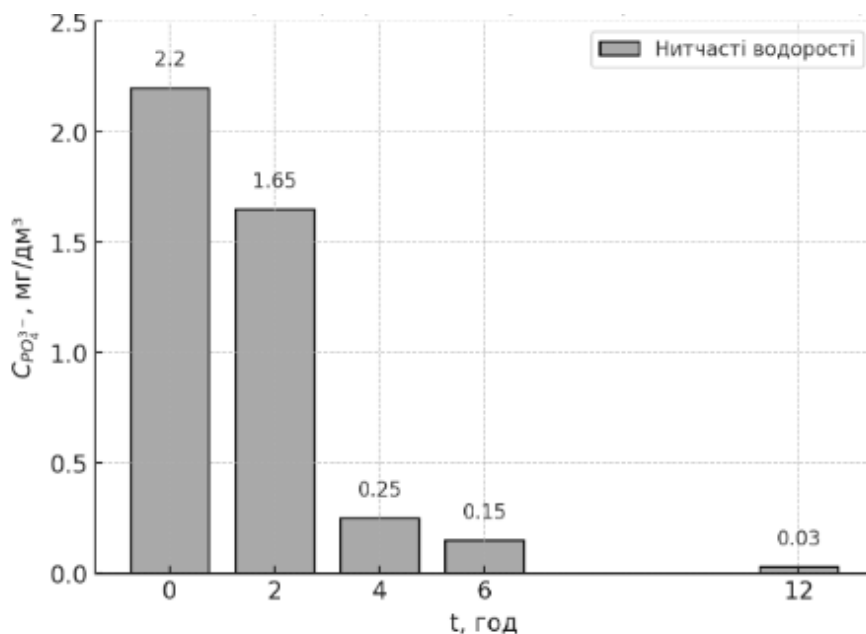


Рисунок. Залежність концентрації фосфатів від часу контакту з нитчастими водоростями

Графік відображає динаміку зниження концентрації фосфатів ($\text{C}, \text{PO}_4^{3-}$, мг/дм³) у воді під впливом нитчастих водоростей протягом 12 годин [14]. Початкова концентрація (2,2 мг/дм³) знижується на 25% вже через 2 години (1,65 мг/дм³), що вказує на активну асиміляцію фосфатів. На 4-й годині їх вміст падає до 0,25 мг/дм³, а через 6 годин – до 0,15 мг/дм³. До 12-ї години концентрація стабілізується на рівні 0,03 мг/дм³, що свідчить про майже повне поглинання фосфатів.

Такий процес обумовлений високою біологічною активністю нитчастих водоростей, які використовують фосфор для синтезу

нуклеїнових кислот, АТФ та фосфоліпідів, необхідних для росту та фотосинтезу. Швидке зниження концентрації фосфатів може призвести до лімітації росту водоростей, що важливо враховувати в умовах замкнутих аквакультурних систем.

Зменшення концентрації доступних форм азоту та фосфору внаслідок активної асиміляції нитчастими водоростями може призвести до дефіциту цих елементів для зеленних культур, таких як салат або шпинат, які мають короткий вегетаційний період (близько 30 діб). Недостатнє забезпечення азотом може спричинити уповільнення росту, хлороз листя та зниження врожайності. Дефіцит фосфору, у свою чергу, може призвести до слабкого розвитку кореневої системи та затримки у дозріванні рослин.

Також, рівень рН впливає на доступність поживних речовин для водоростей. Оптимальний рН сприяє ефективному поглинанню елементів живлення, тоді як відхилення від оптимального діапазону може обмежити цей процес.

Конкуренція з іншими мікроорганізмами та рослинами може впливати на здатність водоростей до поглинання поживних речовин. Присутність інших організмів може зменшити доступність ресурсів для водоростей, обмежуючи їхній ріст і здатність до вилучення елементів живлення.

Нитчасті водорості, що розвиваються в аквапонічних системах, здатні поглинати значні кількості азоту та фосфору з води. Це може суттєво зменшити доступність цих елементів для рослин. Листовий салат і шпинат мають високі потреби в азоті та фосфорі для досягнення оптимальних результатів росту. У випадку салату, оптимальні рівні нітратного азоту повинні знаходитися в межах 150–200 мг/дм³. Для шпинату цей рівень варіюється в межах 150–250 мг/ дм³, що забезпечує здоровий ріст і продуктивність рослин. Що стосується фосфору, салат вимагає концентрації від 30 до 50 мг/ дм³, а шпинат – від 40 до 60 мг/ дм³. Ці елементи сприяють належному розвитку кореневої системи, наростанню листя та загальному метаболізму рослин [5].

За даними досліджень, нитчасті водорості можуть поглинати до 50% нітратного азоту і до 70% фосфору, що в свою чергу впливає на кількість доступних елементів для рослин. Наприклад, в аквапонічних системах з об'ємом води 1000 л, водорості можуть забирати до 100 г нітратного азоту на добу. Це є суттєвим

показником, оскільки потреби салату у нітратах складають 150 г на добу, що створює дефіцит у 50 г на добу. Якщо цей процес триває кілька днів чи тижнів, це може призвести до значного зниження доступних поживних речовин.

Для фосфору ситуація аналогічна. Нитчасті водорості здатні поглинати до 35 мг/дм³ фосфору на добу, що при об'ємі води в 1000 л становить до 35 г фосфору. За умови, що шпинат потребує близько 40–60 мг/дм³ цього елемента, забір водоростями до 35 г на день може стати суттєвим обмеженням для рослин.

Для уникнення таких дефіцитів важливо контролювати рівень нитчастих водоростей у системі аквапоніки [2–5]. Це можна досягти за допомогою:

- *регулювання швидкості циркуляції води*: підтримка оптимальної швидкості потоку забезпечує ефективний контакт води з водоростями, сприяючи їхньому росту та поглинанню поживних речовин;
- *регулювання інтенсивності освітлення*: обмеження тривалості та інтенсивності освітлення знижує фотосинтетичну активність водоростей та обмежує їхній ріст;
- *контроль концентрації поживних речовин*: підтримання оптимального балансу макроелементів у воді, зокрема нітратів та фосфатів, запобігає надмірному розвитку водоростей;
- *моніторинг температури води*: підтримка оптимальної температури сприяє ефективному метаболізму водоростей;
- *підтримка оптимального рН*: регулювання рівня рН забезпечує доступність поживних речовин для водоростей;
- *управління біоценозом*: контроль за наявністю інших організмів допомагає зменшити конкуренцію за ресурси, забезпечуючи ефективне вилучення поживних речовин водоростями;
- *додаткове внесення добрив*: у разі виявлення дефіциту поживних речовин, доцільно розглянути можливість додаткового внесення спеціалізованих добрив для забезпечення потреб рослин.

Висновки. На основі проведених досліджень встановлено, що розвиток нитчастих водоростей у системах аквапоніки є одним із ключових чинників, що впливає на хімічний склад водного середовища та ефективність вирощування як гідробіонтів, так і рослин.

1. Надмірний розвиток нитчастих водоростей у системах аквапоніки спричиняє дефіцит макроелементів, зокрема вилучення до 50% нітратного азоту та 70% фосфору, що знижує врожайність листового салату та продуктивність кларієвого сома.
2. Основними причинами інтенсивного росту водоростей є дисбаланс макроелементів, зокрема неправильне співвідношення азоту і фосфору (норма 12:1), підвищений рівень аміаку (що може досягати токсичних концентрацій) та надмірне освітлення.
3. Водорості створюють технічні проблеми, зменшуючи ефективний діаметр труб, що обмежує потік води, а також призводять до добових коливань кисню, що може спричинити гіпоксію риб у темній фазі фотосинтезу.
4. Для контролю розвитку водоростей необхідно регулювати швидкість циркуляції води (оптимальна – 1–2 м/с), підтримувати збалансовані рівні нітратів (150–200 мг/ дм³) і фосфатів (30–50 мг/ дм³), а також обмежувати інтенсивність освітлення до 100–150 мкмоль м²·с.

Отримані результати свідчать про необхідність комплексного підходу до управління аквапонічними системами з урахуванням балансу макроелементів, освітлення та циркуляції води. Впровадження запропонованих заходів сприятиме підвищенню ефективності виробництва та зниженню ризиків, пов'язаних із розвитком небажаної водоростевої біомаси.

1. Kumar R., & Goh K. Algae in Aquaponics: A Boon or Bane. *Aquaculture Reports*, 2019. P. 15. **2.** Goddek S., Delaide B., Mankasingh U., Ragnarsdottir K. V., Jijakli M. H., & Thorarinsdottir R. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. *Sustainability*. 2015. Vol. 7(4). P. 4199–4224. **3.** Schmutz Z., Loeu F., Liebisch F., Graber A., & Mathis A. Nutrient Fluxes in Aquaponics Systems and the Role of Algal Blooms. *Water*. 2020. Vol. 12(3). P. 765. **4.** Blidariu F., & Grozea A. Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Using Aquaponics – Review. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*. 2011. Vol. 44(2). P. 1–8. **5.** Tyson R. V., Simonne E. H., White J. M., & Lamb E. M. Reconciling Water Quality Parameters Impacted by Algae in a Recirculating Aquaponic System. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2004. Vol. 35(1). P. 78–84. **6.** Sallenave R. Managing Filamentous Algae in Ponds. New Mexico State University Cooperative Extension Service, Guide W-103. 2014. **7.** Глазер К., Бауманн К.,

Ляйнвебер П., Михайлюк Т., Карстен У. Різноманітність водоростей у біологічних ґрунтових кірках у лісах під різною інтенсивністю управління та деякі наслідки для циклу фосфору. *Біогеонауки*. 2018. Т. 15. С. 4181–4192. **8.** Михайлюк Т. І., Демченко Е. М., Глазер К., Карстен У. Нові та рідкісні для України види водоростей з біологічних ґрунтових кірок. *Український ботанічний журнал*. 2019. Т. 76. № 2. С. 123–135. **9.** Кононцев С. В. Багатостадійне біологічне очищення оборотної води індустриальних рибницьких господарств : дис. д-ра техн. наук. : 05.17.21. 2019. С. 216–220. **10.** Straus D. L., Tucker C. S. 1993. Acute Toxicity of Copper Sulfate and Chelated Copper to Channel Catfish. *Journal of the World Aquaculture Society*. Vol. 24. P. 390–395. **11.** Cole J. T., Baird J. H., Basta N. T., Huhnke R. L., Storm D. E., Johnson G. V., Payton M. E., Smolen M. D., Martin D. L., Cole J. C. Influence of Buffers on Pesticide and Nutrient Runoff from Bermudagrass Turf. *Journal of Environmental Quality*. 1997. Vol. 26. P. 1589–1598. **12.** Гриневич Н. Є., Семанюк Н. В., Світельський М. М., Трофимчук А. М., Хом'як О. А., Присяжнюк Н. М. Санітарно-мікробіологічні показники води рециркуляційної аквасистеми за вирощування *Asipenser ruthenus* L. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2021. Вип. 10. Рр. 51–63. **13.** Гриневич Н. Є., Димань Т. М., Мазур Т. Г., Слюсаренко А. О., Кухтин М. Д., Світельський М. М. Дослідження впливу різних типів наповнювачів реактора біофільтра на процес формування нітрифікуючої мікрофлори в установках замкнутого водопостачання в індустриальних аквафермах. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2020. Т. 5. № 2. С. 112–120. **14.** Гроховська Ю. Р., Кононцев С. В. Асиміляційний потенціал ряскових та перспективи його використання при очищенні оборотної води УЗВ. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. 2018. Вип. 1(81). С. 47–53. **15.** Клименко М. О., Прищепа А. М., Клименко О. М., Стецюк Л. М. Оцінювання стану водних екосистем за показниками біотестування : монографія. Рівне : НУВГП, 2014. 170 с.

REFERENCES:

1. Kumar R., & Goh K. Algae in Aquaponics: A Boon or Bane. *Aquaculture Reports*, 2019. P. 15. **2.** Goddek S., Delaide B., Mankasingh U., Ragnarsdottir K. V., Jijakli M. H., & Thorarinsdottir R. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. *Sustainability*. 2015. Vol. 7(4). P. 4199–4224. **3.** Schmutz Z., Loeu F., Liebisch F., Graber A., & Mathis A. Nutrient Fluxes in Aquaponics Systems and the Role of Algal Blooms. *Water*. 2020. Vol. 12(3). P. 765. **4.** Blidariu F., & Grozea A. Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Using Aquaponics – Review. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*. 2011. Vol. 44(2). P. 1–8. **5.** Tyson R. V., Simonne E. H., White J. M., & Lamb E. M. Reconciling Water Quality Parameters Impacted by Algae in a Recirculating Aquaponic System. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2004. Vol. 35(1). P. 78–84. **6.** Sallenave R. Managing Filamentous Algae in Ponds. New Mexico State University Cooperative Extension Service, Guide W-

103. 2014. **7.** Hlazer K., Baumann K., Liainveber P., Mykhailiuk T., Karsten U. Riznomanitnist vodorostei u biolohichnykh gruntovykh kirkakh u lisakh pid riznoiu intensyvniatu upravlinnia ta deiaki naslidky dlia tsyklu fosforu. *Bioheonauky*. 2018. T. 15. S. 4181–4192. **8.** Mykhailiuk T. I., Demchenko E. M., Hlazer K., Karsten U. Novi ta ridkisini dlia Ukrainy vydy vodorostei z biolohichnykh gruntovykh kirok. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal*. 2019. T. 76. № 2. S. 123–135. **9.** Konontsev S. V. Bahatostadiine biolohichne ochyshchennia oborotnoi vody industrialnykh rybnitskykh gospodarstv : dys. d-ra tekhn. nauk. : 05.17.21. 2019. S. 216–220. **10.** Straus D. L., Tucker C. S. 1993. Acute Toxicity of Copper Sulfate and Chelated Copper to Channel Catfish. *Journal of the World Aquaculture Society*. Vol. 24. P. 390–395. **11.** Cole J. T., Baird J. H., Basta N. T., Huhnke R. L., Storm D. E., Johnson G. V., Payton M. E., Smolen M. D., Martin D. L., Cole J. C. Influence of Buffers on Pesticide and Nutrient Runoff from Bermudagrass Turf. *Journal of Environmental Quality*. 1997. Vol. 26. P. 1589–1598. **12.** Hrynevych N. Ye., Semaniuk N. V., Svitelskyi M. M., Trofymchuk A. M., Khomiak O. A., Prysiashniuk N. M. Sanitarно-микробиологични pokaznyky vody retsyrkuliatyinoi akvasystemy za vyroshchuvannia *Acipenser ruthenus* L. *Vodni bioresursy ta akvakultura*. 2021. Vyp. 10. Pp. 51–63. **13.** Hrynevych N. Ye., Dyman T. M., Mazur T. H., Sliusarenko A. O., Kukhtyn M. D., Svitelskyi M. M. Doslidzhennia vplyvu riznykh typiv napovniuvachiv reaktora biofiltra na protses formuvannia nitryfikuiuchoi mikroflory v ustanovkakh zamknutoho vodopostachannia v industrialnykh akvafermakh. *Vodni bioresursy ta akvakultura*. 2020. T. 5. № 2. S. 112–120. **14.** Hrokhovska Yu. R., Konontsev S. V. Asymiliatsiyni potentsial riaskovykh ta perspektyvy yoho vykorystannia pry ochyshchenni oborotnoi vody UZV. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. 2018. Vyp. 1 (81). S. 47–53. **15.** Klymenko M. O., Pryshchepa A. M., Klymenko O. M., Stetsiuk L. M. Otsiniuvannia stanu vodnykh ekosystem za pokaznykamy biotestuvannia : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2014. 170 s.

Klymenko M. O., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Konontsev S. V., Doctor of Engineering, Professor, Hrokhovska Y. R., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Pryshchepa A. M., Doctor of Agricultural Sciences (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

POTENTIAL OF NUTRIENT DEFICIENCY UNDER THE DEVELOPMENT OF FILAMENTOUS ALGAE IN AQUAPONICS

The article addresses the issue of filamentous algae development in aquaponic systems, their impact on the chemical composition of water, and possible control measures. Aquaponics,

combining aquaculture and hydroponics, is a promising technology for restoring agricultural production in Ukraine under conditions of limited land resources. The main goal of the study is to establish the conditions for the development of filamentous algae, particularly Spirogyra, and assess their negative impact on the cultivation of leafy lettuce and African catfish.

The research methodology included monitoring the chemical elements of water composition, analyzing laboratory data, and performing a systematic analysis of factors that contribute to the appearance of algae. It was established that the main causes of excessive filamentous algae proliferation are the imbalance of macrolelements (nitrogen, phosphorus, potassium), elevated ammonia levels in water, as well as uncontrolled lighting and temperature. During the dark phase of photosynthesis, filamentous algae consume oxygen, which may lead to hypoxia in fish. Furthermore, biofouling of aquaponic system components by algae reduces filter efficiency, restricts water flow, and creates additional technical difficulties.

The research results showed that high concentrations of nitrates and phosphates promote the growth of filamentous algae, which actively assimilate these elements, creating a deficiency for plants. Specifically, under conditions of intensive algae development in the system, the extraction of up to 50% of nitrate nitrogen and 70% of phosphorus may be observed, negatively affecting the yield of lettuce and other crops. A set of measures to combat filamentous algae has been proposed, including lighting control, regulation of water circulation speed, maintaining an optimal balance of nutrients, and monitoring water temperature and pH. The obtained results will help improve the efficiency of aquaponic systems and ensure sustainable production in a controlled environment.

***Keywords:* aquaponics; filamentous algae; leafy lettuce; nutrients; African catfish; nutrients.**

ЗМІСТ

Бедункова О. О., Кузнєцов П. М.	Застосування статистичних методів аналізу варіацій концентрацій важких металів у поверхневих водах 3
Валерко Р. А.	Оцінка стану екологічної безпеки питного водопостачання сільських населених пунктів з використанням ризик-орієнтованого підходу 20
Налобіна О. О., Полтавченко Т. В., Ковальчук Н. С., Голотюк М. В., Пилипака Т. С., Ювчик Н. О.	Оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах 32
Гриб Й. В., Ковальчук С. В., Калько А. Д.	Комплекс відродження агроєкології водних басейнів як осередку життя аборигенної іхтіофауни 45
Грищенко О. М., Куліджанов Е. В., Гунчак М. В., Яценко Ю. М., Грищенко В. О., Вознюк Н. М.	Еколого-токсикологічна оцінка земель сільськогосподарського призначення Миколаївської області, які зазнали підтоплення внаслідок руйнування Каховської ГЕС 54
Гунчак М. В., Грищенко О. М., Маменко П. М., Колодяжний О. Ю., Турчина К. П.	Економічна ефективність застосування біологічних препаратів для захисту яблуні проти борошністої роси 77
Гунчак М. В., Маменко П. М., Колодяжний О. Ю., Ліхо О. А.	Біологічний метод захисту яблуні проти сірої яблуневої попелиці 90

Кедрун О. В., Прищеп А. М.	Молибден та кобальт як чинники формування врожаю сої в умовах зміни клімату в Україні 102
Колесник Т. М., Майборода Х. А.	Вплив рН на врожайність рослин в аквапонічних системах 118
Куліджанов Е. В., Мартиненко В. М.	Технологічні недоліки нормативної бази щодо охорони ґрунтів в Україні 129
Фурманець О. А., Крайна М. А.	Оптимізація системи припосівного удобрення кукурудзи за рахунок використання рідких комплексних добрив 152
Польовий В. М., Яценко Л. А., Голуб С. М., Кутуза Д. М.	Урожайність традиційних культур Полісся під впливом динаміки обмінної кислотності дерново-підзолистого ґрунту у часі за різних доз СаСО ₃ 162
Прищеп А. М., Фізик І. В., Калужний І. Ю.	Оцінка сучасного екологічного стану та використання Березнівського державного дендрологічного парку 180
Романчук Л. Д., Кравчук- Ободзінська Т. В.	Амарант і традиційні культури: біохімічна характеристика та перспективи використання 194
Садигов А. Н.	Значення селекційних сортів у виробництві екологічно чистої продукції з яблук 205
Статник І. І., Науменко Р. М.	Використання альтернативного палива в цементній промисловості на шляху до сталого розвитку 215
Ткачук С. О., Олійник О. О., Кучерова А. В.	Оцінка впливу норм висіву та строків посіву на реалізацію потенціалу пшениці озимої 233

Клименко М. О., Кононцев С. В., Гроховська Ю. Р., Прищеп А. М.	Потенціал дефіциту поживних речовин за умов розвитку нитчастих водоростей в аквапоніці 245
---	--

CONTENT

Biedunkova O. O., Kuznietsov P. M.	Application of Statistical Methods to the Study of Variations in Heavy Metal Concentrations in the Surface Water	3
Valerko R. A.	Assessment of the State of Environmental Safety of Drinking Water Supply in Rural Settlements Using a Risk-Based Approach	20
Nalobina O. O., Poltavchenko T. V., Kovalchuk N. S., Holotiuk M. V., Pylypaka T. S., Yuvchyk N. O.	Optimization of the Microclimate in Livestock Complexes	32
Hryb Y. V., Kovalchuk S. V., Kalko A. D.	Complex of Rehabilitation of Agroecology of Water Basins as a Centre of Life of Aboriginal Ichthyofauna	45
Hryshchenko O. M., Kulidzhanov E. V., Hunchak M. V., Yatsenko Y. M., Hryshchenko V. O., Vozniuk N. M.	Environmental and Toxicological Assessment of Agricultural Lands in the Mykolaiv Region That Were Flooded as a Result of the Kakhovka HPP Destruction	54
Hunchak M. V., Hryshchenko O. M., Mamenko P. M., Kolodiaznyi O. Yu., Turchyna K. P.	Economic Efficiency of the Use of Biological Preparations for Protection of Apple Tree Against Powdery Mildew	77
Hunchak M. V., Mamenko P. M., Kolodiaznyi O. Yu., Likho O. A.	Biological Method of Apple Trees Protection Against Gray Apple Aphid	90

Kedrun O. V., Pryshchepa A. M.	Molybdenum and Cobalt as Factors of Soybean Yield Formation in the Context of Climate Change in Ukraine	102
Kolesnyk T. M., Maiboroda K. A.	Influence of pH on the Yield of Plants in Aquaponic Systems	118
Kulidzhanov E. V., Martynenko V. M.	Technological Deficiencies in the Regulatory Framework for Soil Protection in Ukraine	129
Furmanets O. A., Kraina M. A.	Optimisation of the Corn Pre-Sowing Fertilisation System Through the Use of Liquid Complex Fertilisers	152
Polovyi V. M., Yashchenko L. A., Holub C. M., Kutuza D. M.	Yield of Traditional Crops in the Polissia Region Is Influenced by the Dynamics of Exchange Acidity in Sod-Podzolic Soil Over Time, Depending on Varying Rates of CaCO ₃ Application	162
Pryshchepa A. M., Fizyk I. V., Kaluzhnyi I. Yu.	Assessment of the Current Ecological Condition and Usage of the Berezne State Dendrological Park	180
Romanchuk L. D., Kravchuk- Obodzinska T. V.	Amaranth and Traditional Crops: Biochemical Characteristics and Prospects for Use	194
Sadigov A. N.	Importance of Selection Varieties in the Production of Ecologically Clean Apple Products	205
Statnyk I. I., Naumenko R. M.	Use of Alternative Fuels in the Cement Industry on the Path to Sustainable Development	215

Tkachuk S. O., Oliinyk O. O., Kucherova A. V.	Estimation of the Seeding Rate and Sowing Time Influence on the Realisation of the Winter Wheat Potential	233
Klymenko M. O., Konontsev S. V., Hrokhovska Y. R., Pryshchepa A. M.	Potential of Nutrient Deficiency Under the Development of Filamentous Algae in Aquaponics	245

Наукове видання

ВІСНИК
Національного університету водного
господарства та природокористування

Збірник наукових праць

Випуск 4(108)

Сільськогосподарські науки

Комп'ютерна верстка
Технічний редактор
Літературний редактор

Галина Сімчук
Галина Сімчук
Ольга Якимчук

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 29.11.2024 р. Формат 70×100¹/₁₆.
Ум.-друк. арк. 15,2. Обл.-вид. арк. 16,9.
Тираж 150 прим. Зам. № 5653.

Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.