

ВІСНИК

Національного університету
водного господарства та
природокористування

ISSN 2306-5478

В И П У С К 1(109)

<https://doi.org/10.31713/vs120250>

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), агроґрунтознавства 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)

Прищепа 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)

Бедункова 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 28 березня 2025 р., протокол № 3.
Ідентифікатор медіа: R30-05354

Адреса редколегії: 33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11, НУВГП
© Національний університет водного господарства
та природокористування, 2025
<https://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/agri>

BULLETIN

**NATIONAL UNIVERSITY OF
WATER AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING**

ISSN 2306-5478
VOLUME 1(109)

<https://doi.org/10.31713/vs120250>

**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, 2025

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 March 28, 2025,
Academic Council Meeting Minutes #3.
Media identifier: R30-05354

Scientific Editorial Board Address: 33028, Rivne, vul. Soborna, 11, NUWEE
© National University of Water and Environmental Engineering, 2025
<https://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/agri>

Бондар О. Б., к.с.-г.н., доцент, Погорєлова О. М., к.б.н., доцент, Чернишенко О. Я., к.с.-г.н., доцент (Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, olexandr.bondar91@gmail.com)

ВПЛИВ СПОСОБІВ ЗБЕРІГАННЯ НА ВМІСТ ХЛОРОФІЛІВ ТА КАРОТИНОЇДІВ У ЛИСТКАХ ГОРОДНІХ РОСЛИН

У статті представлено результати дослідження вмісту хлорофілів (a , b , $a+b$) та каротиноїдів у зелених рослинах за різних способів зберігання: у свіжому, замороженому та сушеному станах. Як об'єкти дослідження було обрано найбільш популярні рослини: петрушку городню, селеру, кріп, цибулю, м'яту та руколу. Аналіз проводили спектрофотометричним методом із використанням 80% розчину ацетону для екстрагування пігментів.

Результати дослідження свідчать, що спосіб зберігання суттєво впливає на вміст біологічно активних речовин у рослинах. Зокрема, заморожування в більшості випадків призводить до зниження рівня хлорофілів та каротиноїдів, проте дозволяє частково зберігати їх порівняно з тривалим зберіганням у свіжому вигляді. Сушіння, у свою чергу, забезпечує відносно високе збереження пігментів, особливо в петрушці, де їх вміст майже не змінюється. Це свідчить про те, що висушування є ефективним методом збереження хлорофілів і каротиноїдів у певних видах зелені.

Аналіз показав, що найвищий рівень хлорофілів у свіжому стані зафіксовано у петрушки, що свідчить про її високу харчову цінність та важливість для раціону людини. У замороженому стані селера зберегла найбільшу кількість пігментів, підтверджуючи її стійкість до цього методу зберігання. Каротиноїди у свіжому стані найкраще зберігаються в м'яті та кропі, що може бути важливим фактором при виборі цих рослин для споживання у свіжому вигляді. При заморожуванні найвищий вміст каротиноїдів зберігається у селери та руколи, що робить ці рослини перспективними для тривалого зберігання у морозильних камерах.

Отримані результати мають практичне значення для харчової промисловості та домогосподарств, оскільки допомагають визначити оптимальні методи зберігання зелених рослин для

збереження їхньої харчової цінності та біологічно активних речовин.

Ключові слова: хлорофіли; каротиноїди; овочеві листові рослини; зберігання; заморожування.

Постановка проблеми. Наземна біосфера відіграє важливу роль у процесах поглинання антропогенних викидів CO_2 , завдяки чому зменшується їхній негативний вплив через фотосинтез. Швидкість фотосинтезу залежить від зовнішніх умов середовища та внутрішніх характеристик рослин, зокрема від максимальної швидкості карбоксилування, що визначає їх фотосинтетичну здатність. Відсутність точних методик для оцінки просторових та часових коливань цього процесу ускладнювала глобальні оцінки фотосинтетичної активності рослин [1].

Останні дослідження показали, що рівень хлорофілу в листках (Chl) має тісний зв'язок з фотосинтетичною здатністю рослин, оскільки обидва параметри корелюють з вмістом азоту в листовій масі. Застосування супутникових зображень середньої роздільної здатності дозволило отримати детальну інформацію про просторово та часово змінний вміст хлорофілу в листках. Ці дані інтегрувались у моделі наземної біосфери для кращої параметризації процесу фотосинтезу.

Для оцінки змін фотосинтетичної активності рослин залежно від умов зберігання, були змодельовані зміни вмісту хлорофілу *a*, *b* та каротиноїдів у п'яти популярних видах рослин: петрушці, селері, кропі, руколі та м'яті за різних методів зберігання – свіжому, висушеному та замороженому. Інтеграція даних про варіації в пігментному складі залежно від способу зберігання дозволила більш точно оцінити їх вплив на фотосинтетичну активність рослин.

Найбільше зниження рівня хлорофілів і каротиноїдів спостерігалось у висушених зразках, тоді як замороження виявилось більш ефективним методом збереження пігментів, зокрема хлорофілів [2]. Свіжі зразки рослин продемонстрували максимальні значення вмісту цих біологічно активних речовин.

Отримані результати підкреслюють значення вибору оптимальних методів зберігання для збереження біоактивних компонентів рослин. Інтеграція цих даних у моделі наземної біосфери дозволить більш точно оцінювати вплив різних умов зберігання на фотосинтетичну активність, що є важливим як для аграрної практики, так і для харчової промисловості.

Петрушка городня (*Petroselinum crispum*) є однією з найбільш поширених трав у світі, широко використовується в кулінарії завдяки своїм численним корисним властивостям. Вона є джерелом вітамінів, мінералів та антиоксидантів, що позитивно впливають на серцево-судинну систему, зміцнюють імунітет і сприяють детоксикації організму. Серед її основних складових – вітаміни А, С, К, групи В (В1, В2, В6, В9), а також калій, кальцій, залізо, магній, фосфор. Петрушка також містить клітковину та ефірні олії. Хлорофіл та каротиноїди, що містяться в петрушці, необхідні для людини, оскільки мають протизапальні властивості та сприяють очищенню організму [3].

Кріп запашний (*Anethum graveolens* L.) – це не лише популярна кулінарна приправа, але й рослина, що має цінні лікувальні властивості, багата на вітаміни, мінерали, омега-3 жирні кислоти, оксиданти та хлорофіл. Ці складові сприяють зміцненню імунітету, покращенню травлення та зниженню рівня стресу. Кріп є корисним елементом у раціоні завдяки своїм корисним властивостям, що підтримують здоров'я.

Селера пахуча (*Apium graveolens* L.) поєднує чудовий смак та корисні властивості. Вона має низьку калорійність і містить вітаміни С, К, А, В1, В2, В6, а також калій, кальцій, магній, натрій, антиоксиданти, ефірні олії. Селера відома своїми здатностями підтримувати імунітет, покращувати травлення, очищати організм і навіть сприяти зниженню ваги. Хлорофіл та каротиноїди, що містяться в селері, мають антимікробні властивості, тонізують організм та стимулюють роботу серцево-судинної системи.

Хлорофіл допомагає виводити токсини та шкідливі речовини з організму, очищаючи кров і покращуючи її якість, стимулюючи функцію печінки. Каротиноїди сприяють нормалізації обміну речовин, підвищують опірність до інфекцій та беруть участь в окисно-відновних процесах, регулюючи споживання кисню тканинами організму [4]. Вони також стимулюють вироблення імунних клітин, посилюючи захисні функції організму.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забарвлення рослин визначається присутністю хлорофілів і каротиноїдів, які є ліпоїдами, що розчиняються в жирах та органічних розчинниках, а також фенольними сполуками, які водорозчинні [5]. Хлорофіл і каротиноїди є основними пігментами, які беруть участь у фотосинтетичних процесах та відіграють ключову роль у життєдіяльності рослин. Їхній

вміст є важливим показником фізіологічного стану рослин і їх здатності адаптуватися до різноманітних екологічних умов. Ці пігменти поглинають світло в синьо-фіолетовій та червоній частинах спектра, що сприяє перетворенню світлової енергії на хімічну. Рівень хлорофілу змінюється залежно від виду рослини, етапу її розвитку, умов вирощування та стресових факторів, таких як посуха, засолення ґрунту або дефіцит поживних елементів.

Хлорофіл також відомий своїми антимікробними властивостями, що дозволяє його застосування в медицині для загоювання ран. Крім того, він підтримує здоров'я серцево-судинної системи та має загальний тонізуючий ефект на організм людини [6].

Вміст хлорофілу у рослинах варіюється від 0,008 до 0,8% на сиру масу. Згідно з дослідженнями, у листових овочах цей показник може досягати 15 мг%. Наприклад, вміст хлорофілу в листі салату латук коливається між 3,4–4,5%, в зеленому солодкому перці він становить від 3,3 до 4,9 мг%, а в зеленому горошку варіюється від 17,85 до 23,11 мг% [7].

Оптимізація методів комплексної переробки рослинної сировини для отримання зеленого пігменту відкриває нові можливості для його широкого застосування не лише у фармацевтичній, але й у харчовій промисловості. Одним із важливих аспектів є забезпечення стабільності зеленого кольору під час зберігання та переробки рослин, що передбачає запобігання деградації хлорофілу [8].

Трансформацію хлорофілу можна зменшити за допомогою спеціальних методів обробки, таких як оптимізація температурних режимів, використання стабілізаторів та антиокислювачів. Зокрема, було встановлено, що низькі температури позитивно впливають на збереження хлорофілу в листовій селері, при зберіганні при -28°C протягом 9 місяців вміст хлорофілу не зменшився. Крім того, коливання температури при зберіганні також має значний вплив на стабільність цього пігменту [9].

Каротиноїди, як і хлорофіли, є важливими для фотосинтезу, вони входять до складу світлозбираючих комплексів та захищають молекули хлорофілу від фотоокислення. Ці пігменти також підвищують стійкість рослин до негативних екологічних факторів [10; 11].

Таким чином, дослідження методів зберігання листових овочевих культур при різних температурних режимах для мінімізації

вtrat хлорофілу та каротиноїдів залишається актуальним завданням, що має значення для підтримки їхньої харчової та біологічної цінності.

Метою дослідження є дослідити процес екстракції біологічно активних речовин з петрушки городньої, кропу, селери, руколи та м'яти з метою вибору оптимальної системи екстрагентів для ефективного вилучення хлорофілу та каротиноїдів, а також визначити їх потенціал для використання як натурального харчового барвника.

Матеріали та методика. Для дослідження було обрано зразки зелених рослин, які широко використовуються в харчуванні: петрушка городня, селера, кріп, цибуля, м'ята та рукола. Усі рослини аналізували у трьох станах: свіжий стан – зразки відбирали одразу після збору, заморожений стан – рослини заморожували та зберігали при температурі -18°C протягом 3 місяців. Сировина була вирощена та заготовлена на території Тернопільського району Тернопільської області, Україна.

Для визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів використовували спектрофотометр ULAB 102UV. Дослідження проводили за такою схемою: точну наважку 0,1 г подрібнювали та розтирали в ступці з невеликою кількістю кальцію карбонату і кварцового піску, додавали 2 мл 96% етанолу та розтирали протягом 3 хв. Отриману суміш фільтрували, після чого збирали у колбу Бунзена до повного знебарвлення. Витяжку з пігментами переносили в мірну колбу та доводили до об'єму 25 мл 96% етанолу.

Концентрацію хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів визначали спектрофотометрично, вимірюючи оптичну густину при довжині хвилі, яка відповідає максимумам спектра поглинання для кожного з пігментів. Для визначення концентрації хлорофілу *a* використовували довжину хвилі $\lambda=665$ нм, для хлорофілу *b* – $\lambda=649$ нм, а для каротиноїдів дослідження проводили при довжині хвилі 441 нм. Для контролю використовували 96 % етанол.

Концентрацію хлорофілів обчислювали за такими формулами:

$$С_{хл.а} = 13,7 \cdot A_{665} - 5,76 \cdot A_{649}; \quad (1)$$

$$С_{хл.б} = 25,80 \cdot A_{649} - 7,60 \cdot A_{665}, \quad (2)$$

де A_{665} – оптична густина розчину при 665 нм; A_{649} – оптична густина розчину при 649 нм.

Для визначення концентрації каротиноїдів застосовували таку формулу:

$$Скар. = 4,695 \cdot A_{441} - 0,268 (Ca + Cb), \quad (3)$$

де A_{441} – оптична густина розчину при 441 нм; $(Ca + Cb)$ – сума вмісту хлорофілу a та b , мг/дм³.

Знаючи концентрацію пігментів, кількісний вміст хлорофілу та каротиноїдів визначали за такою формулою

$$X = V \times C / m \times 1000, \quad (4)$$

де V – об'єм витяжки, мл; C – концентрація хлорофілу у витяжці, мг/дм³; m – маса наважки, г. Ця методика дає можливість з високою точністю оцінити вплив різних способів зберігання рослинної сировини на вміст хлорофілів та каротиноїдів, що є основою для збереження харчової цінності рослин. Дослідження вмісту хлорофілів та каротиноїдів у городніх рослинах за різних умов зберігання допомагає визначити оптимальні методи для їх збереження.

Для кожного зразка проводили три повторні вимірювання. Отримані дані обробляли за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel 2021, де розраховували середнє значення, стандартне відхилення та коефіцієнти варіації для оцінки точності вимірювань.

Результати дослідження. Під час дослідження було визначено вміст хлорофілів (a , b , $a+b$) та каротиноїдів у різних видах зелених рослин за трьох умов: свіжого, замороженого та сушеного стану. Результати свідчать про суттєві зміни у вмісті пігментів залежно від способу зберігання, що дозволяє оцінити ефективність кожного методу з погляду збереження біологічно активних сполук (таблиця).

Свіжа петрушка містить найвищі рівні хлорофілів серед усіх досліджених зразків. Вміст хлорофілу a становить 5,12 мг/г, хлорофілу b – 1,70 мг/г, а загальна концентрація хлорофілів ($a+b$) досягає 6,82 мг/г. Каротиноїди у свіжій петрушці мають вміст 1,65 мг/г, що забезпечує високу біологічну активність рослини. Замороження петрушки призводить до значного зниження рівнів хлорофілів: хлорофіл a зменшується до 2,59 мг/г, хлорофіл b – до 0,86 мг/г, а загальна кількість хлорофілів ($a+b$) падає до 3,45 мг/г. Вміст каротиноїдів також значно знижується, становлячи лише 0,79 мг/г.

Свіжа селера містить 3,38 мг/г хлорофілу a , 1,22 мг/г хлорофілу

b , що в цілому дає 4,60 мг/г хлорофілів. Вміст каротиноїдів у свіжій селері складає 0,71 мг/г. Після заморожування селера показує підвищення рівня хлорофілів ($a+b$) до 5,97 мг/г, при цьому хлорофіл a становить 4,45 мг/г, а хлорофіл b – 1,52 мг/г. Каротиноїди також збільшуються до 1,17 мг/г, що свідчить про стабільність пігментів при цьому способі зберігання.

Таблица

Вміст хлорофілу та каротиноїдів у городніх рослинах
(мг/100 г) $n=10$

Назва рослини	Хлорофіл a	Хлорофіл b	Хлорофіл $a+b$	Каротиноїди
Петрушка городня свіжа	5,12	1,70	6,82	1,65
Петрушка городня морожена	2,59	0,86	3,45	0,79
Селера свіжа	3,38	1,22	4,60	0,71
Селера морожена	4,45	1,52	5,97	1,17
Кріп свіжий	3,80	1,11	4,91	1,12
Кріп морожений	2,05	0,90	2,95	0,77
Цибуля свіжа	1,63	0,85	2,48	0,60
Цибуля морожена	1,23	0,53	1,76	0,43
М'ята свіжа	3,36	1,00	4,36	1,25
М'ята морожена	3,07	1,25	4,33	0,89
Рукола свіжа	3,17	0,96	4,03	0,87
Рукола морожена	2,05	0,86	2,91	0,80

Свіжий кріп містить 3,80 мг/г хлорофілу a і 1,11 мг/г хлорофілу b , що дає в загальному 4,91 мг/г хлорофілів ($a+b$). Каротиноїди у свіжому кропі становлять 1,12 мг/г. Після заморожування вміст хлорофілів зменшується: хлорофіл a – до 2,05 мг/г, хлорофіл b – до 0,90 мг/г, а загальний вміст хлорофілів ($a+b$) знижується до 2,95 мг/г. Вміст каротиноїдів також знижується до 0,77 мг/г.

Свіжа цибуля характеризується низьким вмістом хлорофілів ($a+b$), який становить 2,48 мг/г (хлорофіл a – 1,63 мг/г, хлорофіл b – 0,85 мг/г). Вміст каротиноїдів у цибулі дорівнює 0,60 мг/г. Заморожена цибуля показує подальше зниження рівнів хлорофілів до 1,76 мг/г (хлорофіл a – 1,23 мг/г, хлорофіл b – 0,53 мг/г), а вміст каротиноїдів скорочується до 0,43 мг/г.

У свіжій м'яті вміст хлорофілів становить 4,36 мг/г (хлорофіл *a* – 3,36 мг/г, хлорофіл *b* – 1,00 мг/г), а каротиноїдів – 1,25 мг/г. Заморожена м'ята має майже аналогічний вміст хлорофілів ($a+b$ – 4,33 мг/г), але вміст каротиноїдів знижується до 0,89 мг/г.

Свіжа рукола містить загальний вміст хлорофілів ($a+b$) на рівні 4,03 мг/г (хлорофіл *a* – 3,17 мг/г, хлорофіл *b* – 0,96 мг/г). Вміст каротиноїдів становить 0,87 мг/г. Заморожена рукола демонструє зниження рівнів хлорофілів ($a+b$) до 2,91 мг/г (хлорофіл *a* – 2,05 мг/г, хлорофіл *b* – 0,86 мг/г), а вміст каротиноїдів скорочується до 0,80 мг/г.

Загалом, заморожування призводить до зниження рівнів хлорофілів та каротиноїдів у більшості досліджених рослин. Єдиним винятком є селера, у якій після заморожування спостерігається збільшення концентрації пігментів. Сушіння сприяє кращому збереженню хлорофілів у петрушці, однак зменшує кількість каротиноїдів.

Перспективи подальших досліджень зосереджені на вдосконаленні методів зберігання та екстракції біологічно активних речовин із рослин. Зокрема, необхідно вивчити вплив різних температурних режимів на стабільність хлорофілів і каротиноїдів, що дозволить визначити оптимальні умови для тривалого зберігання рослинних зразків. Особливо важливо порівняти ефективність заморожування, сушіння та інших методів охолодження з точки зору збереження пігментів, які мають важливе значення для харчової та фармацевтичної промисловості.

Одним із напрямів є вдосконалення методів екстракції для більш ефективного вилучення хлорофілів і каротиноїдів із різних рослин. Це включає вивчення нових екстрагентів та оптимізацію існуючих методів для підвищення якості отриманих екстрактів. Вивчення різних варіантів екстракції також дозволить зберігати більше біоактивних речовин, що є важливим для збереження їх харчової та медичної цінності.

Варто дослідити тривалість збереження цих пігментів при різних умовах зберігання, що дозволить визначити, як довго можна зберігати рослинні продукти без значних втрат у якості. Це має велике значення для агропромислових підприємств, оскільки дозволить збільшити термін зберігання продукції, не втрачаючи її корисних властивостей. Подальші дослідження також можуть сприяти розвитку нових

технологій в агрономії та біотехнологіях, які допоможуть зберігати біоактивні речовини рослин на високому рівні.

Отримані результати можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо оптимальних методів зберігання зелені з метою збереження максимальних рівнів біологічно активних речовин.

Висновки:

1. Заморожування сприяє зниженню рівня хлорофілів та каротиноїдів у більшості досліджених рослин. Наприклад, у замороженій петрушці хлорофіл *a* зменшується з 5,12 мг/г до 2,59 мг/г, хлорофіл *b* – з 1,70 мг/г до 0,86 мг/г, а загальна кількість хлорофілів (*a+b*) знижується з 6,82 мг/г до 3,45 мг/г. Вміст каротиноїдів також знижується з 1,65 мг/г до 0,79 мг/г. Однак заморожена селера показує збільшення рівня хлорофілів (*a+b*) з 4,60 мг/г до 5,97 мг/г, хлорофілу *a* – з 3,38 мг/г до 4,45 мг/г, хлорофілу *b* – з 1,22 мг/г до 1,52 мг/г, а каротиноїдів – з 0,71 мг/г до 1,17 мг/г.

2. Сушіння показує ефективність у збереженні хлорофілів, зокрема в петрушці, де загальний вміст хлорофілів (*a+b*) зменшується незначно з 6,82 мг/г до 6,60 мг/г. Однак, сушіння призводить до значного зниження рівня каротиноїдів, наприклад, у петрушці, де вміст каротиноїдів падає з 1,65 мг/г до 1,10 мг/г. Це вказує на необхідність удосконалення методів сушіння для збереження як хлорофілів, так і каротиноїдів. Подібні зміни можуть обмежити використання сушіння для збереження всієї біоактивної цінності рослин.

3. Результати дослідження показують, що вміст хлорофілів і каротиноїдів у свіжих рослинах є найбільшим. Наприклад, свіжі рослини петрушки містять 6,82 мг/г хлорофілів (*a+b*) і 1,65 мг/г каротиноїдів. Замороження зазвичай знижує ці показники, за винятком селери, де після заморожування рівень хлорофілів збільшується з 4,60 мг/г до 5,97 мг/г, а каротиноїдів – з 0,71 мг/г до 1,17 мг/г. Це вказує на необхідність оптимізації методів зберігання для кожного виду рослин для максимального збереження їхніх корисних властивостей.

4. Перспективи подальших досліджень включають розробку більш ефективних методів зберігання та екстракції біологічно активних речовин, таких як хлорофіли та каротиноїди, для забезпечення їх максимальної стабільності та збереження корисних властивостей. Зокрема, варто зосередитися на вивченні впливу нових

технологій, таких як заморожування з використанням розчинників або інноваційних пакувальних матеріалів, на збереження пігментів. Крім того, важливо дослідити можливості використання цих пігментів в харчовій промисловості як натуральні барвники, зокрема, для покращення смакових і фарбувальних якостей продуктів. Подальші дослідження також повинні зосередитися на оптимізації умов сушіння для мінімізації втрат каротиноїдів та інших біоактивних сполук, що забезпечить підвищення якості кінцевих продуктів.

1. Іщук Л. П., Іщук Г. П. Аналіз пігментного апарату листків деяких видів і культиварів родини Salicaceae mirb. у зв'язку із забрудненням повітря в умовах м. Біла Церква. *Екологічні науки*. 2020. № 5 (32). С. 91–95. 2. Бурлака І. С., Кисличенко В. С. Пігменти трави щучника дернистого і трави куничника звичайного. *Український журнал клінічної та лабораторної медицини*. 2012. Т. 7. № 2. С. 14–16. 3. Дубініна А. А., Щербакова Т. В., Хацкевич Ю. М., Ленерт С. О., Борисова С. О. Способи стабілізації кольору рослинної сировини під час її переробки. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Том 23. № 4. С. 140–158. 4. Колісник Ю. С., Кузнєцова В. Ю. Пігменти трави грициків звичайних (*Capsella bursa-pastoris*). *Фармацевтичний журнал*. 2013. № 1. С. 75–77. 5. Гриненко У. В., Журавель І. О. Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів в листі шпинату городнього (*Spinacia oleracea* L.). *Збірник наукових праць співробітників НМАПО імені П. Л. Шупика*. 2017. Вип. 28. С. 29–32. 6. Горяча Л. М., Журавель І. О. Визначення кількісного вмісту хлорофілів у траві амброзії полинолистої. *Технологічні та біофармацевтичні аспекти створення лікарських препаратів різної направленості дії: матеріали II міжнар. наук.-практ. інтернет-конф.* 2015. С. 92. 7. Sang Heui Ko, Jae Hee Park, So Yun Kim et al. Antioxidant Effects of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) supplementation in hyperlipidemic rats. *Preventive Nutrition and Food Science*. 2014. Vol. 19 (1). P. 19–26. 8. Duma M., Alsina I., Zeipina S., Lepse L., Dubova L. Leaf vegetables as source of phytochemicals. *Foodbalt: 9th Baltic conference on food science and technology*. 2014. P. 262–265. 9. Salunkhe N. B., Kadam A. P., Aparadh V. T., & Chavan J. J. Comparative study of photosynthetic pigments and phenolic content in three *Barleria* species. *World Journal of Pharmaceutical research*. 2013. Vol. 2(3). P. 1–11. 10. Di Pietro N., Di Tomo P., Pandolfi A. Carotenoids in cardiovascular disease prevention. *JSM Atheroscle*. 2016. Vol. 1(1). P. 1002–1015. 11. Gammone M. A., Riccioni G., D'Orazio N. Carotenoids: potential allies of cardiovascular health? *Food Nutr Res*. 2015. Vol. 59. P. 1–11. doi: 10.3402/fnr.v59.26762

REFERENCES:

1. Ishchuk L. P., Ishchuk H. P. Analiz pihmentnoho aparatu lystkiv deiakykh vydiv i kultyvariv rodyny Salicaceae mirb. u zviazku iz zabrudnenniam povitria v umovakh m. Bila Tserkva. *Ekolohichni nauky*. 2020. № 5 (32). S. 91–95.
2. Burlaka I. S., Kyslychenko V. S. Pihmenty travy shchuchnyka dernystoho i travy kunychnyka zvychainoho. *Ukrainskyi zhurnal klinichnoi ta laboratornoi medytsyny*. 2012. T. 7. № 2. S. 14–16.
3. Dubinina A. A., Shcherbakova T. V., Khatskevych Yu. M., Lenert S. O., Borysova S. O. Sposoby stabilizatsii koloru roslinnoi syrovyny pid chas yii pererobky. *Naukovi pratsi NUKhT*. 2017. Tom 23. № 4. S. 140–158.
4. Kolisnyk Yu. S., Kuznietsova V. Yu. Pihmenty travy hrytsykyv zvychainykh (Capsellabursa–pastoris). *Farmatsevtychnyi zhurnal*. 2013. № 1. S. 75–77.
5. Hrynenko U. V., Zhuravel I. O. Vyznachennia vmistu khlorofiliv ta karotynoidiv v lysti shpynatu horodnoho (Spinacia oleracea L.). *Zbirnyk naukovykh prats spivrobotnykiv NMAPO imeni P. L. Shupyka*. 2017. Vyp. 28. S. 29–32.
6. Horiacha L. M., Zhuravel I. O. Vyznachennia kilkisnoho vmistu khlorofiliv u travi ambrozii polynolystoi. *Tekhnolohichni ta biofarmatsevtychni aspekty stvorennia likarskykh preparativ riznoi napravlenosti dii* : materialy II mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. 2015. S. 92.
7. Sang Heui Ko, Jae Hee Park, So Yun Kimetal. Antioxidant Effects of Spinach (Spinacia oleracea L.) supplementation in hyperlipidemicrats. *Preventive Nutrition and Food Science*. 2014. Vol. 19 (1). P. 19–26.
8. Duma M., Alsina I., Zeipina S., Lepse L., Dubova L. Leaf vegetables as source of phytochemicals. *Foodbalt* : 9th Baltic conference on food science and technology. 2014. P. 262–265.
9. Salunkhe N. B., Kadam A. P., Aparadh V. T., & Chavan J. J. Comparative study of photosynthetic pigments and phenolic content in three Barleria species. *World Journal of Pharmaceutical research*. 2013. Vol. 2(3). P. 1–11.
10. Di Pietro N., Di Tomo P., Pandolfi A. Carotenoids in cardiovascular disease prevention. *JSM Atheroscle*. 2016. Vol. 1(1). P. 1002–1015.
11. Gammone M. A., Riccioni G., D'Orazio N. Carotenoids: potential allies of cardiovascular health? *Food Nutr Res*. 2015. Vol. 59. P. 1–11. doi: 10.3402/fnr.v59.26762

Bondar O. B., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Pohorielova O. M., Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Chernyshenko O. Y., Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Associate Professor (West Ukrainian National University, Ternopil)

EFFECT OF STORAGE METHODS ON THE CONTENT OF CHLOROPHYLLS AND CAROTENOIDS IN THE LEAVES OF VEGETABLE PLANTS

The article presents the results of a study on the content of chlorophylls (a, b, a+b) and carotenoids in green plants under different

storage methods: fresh, frozen, and dried. The most popular plants were selected as research objects: garden parsley, celery, dill, onion, mint, and arugula. The analysis was conducted using a spectrophotometric method with an 80% acetone solution for pigment extraction.

The study results indicate that the storage method significantly affects the content of biologically active substances in plants. In most cases, freezing leads to a decrease in chlorophyll and carotenoid levels but allows for partial preservation compared to prolonged fresh storage. Drying, in turn, ensures relatively high pigment retention, especially in parsley, where their content remains nearly unchanged. This suggests that drying is an effective method for preserving chlorophylls and carotenoids in certain types of greens.

The analysis showed that the highest chlorophyll levels in the fresh state were recorded in parsley, highlighting its high nutritional value and importance in the human diet. In the frozen state, celery retained the most pigments, confirming its resistance to this storage method. Carotenoids in the fresh state were best preserved in mint and dill, which may be an important factor when choosing these plants for fresh consumption. When frozen, the highest carotenoid content was retained in celery and arugula, making these plants promising for long-term storage in freezers.

The obtained results have practical significance for the food industry and households, as they help determine the optimal storage methods for green plants to maintain their nutritional value and biologically active compounds.

***Keywords:* chlorophylls; carotenoids; leafy vegetable plants; storage; freezing.**

Бондарчук С. П., к.с.-г.н., доцент, Бондарчук Л. Ф., к.с.-г.н., доцент, Федонюк М. А., к.геогр.н., доцент, Мерленко І. М., к.с.-г.н., доцент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, s_bondarchuk@ukr.net, L_bondarchuk@ukr.net, m.fedoniuk@lntu.edu.ua, i.merlenko@lutsk-ntu.com.ua), **Ковальчук Н. С., к.с.-г.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, n.s.kovalchuk@nuwm.edu.ua)

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДОЙМ ЧЕРЕЗ УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ СКИДУ СТИЧНИХ ВОД НА ПРИКЛАДІ ОЧИСНИХ СПОРУД М. ЛУЦЬКА

У роботі досліджено: сучасні характеристики методів оцінки перемішування зворотних вод у річках; особливості сучасного збирання та очищення зворотних вод, які потрапляють на комунальні очисні споруди м. Луцька; вплив роботи випуску стічних вод на якісні характеристики води р. Стир в районі скиду зворотних вод м. Луцька; визначено можливі альтернативні варіанти випусків стічних вод комунальними очисними спорудами м. Луцька для зменшення забруднення води річки. У дослідженні проведено аналіз факторів, які суттєво впливають на процес розведення і змішування очищених стічних вод після їх скиду у річку Стир та виявлено їх основні особливості.

Дослідження показали, що покращення гідроекологічного стану води річки Стир у районі очисних споруд м. Луцька можна досягти без значного підвищення ефективності очищення стічних вод. Це можливо завдяки впровадженню більш ефективних методів скидання очищених стоків та їх змішування з водою у водоймі за допомогою сучасних випускних споруд.

Запропоновано покращення умов розведення стічних вод через можливу заміну берегового випуску на русловий для попередження надмірного забруднення води при несприятливих умовах.

Ключові слова: стічні води; очищення стічних вод; розведення стічних вод; кратність розведення; випуски стічних вод; самоочищення води.

Актуальність дослідження полягає в тому, що в сучасних умовах

при скиді очищених стічних вод із очисних споруд м. Луцька досить часто виникають екологічні проблеми, які пов'язані із застарілістю цих споруд та недосконалістю їх роботи. Серед інших проблем є і сучасний береговий спосіб скидання стічних вод у річку Стир, який характеризується невисоким коефіцієнтом змішування і, відповідно, низьким ступенем розведення стічних вод, що скидаються до водойми.

Повернення стічних вод у поверхневі водні об'єкти передбачає використання спеціальних інженерних споруд – випусків стічних вод, які можуть бути різних конструкційних і технологічних рішень і особливостей у кожному конкретному випадку. Як показують дослідження, для досягнення оптимального повернення відпрацьованих вод у довкілля випуски та їх робота в плані розведення і змішування очищених стічних вод із водою природних водойм відіграють досить істотну роль.

Об'єктом досліджень вибрано річку Стир в районі скиду зворотних вод м. Луцька та робота споруд скиду стічних вод. Метою досліджень було визначення ефективності роботи берегового випуску стічних вод комунальними очисними спорудами м. Луцька та розробка можливості оптимізації процесу.

Матеріал та методи дослідження. В ході дослідження використовувались методики визначення особливостей розведення стічних вод при роботі зосереджених і розсіюючих випусків як спрощеними, так і детальними методами розрахунку турбулентної дифузії [8], на основі чого встановлювали основні характеристики для перемішування стічних вод із водою р. Стир – коефіцієнти змішування та кратності розведення стічних вод для різних випадків.

Завдання досліджень передбачало визначити вплив роботи випуску стічних вод на якісні характеристики води р. Стир в районі скиду зворотних вод м. Луцька та розглянути можливість використання альтернативних варіантів випусків стічних вод комунальними очисними спорудами м. Луцька для зменшення забруднення води.

Наукова новизна роботи. Вперше для скиду стічних вод очисних споруд м. Луцька було розроблено математичну модель розведення очищених стічних вод із водою р. Стир із визначенням впливу на такий процес типу випуску стічних вод.

Огляд попередніх досліджень. Незважаючи на те, що

комунальні очисні споруди видаляють багато забруднюючих речовин із стічних вод, у воді, яка повертається в навколишнє середовище, зазвичай залишаються певна кількість шкідливих речовин [1–2]. Користувачі води та навколишнє середовище нижче за течією можуть бути захищені від надмірного забруднення шляхом розведення або додаткової обробки води. Додаткове очищення води може бути дорогим, тому відповідне розбавлення стічних вод у водоймі, що приймає стічні води, зменшує витрати на очищення води та захищає водне середовище, особливо у критичні періоди малої водності природних водойм чи максимальних витрат стічних вод, не дозволяючи досягати перевищень допустимих концентрацій у воді забруднюючих речовин [2].

Існує багато підходів до моделювання, які можна застосувати для оцінки прогнозованих екологічних концентрацій хімічних речовин, що потрапляють із стічними водами у річки. Часова зміна концентрації хімічних речовин у поверхневих водах в основному зумовлена як сезонною мінливістю річкових стоків у гідродинамічному і гідрохімічному аспекті, так і особливостями утворення стічних вод та ефективністю їх очищення, а також самоочищенням водного середовища [7–8].

При розгляді динаміки забруднення і самоочищення в ріках, озерах і водоймищах у першу чергу дослідники звертають увагу на процес розведення і переносу речовини як на найбільш істотний фактор зниження забруднення води [8]. Більшість дослідників при аналізі забруднення водного середовища внаслідок скиду стічних вод, в основному, звертають увагу на особливості поширення домішок у водоймах залежно від гідрології і гідродинаміки водного об'єкта, аналізу течій, дифузії і т.д. [8]. При цьому мало уваги надається характеристикам точкового скиду забруднюючих речовин, роботі очисних споруд і технологічним особливостям випуску і розведення стічних вод.

Аналіз одержаних результатів. Каналізаційна мережа охоплює всю територію міста Луцька. Для транспортування стоків на очисні споруди функціонують каналізаційні насосні станції та колектори [3]. Система очищення стічних вод у м. Луцьку є типовою для більшості комунальних очисних споруд та включає кілька етапів, а саме вловлення найбільш крупних домішок пісковловлювачами; осадження найбільш крупних нерозчинних забруднень у первинних

радіальних відстійниках; нейтралізація більшої кількості органічних сполук та частини токсичних речовин за участі мікроорганізмів активного мулу у аеротенках та додаткове біологічне доочищення у біологічних ставках перед випуском стічної води у р. Стир.

Скидання очищених стічних вод у поверхневу водойму (р. Стир) здійснюється через береговий випуск. Однак цей метод є одним із найменш ефективних через повільне змішування стічних вод із водою річки. Вздовж течії річки до контрольного перерізу нерідко зберігаються підвищені концентрації шкідливих речовин через недостатнє розведення, що може негативно впливати на екосистему водойми. Крім того, за спостереженнями, таке скидання рідких стоків сприяє утворенню піни, особливо у літній період.

Як свідчать численні дослідження, на розведення стічних вод впливають такі фактори, як конструктивні і технологічні особливості випуску стічних вод, при цьому встановлено, що розведення протікатиме інтенсивніше при розсіювальних випусках [4; 7–8].

При потребі якісного розведення стічних вод найчастіше використовуються руслові зосереджені та розсіювальні випуски. Також можуть використовуватись різні оголовки розсіювальних випусків, які обладнуються різними типами насадок для покращення процесу розведення стічних вод та насичення води киснем повітря [4].

Для того, щоб визначити, який із випусків буде найбільш придатним в тих чи інших умовах, потрібно володіти даними щодо особливостей розведення стічної води у водотоці або водоймищі, а також необхідно визначити концентрацію одного або декількох забруднюючих речовин у будь-якій точці локальної зони водного об'єкта, яка піддається впливу стічних вод.

При детальному аналізі впливу різних факторів на процес розведення і змішування стічних вод після скиду очищених стічних вод у воду річки Стир, нами було встановлено, що оптимізація (збільшення) кратності розведення стічних вод із водою водойми може бути досягнута шляхом покращення умов змішування стічної води з водою водойми. Інші можливі варіанти збільшення кратності розведення стічних вод, такі як способи регулювання витратами води річки та потоками стічних вод, зміна гідравлічних факторів річки, регулювання фоновим забрудненням виглядають такими, що практично не можна втілити, або втілення яких вимагає дуже великих матеріальних витрат. Прикладом цього може бути тимчасове

зменшення витрат стічних через використання штучних водойм (чи ємностей), де мусить накопичуватись стічна вода, а потім, після критичного періоду, її все одно потрібно направляти у водойму, або ж перенаправляти у інше місце скиду. І той і інший варіант є малореалістичним і може бути реалізований лише у окремих дуже рідких варіантах. Тому, якщо складаються обставини, коли потрібно управління ситуацією розведення стічних вод із водою водойми в критичні періоди, то це практично можливо шляхом технічної оптимізації чи удосконалення процесу розведення стічних вод шляхом використання більш ефективних типів випусків стічних вод, які дозволяють покращити процес змішування і розведення стічних вод.

Зважаючи на те, що при скиді стічних вод у воду річки спільна концентрація залежить також від фонового вмісту у воді забруднюючих речовин, який формується вище за течією під впливом як природних, так і антропогенних факторів, та враховуючи його суттєву динаміку, покращення розведення стічних вод може певною мірою зменшити концентрації шкідливих речовин у розрахунковому перерізі [5]. Особливо це стосується таких забруднюючих компонентів (рис. 1), як завислі речовини, біологічне споживання кисню (БСК), нітрит-іони та інші шкідливі компоненти, які за результатами спостережень, у певні періоди (за даними моніторингових спостережень) вже перевищують допустимі показники у воді річки, ще до скиду стічних вод очисних споруд [7].

У такому випадку необхідно ще більш ретельно очищати стічні води, суттєво зменшуючи залишкові кількості шкідливих речовин у очищеній стічній воді, що не завжди можна реалізувати, або досягати більш ефективного розведення стічних вод у водоймі.

Використання берегового випуску є недосконалим також і через порівняно низьке насичення потоку води киснем, що погіршує стан водоймища, куди вони випускаються, і уповільнює процеси їхнього подальшого біологічного самоочищення. Для насичення очищених стічних вод киснем перед випуском їх у водоймище передбачають спеціальні пристрої: за наявності вільного перепаду рівнів між майданчиком очисних споруд та горизонтом води у водному об'єкті – багатоступінчасті водозливи-аератори, швидкоплини та ін., в інших випадках проєктують барботажні ємнісні споруди [4].

З метою визначення ефективності використання альтернативних типів випусків стічних вод ми спробували змоделювати цей процес,

використовуючи методи розрахунку турбулентної дифузії на прикладі таких шкідливих речовин як завислі речовини та біологічне споживання кисню (БСК) при використанні сучасного берегового випуску і за умови використання більш ефективного – руслового.

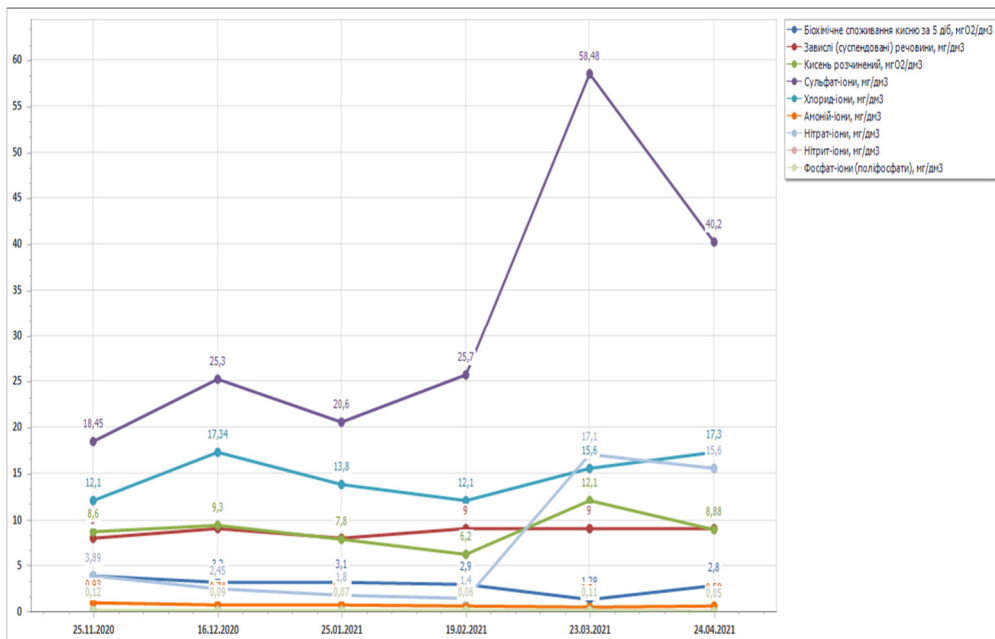


Рис. 1. Динаміка показників фонові якості води р. Стир поблизу місця скиду стічних вод (2020–2021 рр.)

У нашому прикладі була використана розрахункова ситуація при визначенні розведення детальним методом за схемою вирішення плоскої задачі (рис. 2), несприятлива для якості води після скиду стічних вод за вмістом завислих речовин, а саме при досить високому фоновому забрудненні води річки – $6,12 \text{ мг/дм}^3$, що зустрічається не досить часто (переважно в періоди дощів чи танення снігу). Також ця несприятлива ситуація посилюється не достатньо ретельним очищенням потоку стічних вод на очисних спорудах м. Луцька від завислих речовин – до 25 мг/дм^3 (що може бути зумовлене технічними причинами), хоча зазвичай ступінь очищення стічних вод за завислими речовинами менше, ніж 15 мг/дм^3 .

Сфон= 6,12 мг/л		Сгдж= 15 мг/л															
Свип= 25 мг/л																	
	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,19	6,19	6,34	6,34	6,54	6,54	6,77		
Сфон	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,19	6,19	6,34	6,34	6,54	6,54	6,77		
	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,27	6,19	6,49	6,34	6,74	6,54	6,99	6,77		
	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,42	6,27	6,78	6,49	7,13	6,74	7,44	6,99	7,71		
	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,71	6,42	7,30	6,78	7,78	7,13	8,15	7,44	8,43	7,71		
	6,12	6,12	6,12	6,12	7,30	6,71	8,19	7,30	8,78	7,78	9,16	8,15	9,42	8,43	9,58		
	6,12	6,12	6,12	8,48	7,30	9,66	8,19	10,25	8,78	10,55	9,16	10,68	9,42	10,73	9,58		
Свип	6,12	6,12	10,84	8,48	12,02	9,66	12,32	10,25	12,32	10,55	12,20	10,68	12,05	10,73	11,89		
	6,12	15,56	10,84	15,56	12,02	14,97	12,32	14,38	12,32	13,86	12,20	13,42	12,05	13,04	11,89		
	25,00	15,56	20,28	15,56	17,92	14,97	16,45	14,38	15,41	13,86	14,64	13,42	14,03	13,04	13,54		
	25,00	25,00	20,28	20,28	17,92	17,92	16,45	16,45	15,41	15,41	14,64	14,64	14,03	14,03	13,54		
	25,00	25,00	20,28	20,28	17,92	17,92	16,45	16,45	15,41	15,41	14,64	14,64	14,03	14,03	13,54		
	25,00	25,00	20,28	20,28	17,92	17,92	16,45	16,45	15,41	15,41	14,64	14,64	14,03	14,03	13,54		
	0	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	L,м

Рис. 2. Особливості розведення стічної води за вмістом завислих речовин при використанні берегового випуску

При використанні берегового випуску (рис. 2), концентрації понад 15 мг/дм³ (ГДК) мають місце до відстані 350 м від місця скиду очищених стічних вод. Також видно, що забруднений потік води рухається вздовж правого берега річки, повільно розмішуючись із основною течією.

При таких самих умовах скиду, але за умови використання руслового випуску, розведення стічних вод відбувається дещо по-іншому (рис. 3).

Сфон=		6,12 мг/л			Сгдж=		15		мг/л									
Свип=		25 мг/л																
		6,12	6,12	6,12	6,12	7,30	7,30	8,19	8,19	8,78	8,78	9,18	9,19	9,48	9,50	9,71		
Сфон		6,12	6,12	6,12	6,12	7,30	7,30	8,19	8,19	8,78	8,78	9,18	9,19	9,48	9,50	9,71		
		6,12	6,12	6,12	8,48	7,30	9,07	8,19	9,37	8,78	9,59	9,20	9,77	9,52	9,93	9,76		
		6,12	6,12	10,84	8,48	10,84	9,07	10,55	9,37	10,40	9,62	10,36	9,84	10,38	10,03	10,42		
		6,12	15,56	10,84	13,20	10,84	12,02	10,55	11,43	10,47	11,14	10,49	10,99	10,54	10,92	10,60		
		25,00	15,56	15,56	13,20	13,20	12,02	12,32	11,58	11,87	11,36	11,61	11,24	11,46	11,17	11,36		
Свип		25,00	15,56	15,56	13,20	13,20	12,61	12,32	12,24	12,09	11,98	11,93	11,80	11,81	11,68			
		6,12	15,56	10,84	13,20	12,02	13,20	12,32	12,91	12,32	12,61	12,24	12,37	12,15	12,19	12,07		
		6,12	6,12	10,84	10,84	13,20	12,02	13,20	12,32	12,98	12,39	12,76	12,38	12,57	12,33	12,41		
		6,12	6,12	10,84	13,20	12,02	13,20	12,32	13,05	12,46	12,91	12,52	12,77	12,51	12,64	12,47		
		6,12	15,56	15,56	13,20	13,20	12,61	12,91	12,61	12,83	12,65	12,78	12,65	12,71	12,61	12,62		
		25,00	25,00	15,56	13,20	13,20	12,61	12,91	12,61	12,83	12,65	12,78	12,65	12,71	12,61	12,62		
		0	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	L,м

Рис. 3. Особливості розведення стічної води за вмістом завислих речовин при використанні руслового зосередженого випуску стічних вод

На рис. 2 і далі показано розрахункові схеми розведення очищених стічних вод від місця скиду до контрольного перерізу на відстані 500 м від місця скиду у окремих елементарних ділянках, що

визначені за детальним методом при вирішенні плоскої задачі, де в окремих клітинках вказано розрахункові концентрації забруднюючих компонентів.

При використанні такого випуску видно, що елементарні ділянки річки зі значеннями понад ГДК спостерігаються значно менше і відсутні на відстані від місця скиду на відстані понад 105 м.

Дещо по-іншому виглядає ситуація із розведенням стічних вод у воді річки Стир за показником БСК₅ у неоптимальних умовах. Схема такого розведення для берегового і руслового випусків наведена на рис. 4–5.

	Сфон=	2,6	мг/л		Стдк=	3	мг/л												
	Свип=	14,2	мг/л																
		2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,65	2,65	2,74	2,74	2,86	2,86	3,00			
		2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,65	2,65	2,74	2,74	2,86	2,86	3,00			
		2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,69	2,65	2,83	2,74	2,98	2,86	3,14	3,14	3,00			
Сфон		2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,69	3,01	2,83	3,22	2,98	3,41	3,14	3,58				
		2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,96	2,78	3,33	3,01	3,62	3,22	3,85	3,41	4,02	3,58			
		2,60	2,60	2,60	2,60	3,33	2,96	3,87	3,33	4,23	3,62	4,47	3,85	4,62	4,02	4,73			
		2,60	2,60	2,60	4,05	3,33	4,78	3,87	5,14	4,23	5,32	4,47	5,40	4,62	5,43	4,73			
		2,60	2,60	5,50	4,05	6,23	4,78	6,41	5,14	6,41	5,32	6,34	5,40	6,24	5,43	6,14			
Свип		2,60	8,40	5,50	8,40	6,23	8,04	6,41	7,68	6,41	7,36	6,34	7,09	6,24	6,85	6,14			
		14,20	8,40	11,30	8,40	9,85	8,04	8,94	7,68	8,31	7,36	7,83	7,09	7,46	6,85	7,16			
		14,20	14,20	11,30	11,30	9,85	9,85	8,94	8,94	8,31	8,31	7,83	7,83	7,46	7,46	7,16			
		14,20	14,20	11,30	11,30	9,85	9,85	8,94	8,94	8,31	8,31	7,83	7,83	7,46	7,46	7,16			
		0	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	L,м	

Рис. 4. Особливості розведення стічної води за вмістом БСК₅ при використанні берегового випуску

	Сфон=	2,6	мг/л		Стдк=	3	мг/л												
	Свип=	14,2	мг/л																
		2,60	2,60	2,60	2,60	3,33	3,33	3,87	3,87	4,23	4,23	4,47	4,47	4,62	4,62	4,73			
		2,60	2,60	2,60	2,60	3,33	3,33	3,87	3,87	4,23	4,23	4,47	4,47	4,62	4,62	4,73			
		2,60	2,60	2,60	4,05	3,33	4,41	3,87	4,59	4,23	4,71	4,47	4,78	4,62	4,83	4,73			
Сфон		2,60	2,60	5,50	4,05	5,50	4,41	5,32	4,59	5,18	4,71	5,09	4,78	5,03	4,83	4,99			
		2,60	8,40	5,50	6,95	5,50	6,23	5,32	5,77	5,18	5,48	5,09	5,28	5,03	5,16	4,99			
		14,20	8,40	8,40	6,95	6,95	6,23	6,23	5,77	5,77	5,48	5,48	5,28	5,28	5,16	5,16			
Свип		14,20	8,40	8,40	6,95	6,95	6,23	6,23	5,77	5,77	5,48	5,48	5,28	5,28	5,16	5,16			
		2,60	8,40	5,50	6,95	5,50	6,23	5,32	5,77	5,18	5,48	5,09	5,28	5,03	5,16	4,99			
		2,60	2,60	5,50	4,05	5,50	4,41	5,32	4,59	5,18	4,71	5,09	4,78	5,03	4,83	4,99			
		2,60	2,60	2,60	4,05	3,33	4,41	3,87	4,59	4,23	4,71	4,47	4,78	4,62	4,83	4,73			
		2,60	2,60	2,60	2,60	3,33	3,33	3,87	3,87	4,23	4,23	4,47	4,47	4,62	4,62	4,73			
		0	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	L,м	

Рис. 5. Особливості розведення стічної води за вмістом БСК₅ при використанні руслового зосередженого випуску стічних вод

У цьому випадку при змішуванні стічної води із водою річки навіть у контрольному перерізі утворюються концентрації, які більші за ГДК. Така ситуація відбувається тому, що розглядаються

найнесприятливіші умови скиду стічних вод, які виникають при мінімальних витратах води у річці, максимальних витратах стічних вод, високому фоновому забрудненні води водойми і неоптимальній роботі очисних споруд стосовно вилучення або знешкодження даної забруднюючої речовини. У такому випадку ми спостерігаємо суттєве забруднення води понад встановлені норми.

Числове значення покращення умов розведення і змішування очищеної стічної води із водою річки при використанні руслового випуску при наших розрахунках характеризувалось тим, що коефіцієнт змішування стічної води з водою річки Стир при використанні берегового випуску стічних вод складає 0,827, а руслового випуску – 0,967. Відповідно, і кратність розведення стічних вод також зростає із 6,94 при використанні берегового випуску – до 8,12 при використанні руслового випуску стічних вод (за умов мінімальних витрат річкової води і максимальних витрат стічних вод).

Також особливістю цього випадку є те, що розведення забруднень берегового і руслового випуску має певні закономірності. Так, на рівні контрольного створу (500 м нижче за течією від випуску стічних вод) розведення за допомогою руслового випуску виглядає більш рівномірним – значення БСК₅ коливаються від 4,73 до 5,16 мг/дм³. При цьому такі ж показники для берегового випуску коливаються від 3 до 7,16 мг/дм³, що свідчить про значно гірші умови розведення і змішування очищеної стічної води із водою річки.

Аналізуючи отримані результати дослідження впливу роботи випуску стічних вод на якісні характеристики води р. Стир в районі скиду зворотних вод м. Луцька, можна зробити **висновки**:

1. В сучасних умовах покращення гідроекологічного стану води р. Стир в районі очисних споруд м. Луцька без суттєвого збільшення ефективності очищення стічних вод можливе шляхом використання більш ефективних способів скиду очищених стоків і їх розведення у водоймі за допомогою випускних споруд.
2. Як показали результати дослідження, для покращення розведення стічних вод потрібно використовувати русловий тип випуску стічних вод, який забезпечує кращі умови перемішування за рахунок збільшення швидкості течії та турбулентності потоку води, а також дозволяє уникати кризових екологічних ситуацій в несприятливі періоди. При запровадженні такого заходу покращилися б умови розведення стічних вод і зменшились випадки перевищення

гранично-допустимих концентрацій.

1. Бондарчук С. П., Бондарчук Л. Ф. Оцінка впливу водовідведення м. Луцька на якість вод річки Стир. *Водне господарство – стан та перспективи розвитку водогосподарсько-меліоративного комплексу України* : матеріали конференції. Рівне, 2011. С. 13–19. **2.** Бондарчук С. П., Бондарчук Л. Ф. Шляхи вдосконалення очищення стічних вод м. Луцька. *Сучасні проблеми збалансованого природокористування* : зб. наук. праць ПДАТУ. Спецвипуск до IX науково-практичної конференції. 2014. С. 154–157. **3.** Бондарчук С. П., Бондарчук Л. Ф., Федонюк М. А., Мерленко І. М., Ковальчук Н. С. Особливості забруднення поверхневих водойм Волинської області сполуками азоту та шляхи покращення ситуації. *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки* : зб. наук. праць. 2022. Вип. 4(100). С. 38–48. **4.** Ковальчук В. А. Очистка стічних вод. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с. **5.** Мольчак Я. О., Бондарчук С. П., Бондарчук Л. Ф. Оцінка різних методів визначення кратності розведення зворотних вод м. Луцька із водою р. Стир. *Науковий вісник Чернівецького університету. Географія* : зб. наук. праць. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2018. Вип. 795. С. 155–159. **6.** Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України. URL: <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index> (дата звернення: 10.01.2024). **7.** Саблій Л. А., Бунчак О. М., Жукова В. С. Практикум з біотехнологій очищення води : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. 108 с. **8.** Рудаков Д. В. Математичні моделі в охороні навколишнього середовища : навч. посіб. Д. : Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. 160 с.

REFERENCES:

1. Bondarchuk S. P., Bondarchuk L. F. Otsinka vplyvu vodovidvedennia m. Lutska na yakist vod richky Styr. *Vodne hospodarstvo – stan ta perspektyvy rozvytku vodohospodarsko-melioratyvnoho kompleksu Ukrainy* : materialy konferentsii. Rivne, 2011. S. 13–19. **2.** Bondarchuk S. P., Bondarchuk L. F. Shliakhy vdoskonalennia ochyshchennia stichnykh vod m. Lutska. *Suchasni problemy zbalansovanoho pryrodokorystuvannia* : zb. nauk. prats PDATU. Spetsvypusk do IX naukovo-praktychnoi konferentsii. 2014. S. 154–157. **3.** Bondarchuk S. P., Bondarchuk L. F., Fedoniuk M. A., Merlenko I. M., Kovalchuk N. S. Osoblyvosti zabrudnennia poverkhnevyykh vodoim Volynskoi oblasti spolukamy azotu ta shliakhy pokrashchennia sytuatsii. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky* : zb. nauk. prats. 2022. Vyp. 4(100). S. 38–48. **4.** Kovalchuk V. A. Ochystka stichnykh vod. Rivne : VAT «Rivnenska drukarnia», 2002. 622 s. **5.** Molchak Ya. O., Bondarchuk S. P., Bondarchuk L. F. Otsinka

riznykh metodiv vyznachennia kratnosti rozvedennia zvorotnykh vod m. Lutska iz vodoiu r. Styr. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu*. Heohrafiia : zb. nauk. prats. Chernivtsi : Chernivetskyi nats. un-t, 2018. Vyp. 795. S. 155–159. **6.** Monitorynh ta ekolohichna otsinka vodnykh resursiv Ukrainy. URL: <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index> (data zvernennia: 10.01.2024). **7.** Sablii L. A., Bunchak O. M., Zhukova V. S. *Praktykum z biotekhnolohii ochyshchennia vody : navch. posib.* Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, Vyd-vo «Politekhnik», 2022. 108 s. **8.** Rudakov D. V. *Matematychni modeli v okhoroni navkolyshnoho seredovyscha : navch. posib.* D. : Vyd-vo Dnipropetr. un-tu, 2004. 160 s.

Bondarchuk S. P., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Bondarchuk L. F., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Fedoniuk M. A., Candidate of Geographical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Merlenko I. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), Kovalchuk N. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

WAYS TO REDUCE POLLUTION OF SURFACE BODY CONTAINERS THROUGH IMPROVING THE METHOD OF WASTEWATER DISCHARGE USING THE EXAMPLE OF TREATMENT PLANTS IN LUTSK

The study investigates the following: the current characteristics of methods for assessing the mixing of return waters in rivers; the specific features of modern collection and treatment of return waters entering the municipal wastewater treatment facilities in the city of Lutsk; the impact of wastewater discharge on the qualitative characteristics of the Styr River in the area of return water discharge in Lutsk; and the identification of possible alternative options for wastewater discharge from the municipal treatment facilities in Lutsk to reduce river pollution.

The research analyzed the factors significantly affecting the dilution and mixing processes of treated wastewater after discharge into the Styr River and identified their key features.

The findings indicate that improving the hydro-ecological state of the Styr River in the area of Lutsk wastewater treatment facilities can

be achieved without significantly enhancing the efficiency of wastewater treatment. This can be accomplished by implementing more effective methods of wastewater discharge and mixing with the river water through modern outfall structures.

The study proposes improving the conditions for wastewater dilution by potentially replacing the shoreline outfall with an in-stream outfall to prevent excessive water pollution under adverse conditions.

***Keywords:* wastewater; wastewater treatment; wastewater dilution; dilution factor, wastewater discharges, water self-purification.**

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., к.б.н., старший дослідник, старший науковий співробітник**, **Колодяжний О. Ю., к.с.-г.н., науковий співробітник** (Інститут агроєкології та природокористування НААН, м. Київ, ORCID: 0009-0001-9945-8462, ORCID: 0000-0001-5359-1738), **Щербачук В. М., к.с.-г.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, v.m.shcherbachuk@nuwm.edu.ua)

БІОЛОГІЧНИЙ МЕТОД ЗАХИСТУ ЯБЛУНІ ПРОТИ ПАРШІ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Встановлено, що досліджувані біологічні препарати в умовах Західного Лісостепу України у 2021–2022 роках показали високу ефективність дії проти парші яблуні, яка була найпоширенішою хворобою в умовах Західного Лісостепу України та уражала від 15,6 до 29,4% листків яблуні та від 8,3 до 13,2% плодів яблуні. Досліджувані біологічні препарати показали ефективність дії проти парші на листках яблуні в межах 51,9–70,3% та проти парші на плодах яблуні в межах 57,5–63,5%. Зокрема найвищу ефективність отримали при застосуванні препарату Флуоресцин БТ, розчин (р.) у нормі 2,0 дм³/га – 62,3–70,3% на листках та 63,5% на плодах яблуні. Найнижчу ефективність отримали при застосуванні препарату БіоГібервіт БТ, р. у нормі 2,0 дм³/га – 51,9–59,7% на листках та 57,5% на плодах яблуні. Застосування препарату Трихопсин БТ, р. у нормі 3,0; 5,0 та 8,0 дм³/га дозволило на 54,6–67,2% зменшити розвиток парші та отримати урожайність від 11,3 до 11,6 т/га. Ефективність застосування Флуоресцину БТ, р. у нормі 1,0; 1,5 та 2,0 дм³/га становила 53,0–70,3%, за урожайності від 11,4 до 11,7 т/га. При застосуванні препарату БіоГібервіт БТ, р. у нормі 2,0; 3,0 та 4,0 дм³/га отримали ефективність проти парші яблуні через 7 діб після обприскування в межах 51,9–66,2% та урожайність від 11,2 до 11,4 т/га. Ефективність дії фунгіциду Делан, в.г. у нормі 0,8 кг/га, який

використовувався як хімічний еталон, проти парші складала 81,1–87,8%, за урожайності яблуні 12,2 т/га.

Ключові слова: яблуневі насадження; біопрепарати; парша; технічна ефективність.

Постановка проблеми. Насадженням яблуні завдає шкоди значна кількість хвороб, які зменшують врожайність дерев, негативно впливають на якісні показники плодової продукції та можуть призводити до загибелі дерев. Серед них: філостиктоз, альтернاریоз яблуні, чорний, звичайний або західноєвропейський рак, цитоспороз, бактеріальний опік, бактеріальний рак кори, моніліоз та плодова гниль [1–3], але найпоширенішою хворобою яблуні в умовах Західного Лісостепу України є парша.

Парша яблуні. Збудник – сумчастий гриб *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. з конідіальною стадією відповідно *Fusicladium dendriticum* (Wabr.) Fuck. Хвороба поширена скрізь, але найбільшої шкоди завдає в районах з достатньою вологістю, до яких належить територія Західного Лісостепу України [1].

Захист яблуневого саду від парші включає інтенсивне застосування пестицидів хімічного походження. Але їх використання має чимало суттєвих недоліків, зокрема їх залишки накопичуються в ґрунті та рослинах, водоймах, знищується корисна флора й фауна та виникає резистентність у шкідливих організмів [4–5]. Тому актуальною є розробка екологічно безпечних систем захисту яблуні від парші, які будуть спрямовані на обмеження шкідливості хвороби без шкоди навколишньому природному середовищу.

Дослідження ефективності біологічних препаратів проти парші дозволить не лише оцінити їх вплив на зменшення розвитку збудника хвороби, але й визначити найбільш ефективні фунгіциди біологічного походження та в подальшому застосовувати їх у системах біологічного захисту проти хвороб в умовах Західного Лісостепу України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз джерел літератури свідчить про те, що на сьогодні відомо багато пестицидів хімічного походження, які ефективно застосовують проти парші, але ефективність використання біологічного методу захисту яблуні від парші в умовах Західного Лісостепу України досліджено недостатньо.

Як зазначають Лісовий М. П. та ін. [1], Борзих О. І. та ін. [3], парша уражає листки, плоди і пагони яблуні. В окремі роки навесні нею

уражуються також квітки і зав'язь. На листках парша проявляється у вигляді хлоротичних плям, які пізніше стають темно-сірими з бархатистим зеленувато-оливковим нальотом. Їх діаметр сягає від 1,5–2 мм до 10–15 мм. Якщо парша проявляється не окремими плямами, а у вигляді суцільного темно-сірого нальоту, то таке проявлення хвороби називається дифузним. Уражені листки жовтіють, засихають і обпадають. На квітках і зав'язі також утворюються темно-сірі плями, що призводить до масового обпадання квіток і зав'язі. На плодах хвороба проявляється у вигляді різко обмежених бурих кіркових плям, з вузькою світлою облямівкою, які у вологу погоду покриваються бархатисто-оливковим нальотом.

Скорейко А. М. та ін. [6], Holb I. J. та ін. [7] вказують, що шкідливість парші полягає в обмеженні асиміляційної поверхні внаслідок передчасного обпадання уражених листків. Втрата листків може становити 50–80%, через що різко знижується продуктивність рослин, зменшується приріст пагонів, погіршується зимостійкість дерев. За значного ураження квіток і зав'язі парша може повністю знищити урожай, а за сильного ураження сформованих плодів втрата їх маси може становити 45–80%. Товарна якість плодів значно погіршується.

За даними Каленича Ф. С. [8], не стійкими до парші є сорти яблуні: Ренет Симиренка, Айдаред, Мутсу, Чемпіон, Гала, Старкримсон, відносно стійкими – Джонатан, Пепін шафранний, Ренет шампанський, Антонівка, Оріон, Сіріус, Ред Топаз, Луна, Розела, Скіфське золото, Прима, Присцилла, Пріам, Флоріна, Ліберті, Сірпрайз, Макфрі, Джонафрі, Редфрі, найбільш стійкими – Слава Переможцям, Гранні Сміт, Дарина, Вадимівка.

Одними із ефективних заходів захисту є вирощування імунних і стійких проти хвороби сортів, обмеження джерел інфекції способом заорювання або згрібання й компостування обпалих листків, видалення й знищення уражених пагонів; прорідження крони дерев, не допускання загущення насаджень для покращення якості обробки листків і плодів та кращого провітрювання крони. Крім того, не варто вносити надмірно високих норм азотних добрив, про що зазначають Лісовий М. П. та ін. [1], Каленич Ф. С. [8].

Важливе значення в обмеженні негативного впливу хімічних засобів захисту має біологічний метод захисту рослин, впровадження якого щодо хвороб яблуні хоча й перебуває на стадії наукового

пошуку, але все таки починає успішно впроваджуватись для захисту яблуневих насаджень від парші [9–10]. Дослідженнями встановлено, що ефективність біопрепаратів Планриз, в.с., Бактофіт, з.п., Триходермін, р., Гауспин, р. та ФітоДоктор, р. проти парші яблуні у період від фенофази «рожевий бутон» до «дозрівання плодів» становила 64,5–74,0% [11].

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень було вивчення ефективності застосування біологічних препаратів проти парші при вирощуванні яблуні та підбір найефективніших з них для застосування у системах біологічного захисту яблуневих насаджень проти хвороб 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. Обліки наявності й розвитку хвороб проводились за загальноприйнятими методиками відповідно до фаз рослини-господаря: набрякання бруньок, зелений конус, висування бутонів, відокремлення бутонів, рожевий бутон, цвітіння, кінець цвітіння, формування, ріст та дозрівання плодів [12].

При польових дослідах у кожному варіанті використовувалося по 10 облікових дерев (дерево-повторність). Для обліку парші оглядали 200 листків з різних боків крони і визначали ступінь їх ураження за відповідною шкалою. Для визначення ураження плодів паршею проводили облік на 100 плодах (по 25 облікових плодів з кожного боку крони) на 10 рівномірно розміщених деревах. Інтенсивність або ступінь розвитку хвороби визначали у відсотках поверхні рослин чи певних їх органів, вкритих плямами за відповідними окомірними відсотковими шкалами або в умовних балах за відповідними шкалами із характеристикою симптомів хвороби.

Ефективність дії фунгіцидів визначали за офіційними методиками через 7 діб після обробки [12].

Поширення хвороб (P) (кількість уражених рослин чи окремих їх органів у відсотках) визначали за формулою [12]

$$P = n * 100 / N, \quad (1)$$

де Π – поширення хвороби; N – загальна кількість рослин у пробі; n – кількість уражених органів (рослин), %.

Відсоток розвитку хвороби або ступінь ураження (R , %) вираховували за формулою [12]

$$R = (\sum(r*b) * 100) / P*B, \quad (2)$$

де R – розвиток хвороби, %; $\sum(r*b)$ – сума добутків кількості рослин (r) на відповідний бал ураження (b), P – кількість листків чи плодів, узятих для обліку, шт; B – найвищий бал шкали, за якою проводиться оцінка ураження в досліді.

Ефективність дії фунгіцидів (E_d , %) визначали згідно з формулою [12]

$$E_d = (100*(P_k - P_d)) / P_k, \quad (3)$$

де E_d – ефективність дії препарату, %; P_k – показник розвитку хвороби в контролі; P_d – показник розвитку хвороби в дослідному варіанті.

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 легко гідролізується – дуже низька (92 мг/кг ґрунту). Агроекологічна оцінка в балах складає 35 із 100.

Схема застосування біопрепаратів проти парші яблуні:

1. Контроль (без обробок).

2. Контроль (використання хімічних засобів): фунгіцид Делан (дитіанон), в.г. – 0,8 кг/га.

3. Трихопсин БТ (спори гриба *Trichoderma* та бактерії роду *Pseudomonas* з титром не нижче $2,0 \cdot 10^{10}$ КУО/см³) – 3,0 дм³/га.

4. Трихопсин БТ (спори гриба *Trichoderma* та бактерії роду *Pseudomonas* з титром не нижче $2,0 \cdot 10^{10}$ КУО/см³) – 5,0 дм³/га.

5. Трихопсин БТ (спори гриба *Trichoderma* та бактерії роду *Pseudomonas* з титром не нижче $2,0 \cdot 10^{10}$ КУО/см³) – 8,0 дм³/га.

6. Флуоресцин БТ (бактерії *Pseudomonas fluorescens*, титр не нижче $5,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 1,0 дм³/га.

7. Флуоресцин БТ (бактерії *Pseudomonas fluorescens*, титр не нижче $5,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 1,5 дм³/га.

8. Флуоресцин БТ (бактерії *Pseudomonas fluorescens*, титр не нижче $5,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 2,0 дм³/га.

9. БіоГібервіт БТ (гриби роду *Trichoderma*, титр $2,5 \cdot 10^9$ – $3,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 2,0 дм³/га.

10. БіоГібервіт БТ (гриби роду *Trichoderma*, титр $2,5 \cdot 10^9$ – $3,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 3,0 дм³/га.

11. БіоГібервіт БТ (гриби роду *Trichoderma*, титр $2,5 \cdot 10^9$ – $3,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 4,0 дм³/га.

Обприскування проводились три рази у фенофази: «формування плодів», «ріст плодів» (початок липня) та «дозрівання плодів».

Виклад основного матеріалу дослідження. Результатами фітосанітарного моніторингу (рисунок) встановлено, що впродовж 2021–2022 рр. в яблуневих насадженнях Західного Лісостепу України поширення та розвиток парші було відмічено у «кінці цвітіння» за ураження 1,0–1,2% листя яблуні. Далі збільшувався рівень поширення хвороби у «період формування плодів» – до 1,1–2,1% уражених листків, у фенофазу «росту плодів», коли плід мав розмір ліщини (III декада травня) – до 7,8–8,3% уражених листків, у фазу «росту плодів», коли плід мав розмір волоського горіха (II–III декада червня) – до 10,6–13,7% уражених листків. У фазу «росту плодів» (II–III декада липня) поширення парші становило до 12,4–22,6% уражених листків та 3,1–3,7% уражених плодів, у фазу «росту плодів» (I–II декада серпня) – до 15,5–28,8% уражених листків та 6,7–11,6% уражених плодів. У фазу «дозрівання плодів» рівень поширення парші досяг значень 15,6–29,4% уражених листків та 8,3–13,2% уражених плодів.

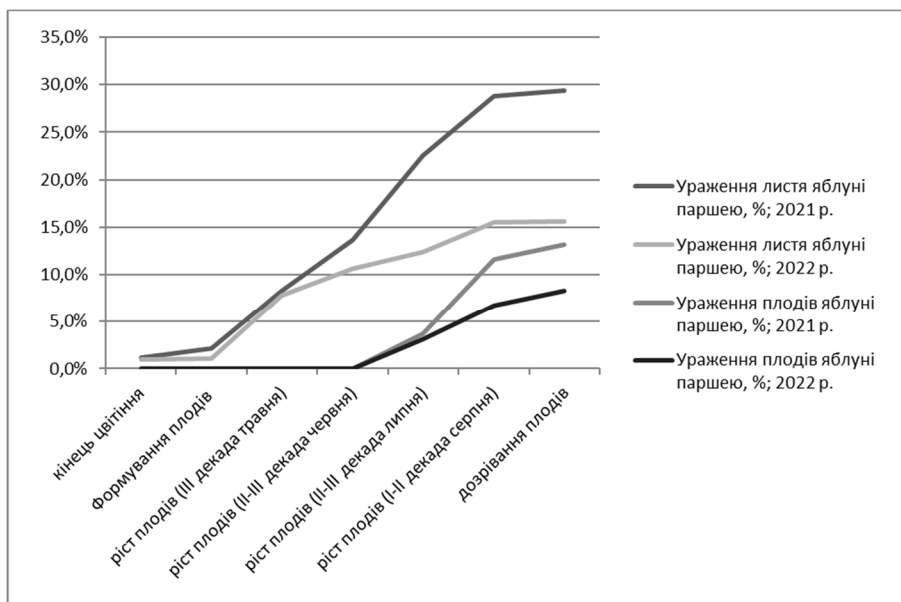


Рисунок. Ураження яблуневих насаджень паршею у Західному Лісостепу України, 2021–2022 рр.

Таблиця 1

Ефективність фунгіцидів біологічного походження проти парші на листках яблуні, 2021–2022 рр. (середнє по повторностях)

Варіант, норма внесення	*Кратність обробки	Розвиток хвороби, %	Ефективність дії, %	Урожайність, т/га
Контроль (вода)	1	1,83	-	10,9
	2	4,91	-	
	3	6,87	-	
Еталон: Делан, в.г (0,8 кг/га)	1	0,3	83,6	12,2
	2	0,6	87,8	
	3	1,3	81,1	
Трихопсин БТ, р. (3,0 дм ³ /га)	1	0,83	54,6	11,3
	2	1,81	63,1	
	3	2,76	59,8	
Трихопсин БТ, р. (5,0 дм ³ /га)	1	0,78	57,4	11,5
	2	1,71	65,2	
	3	2,69	60,8	
Трихопсин БТ, р. (8,0 дм ³ /га)	1	0,72	60,7	11,6
	2	1,61	67,2	
	3	2,56	62,7	

продовження табл. 1

Флуоресцин БТ, р. (1,0 дм ³ /га)	1	0,86	53,0	11,4
	2	1,85	62,3	
	3	2,83	58,8	
Флуоресцин БТ, р. (1,5 дм ³ /га)	1	0,76	58,5	11,6
	2	1,62	67,0	
	3	2,67	61,1	
Флуоресцин БТ, р. (2,0 дм ³ /га)	1	0,69	62,3	11,7
	2	1,46	70,3	
	3	2,42	64,8	
БіоГібервіт БТ, р. (2,0 дм ³ /га)	1	0,88	51,9	11,2
	2	1,98	59,7	
	3	2,91	57,6	
БіоГібервіт БТ, р. (3,0 дм ³ /га)	1	0,85	53,4	11,3
	2	1,75	64,4	
	3	2,69	60,8	
БіоГібервіт БТ, р. (4,0 дм ³ /га)	1	0,79	56,8	11,4
	2	1,66	66,2	
	3	2,58	62,4	
НІР₀₅				0,15

*Обробки проводилися у такі фенофази: 1 – «формування плодів», 2 – «ріст плодів» (початок липня), 3 – «дозрівання плодів»

Проти парші яблуні вивчалася дія наступних біофунгіцидів: Трихопсин БТ (спори гриба *Trichoderma* та бактерії роду *Pseudomonas* з титром не нижче $2,0 \cdot 10^{10}$ КУО/см³) у нормі 3,0; 5,0 та 8,0 дм³/га; Флуоресцин БТ (бактерії *Pseudomonas fluorescens*, титр не нижче $5,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 1,0; 1,5 та 2,0 дм³/га та БіоГібервіт БТ (гриби роду *Trichoderma*, титр $2,5 \cdot 10^9$ – $3,0 \cdot 10^9$ КУО/см³) – 2,0, 3,0 та 4,0 дм³/га. У якості хімічного еталону використовували фунгіцид Делан (дитіанон), в.г. – 0,8 кг/га.

За результатами досліджень встановлено (табл. 1), що препарат Трихопсин БТ, р. у нормі 3,0 дм³/га через 7 діб після обробки показав ефективність проти парші на листках яблуні у фенофазу «формування плодів» на рівні 54,6%, у період «росту плодів» – 63,1%, а під час «дозрівання плодів» – 59,8%, за урожайності 11,3 т/га. Ефективність препарату Трихопсин БТ, р. у нормі 5,0 дм³/га через 7 діб після обробки становила 57,4%, 65,2% та 60,8%, за урожайності 11,5 т/га. Препарат Трихопсин БТ, р. у нормі 8,0 дм³/га через 7 діб після обробки

забезпечив ефективність на рівні 60,7%, 67,2% та 62,7%, за урожайності 11,6 т/га.

Препарат Флуоресцин БТ, р. у нормі 1,0 дм³/га через 7 діб після обробки показав ефективність проти парші на листках яблуні у фенофазу «формування плодів» на рівні 53,0%, у період «росту плодів» – 62,3%, а під час «дозрівання плодів» – 58,8%, за урожайності 11,4 т/га. Препарат Флуоресцин БТ, р. у нормі 1,5 дм³/га забезпечив ефективність на рівні 58,8%, 67,0% та 61,1%, за урожайності 11,6 т/га. Ефективність препарату Флуоресцин БТ, р. у нормі 2,0 дм³/га складала 62,3%, 70,3% та 64,8%, за урожайності 11,7 т/га.

Препарат БіоГібервіт БТ, р. у нормі 2,0 дм³/га забезпечив ефективність проти парші на листках яблуні у фенофазу «формування плодів» на рівні 51,9%, у період «росту плодів» – 59,7%, а під час «дозрівання плодів» – 57,6%. У нормі 3,0 дм³/га ефективність даного препарату становила 53,4%, 64,4% та 60,8%; а у нормі 4,0 дм³/га – 56,8%, 66,2% та 62,4%. За використання препарату БіоГібервіт БТ, р. отримали урожайність в межах 11,2–11,4 т/га.

Ефективність дії фунгіциду Делан, в.г. у нормі 0,8 кг/га, який використовувався як хімічний еталон, проти парші на листках яблуні через 7 діб становила 83,6%, 87,8% та 81,1%, за урожайності 12,2 т/га.

У таблиці 2 наведено результати обробок фунгіцидами біологічного походження проти парші на плодах яблуні, що проводилися під час «дозрівання плодів».

Таблиця 2

Ефективність фунгіцидів біологічного походження проти парші на плодах яблуні, 2021–2022 рр. (середнє по повторностях)

Варіант, норма внесення	Розвиток хвороби, %	Ефективність дії, %	Урожайність, т/га
Контроль (вода)	4,80	-	10,9
Контроль хімічний: Делан, в.г (0,8 кг/га)	0,77	84,0	12,2
Трихопсин БТ, р. (3,0 дм ³ /га)	2,01	58,1	11,3
Трихопсин БТ, р. (5,0 дм ³ /га)	1,91	60,2	11,5

продовження табл. 2

Трихопсин БТ, р. (8,0 дм ³ /га)	1,85	61,5	11,6
Флуоресцин БТ, р. (1,0 дм ³ /га)	2,02	57,9	11,4
Флуоресцин БТ, р. (1,5 дм ³ /га)	1,88	60,8	11,6
Флуоресцин БТ, р. (2,0 дм ³ /га)	1,75	63,5	11,7
БіоГібервіт БТ, р. (2,0 дм ³ /га)	2,04	57,5	11,2
БіоГібервіт БТ, р. (3,0 дм ³ /га)	1,91	60,2	11,3
БіоГібервіт БТ, р. (4,0 дм ³ /га)	1,82	62,1	11,4
НІР₀₅			0,15

Результатами досліджень встановлено, що препарат Трихопсин БТ, р. у нормі 3,0 дм³/га через 7 діб після обробки показав ефективність проти парші на плодах яблуні на рівні 58,1%; у нормі 5,0 дм³/га – 60,2%; у нормі 8,0 дм³/га – 61,5%. При дослідженні препарату Флуоресцин БТ, р. у нормі 1,0 дм³/га через 7 діб після обробки технічна ефективність проти парші на плодах яблуні становила 57,9%; у нормі 1,5 дм³/га – 60,8%; у нормі 2,0 дм³/га – 63,5%. Застосування препарату БіоГібервіт БТ, р. дозволило отримати наступну ефективність проти парші на плодах яблуні: у нормі 2,0 дм³/га – 57,5%; у нормі 3,0 дм³/га – 60,2%; у нормі 4,0 дм³/га – 62,1%. Ефективність фунгіциду Делан, в.г. складала 84,0%.

Таким чином, незважаючи на незначну кількість обприскувань у весняно-літній період, все ж вдалося досягти належного захисту насаджень від парші на сорту Айдаред.

Враховуючи, що найвищу ефективність дії проти парші отримали при застосуванні біопрепарату Флуоресцин БТ, р. у нормі 2,0 дм³/га, то для досягнення максимального ефекту у боротьбі з паршею у системах біологічного захисту яблуні проти хвороб рекомендовано застосовувати в умовах Західного Лісостепу України даний препарат у фенофазах «формування плодів», «ріст плодів» (початок липня) та «дозрівання плодів».

Висновки. Встановлено, що досліджувані біологічні препарати показали ефективність дії проти парші на листках яблуні в межах 51,9–70,3% та проти парші на плодах яблуні в межах 57,5–63,5%. Зокрема найвищу ефективність отримали при застосуванні препарату Флуоресцин БТ, р. у нормі 2,0 дм³/га – 62,3–70,3% на листках та 63,5% на плодах яблуні. Найнижчу ефективність отримали при застосуванні препарату БіоГібервіт БТ, р. у нормі 2,0 дм³/га – 51,9–59,7% на листках та 57,5% на плодах яблуні. Урожайність яблуневих насаджень при дослідженні біологічних препаратів становила 11,3–11,7 т/га.

1. Довідник із захисту рослин / за ред. М. П. Лісового. Київ : Урожай, 1999. 744 с. 2. Шевчук І. В., Гриник І. В., Каленич Ф. С. Агроєкологічні системи інтегрованого захисту плодових і ягідних культур від шкідників і хвороб : рекомендації. Київ : ПП Санспарель, 2021. 188 с. 3. 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. 4. Бровдій В. М., Гулий В. В., Федоренко В. П. Біологічний захист рослин : навч. посіб. К. : Світ, 2003. 352 с. 5. Дядечко М. П. Біологічний захист рослин. Біла Церква, 2001. 312 с. 6. Скорейко А. М., Андрійчук Т. О., Гунчак М. В. Особливості розвитку сумчастої стадії збудника парші яблуні *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. та прояв хвороби у Західному Лісостепу України. *Захист і карантин рослин*. 2018. Вип. 64. С. 203–207. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2018.64.203-207>. 7. Holb I. J., Abonyi F., Buurma J. and Heijne B. On-farm and on-station evaluations of three orchard management approaches against apple scab and apple powdery mildew. *Crop Protection*. 2017. Vol. 97. P. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.023>. 8. Каленич Ф. С. Агроєкологічні основи інтегрованого захисту яблуні від парші та інших хвороб. К. : Аграрна наука, 2005. 248 с. 9. Борзих О. І. та ін. Екотоксикологічні параметри застосування біопестицидів, розробка та адаптація біологічних систем захисту яблуні від шкідників та хвороб до ґрунтово-кліматичних умов та фітосанітарного стану агроценозу. *Фітосанітарна безпека*. 2022. Вип. 68. С. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26>. 10. Гунчак М. В. Ефективність застосування біологічних систем захисту яблуні від борошнистої роси та парші в умовах Західного Лісостепу України. *Фітосанітарна безпека*. 2023. Вип. 69. С. 69–82. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2023.69.69-82>. 11. Гунчак М. В., Скорейко А. М. Захист яблуневих насаджень від хвороб в умовах Західного Лісостепу. *Захист і карантин рослин*. 2018. Вип. 64. С. 41–48. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2018.64.41-48>. 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. *Handbook of Market Research*. 2017. Pp. 1–29 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.** Shevchuk I. V., Hrynyk I. V., Kalenych F. S. Ahroekolohichni systemy intehrovanoho zakhystu plodovykh i yahidnykh kultur vid shkidnykiv i khvorob : rekomendatsii. Kyiv : PP Sansparel, 2021. 188 s.
- 3.** Zakhyst yabluni vid shkidlyvykh komakh, klishchiv ta khvorob (Pivdennyi i Pivdenno-Skhidnyi Step) : rekomendatsii / Borzykh O. I., Chernii A. M., Hrodskyi V. A. ta in. Kyiv : Kolobih, 2014. 44 s.
- 4.** Brovdii V. M., Hulyi V. V., Fedorenko V. P. Biolohichni zakhyst roslyn : navch. posib. K. : Svit, 2003. 352 s.
- 5.** Diadechko M. P. Biolohichni zakhyst roslyn. Bila Tserkva, 2001. 312 s.
- 6.** Skoreiko A. M., Andriichuk T. O., Hunchak M. V. Osoblyvosti rozvytku sumchastoi stadii zbudnyka parshi yabluni *Venturia inaequales* (Cooke) Wint. ta proiav khvoroby u Zakhidnomu Lisostepu Ukrainy. *Zakhyst i karantyn roslyn*. 2018. Vyp. 64. S. 203–207. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2018.64.203-207>.
- 7.** Holb I. J., Abonyi F., Buurma J. and Heijne B. On-farm and on-station evaluations of three orchard management approaches against apple scab and apple powdery mildew. *Crop Protection*. 2017. Vol. 97. P. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.023>.
- 8.** Kalenych F. S. Ahroekolohichni osnovy intehrovanoho zakhystu yabluni vid parshi ta inshykh khvorob. K. : Ahrarna nauka, 2005. 248 s.
- 9.** Borzykh O. I. ta in. Ekotoksikolohichni parametry zastosuvannya biopestytsydiv, rozrobka ta adaptatsiia biolohichnykh system zakhystu yabluni vid shkidnykiv ta khvorob do gruntovo-klimatychnykh umov ta fitosanitarnoho stanu ahrotsenozu. *Fitosanitarna bezpeka*. 2022. Vyp. 68. S. 3–26. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26>.
- 10.** Hunchak M. V. Efektyvnist zastosuvannya biolohichnykh system zakhystu yabluni vid boroshnystoi rosy ta parshi v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy. *Fitosanitarna bezpeka*. 2023. Vyp. 69. S. 69–82. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2023.69.69-82>.
- 11.** Hunchak M. V., Skoreiko A. M. Zakhyst yablunevykh nasadzhen vid khvorob v umovakh Zakhidnoho Lisostepu. *Zakhyst i karantyn roslyn*. 2018. Vyp. 64. S. 41–48. DOI: <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2018.64.41-48>.
- 12.** Metodyky vyprobuvannya i zastosuvannya 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.

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., Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Research Fellow, Kolodiaznyi O. Yu., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Research Fellow** (Institute of Agroecology and Environmental Management NAAS, Kyiv), **Shcherbachuk V. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

BIOLOGICAL METHOD OF PROTECTION OF APPLE TREE AGAINST SCAB IN THE CONDITIONS OF THE WESTERN FOREST-STEP OF UKRAINE

It was found that the studied biological preparations in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine in 2021–2022 showed high effectiveness against apple scab, which was the most common disease in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. The expansion and development of scab was noted at the “end of flowering” with the formation of 1.0–1.2% of apple leaves and continued until fruit harvesting, when the disease affected from 15.6 to 29.4% of apple leaves and from 8.3 to 13.2% of apple fruits. The studied biological preparations showed effectiveness against scab on apple leaves within 51.9–70.3% and against scab on apple fruits within 57.5–63.5%. Which was the greatest effectiveness when using the preparation Fluorescin BT, p. at a rate of 2.0 dm³/ha – 62.3–70.3% on leaves and 63.5% on apple fruits. The lowest efficiency was obtained when using the preparation BioGibervit BT, at a rate of 2.0 dm³/ha – 51.9–59.7% on leaves and 57.5% on apple fruits. The use of the preparation Trichopsin BT, at a rate of 3.0; 5.0 and 8.0 dm³/ha allowed to reduce the development of scab on apple leaves by 54.6–67.2%, reduce the development of diseases on apple fruits by 58.1–61.5% and obtain a yield of 11.3 to 11.6 t/ha. The efficiency of using Fluorescin BT,

at a rate of 1.0; 1.5 and 2.0 dm³/ha was 53.0–70.3% on apple leaves and 57.9–63.5% on apple fruits, with a yield of 11.4 to 11.7 t/ha. When releasing the preparation BioGibervit BT, r. in the norm of 2.0; 3.0 and 4.0 dm³/ha give effectiveness against apple steam 7 days after spraying within 51.9–66.2% on apple leaves, 57.5–62.1% on apple fruits and a yield of 11.2 to 11.4 t/ha. The effectiveness of the fungicide Delan, v.g. at a rate of 0.8 kg/ha, which was used as a chemical standard, was 81.1–87.8% on apple leaves and 84.0% on apple fruits, with an apple yield of 12.2 t/ha.

Keywords: apple plantations; biopreparations; scab; technical efficiency.

Демчук В. В., к.с.-г.н., доцент, Толочик І. Л., к.б.н., доцент
(Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне,
vasuldemchuk13@gmail.com)

**ПОКАЗНИКИ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ТА ПАРАМЕТРИ ЇХ
ФОРМУВАННЯ В АГРОЦЕНОЗАХ**
Beta vulgaris var. alba D. C.

Статтю присвячено фізіологічним та методологічним аспектам розвитку вчення про інтенсивність та продуктивність фотосинтезу рослин в агрофітоценозах. Проаналізовано залежність показників інтенсивності та продуктивності фотосинтезу цукрових буряків від факторів середовища – інтенсивності та спектрального складу світла, концентрації CO₂ в повітрі, температури повітря та її коливань, забезпеченості рослин водою, елементами мінерального живлення, агротехнічних прийомів із догляду за посівами.

Встановлено, що найважливішим фактором, який визначає інтенсивність процесу фотосинтезу цукрових буряків є донорно-акцепторні відносини в рослині, де донором виступає листок як виробник фотоасимілянтів, а акцептором – різноманітні, опосередковано задіяні у фотосинтезі клітини, тканини та органи рослин, що сприяють пересуванню, відведенню, використанню на процеси дихання та накопичення синтезованих органічних речовин.

Ключові слова: цукрові буряки, світло, інтенсивність фотосинтезу, продуктивність фотосинтезу, фактори довкілля, вода, CO₂, поживні речовини.

Постановка проблеми. Фотосинтез – унікальна природна здатність усіх автотрофних рослин утворювати органічні речовини з неорганічних. Ця властивість закладена в геномі рослинного організму та обумовлюється його анатомічною і морфологічною структурою, біологічними особливостями і здатністю використовувати фактори середовища відповідно до закону рівнозначності та незамінності їх для рослин. За рахунок використання рослиною факторів середовища – світла, води, тепла, поживних речовин, CO₂, повітря та спільної дії цих факторів у рослинному організмі, клітини

листіків якого насичені хлоропластами, каротинами та ксантофілами, створюються умови, необхідні для гомеостазу його клітин та органів, в результаті яких і відбувається таємниця фотосинтезу.

Основними показниками фотосинтетичної активності рослин виступають інтенсивність фотосинтезу та продуктивність цього процесу.

Під поняттям інтенсивність фотосинтезу(ІФ) розуміють кількість CO_2 в міліграмах, що поглинається одиницею площі поверхні листків за одиницю часу. Інтенсивність фотосинтезу формується як реакція рослини на контакт із факторами довкілля і залежить від геному і біологічних особливостей рослини, інтенсивності світла, температури і вологості ґрунту та повітря, поживних речовин, що надходять до листків із ґрунту у вигляді доступних форм катіонів та аніонів макро-, мікро- та ультрамікроелементів, забур'яненості посівів та ступеня ураження їх хворобами.

Під поняттям продуктивність фотосинтезу (ПФ) розуміють вагову кількість органічної речовини, що утворюється одиницею площі поверхні листків за одиницю часу. Інтенсивність фотосинтезу і продуктивність фотосинтезу – це дві основні складові багатогранного та залежного від умов середовища процесу утворення органічних речовин з неорганічних.

Об'єктом досліджень даної публікації виступає культурна рослина *Beta vulgaris var. alba D. C.* або цукрові буряки та технологія їх вирощування.

Предмет досліджень – інтенсивність та продуктивність фотосинтезу як показники фотосинтетичної активності цукрових буряків та умови формування цих показників у агроценозах.

Мета досліджень полягала в аналізі параметрів формування основних чинників, що впливають на фотосинтетичну активність і продуктивність цукрових буряків та виявленні можливості їх регулювання для забезпечення максимального виходу господарсько-цінної продукції.

Огляд попередніх досліджень. Для розуміння суті біосинтетичних процесів, зокрема, процесу фотосинтезу, зауважимо, що всі фізіологічно активні речовини рослин, включаючи ферменти або біологічні каталізатори, фітогормони, вітаміни, фітонциди та інші сполуки, що синтезуються рослиною – це продукти реалізації її генетичної програми, закладеної в ДНК хромосом. Кожна насінина є

мініатюрною рослиною, продуктом статевого процесу, в якій у зачатковому стані, в її зародку та ендоспермі є всі речовини, необхідні для старту процесів росту і розвитку за певних умов середовища і на відповідному субстраті, зокрема, і для такої специфічної функції як фотосинтез.

У природі фактори середовища завжди діють у певному співвідношенні, взаємно доповнюючи один одного. Тому будь-яку реакцію рослин слід розглядати як інтегральну відповідь організму на дію того чи іншого фактора з метою забезпечення гомеостазу шляхом зміни певних функцій [5].

Аналіз одержаних результатів. Із комплексу факторів, від яких залежить фотосинтез, найважливішим є *світло* [8]. Показником ефективності використання сонячної енергії є коефіцієнт корисної дії.

Під коефіцієнтом корисної дії розуміють відношення кількості енергії, яка запасається в продуктах фотосинтезу або фітомасі врожаю, до кількості використаної сонячної радіації [6].

Листки поглинають до 85% енергії фотосинтетично активних променів з довжиною хвиль 400–700 нм і до 25% енергії інфрачервоних променів, що становить близько 55% енергії сонячної радіації. Водночас на фотосинтез витрачається фотосинтетично-активної радіації лише 1,5–2,0%. Червоні промені найефективніші для фотосинтезу. Пояснюється це тим, що енергії кванта червоного світла (176 кДж/моль) цілком достатньо для фотозбудження молекули хлорофілу та переведення її на перший синглетний рівень, із якого й розпочинаються фотохімічні реакції. Зелена рослина має значну амплітуду пристосувань до зміни освітлення [4].

Узагальнену світлову криву фотосинтезу показано на рис. 1, де інтенсивність процесу розглядається як функція, залежна від інтенсивності світла [3, С. 235].

Освітленість, за якої процеси фотосинтезу і дихання зрівноважуються, називають *компенсаційною точкою* 2 (рис. 1). У цукрових буряків величина світлової компенсаційної точки становить від 3 до 5% від повного насичення [4].

Початковий та середній ступені, які виражені лінійною частиною кривої, не залежать від темнових реакцій. Однак, зі зростанням інтенсивності світла спостерігається перегин світлової кривої і навіть вихід її на плато [3, С. 235].

Інтенсивність світла, за якої зростання фотосинтезу

компенсується темновим диханням, має особливо важливе значення для продуктивності фотосинтезу.

Цукрові буряки мають підвищені вимоги до інтенсивності світла. Сонячна погода при достатній вологості ґрунту сприяє нагромадженню цукру [7].

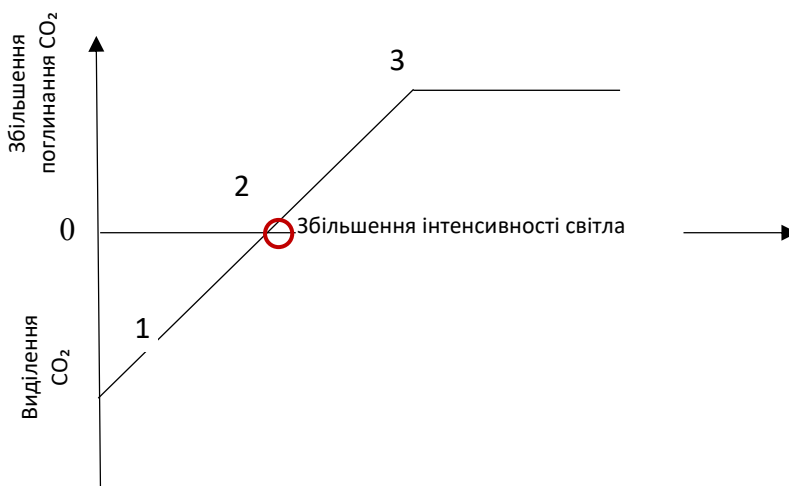


Рис. 1. Світлова крива фотосинтезу: 1 – темнове дихання; 2 – компенсаційна точка; 3 – світлове насичення фотосинтезу

Урожай цукрових буряків великою мірою залежить від густоти посівів, яка здатна забезпечити площу листків на одному гектарі посівів близько 40 тис. м². Багаторічними дослідami і широкою виробничою практикою доведено, що оптимальною густотою насадження цукрових буряків на час збирання врожаю в районах достатнього зволоження є 100–110 тис., а в районах нестійкого зволоження – 90–95 тис. рослин на гектар. Для забезпечення такої густоти треба, щоб на кожному метрі довжини рядка при стандартній ширині міжрядь (45 см) в першій зоні було в середньому по 5 рослин, а в другій – по 4–5 рослин [2, С. 88–90]. У районах недостатнього зволоження густоту насадження рекомендується зменшувати до 80–85 тис. рослин на гектар. При більшій густоті насадження рослини терплять від нестачі вологи, передчасно втрачають фотосинтезуючі органи (в липні та серпні), що призводить до різкого зниження врожаю і цукристості коренеплодів [7].

Найважливішим фактором, який визначає інтенсивність процесу фотосинтезу, є *донорно-акцепторні відносини* в рослині, в яких донором виступає листок як виробник фотоасимілянтів, а акцептором – різноманітні, опосередковано задіяні у фотосинтезі, клітини та органи рослин, що сприяють пересуванню (відведенню), використанню на процеси дихання та накопичення синтезованих органічних речовин [3, С. 241]. Інтенсивність фотосинтезу зростає зі збільшенням вмісту хлорофілу в листках. Однак прямої залежності між цими двома показниками немає. За даними В. М. Любименка (1937), зі збільшенням вмісту хлорофілу асиміляційне число (кількість CO_2 в міліграмах, яка засвоюється одиницею вмісту хлорофілу за одиницю часу) знижується. Так, від збільшення вмісту хлорофілу в 20 разів інтенсивність фотосинтезу зростає лише вдвоє, відповідно асиміляційне число зменшується в 10 разів. Незалежно від виду та віку рослин оптимальним для фотосинтезу вважається вміст хлорофілу *a* від 3,1 до 5,7 мг/дм². У процесі старіння листків інтенсивність фотосинтезу знижується [4]. Денний перебіг фотосинтезу також неоднаковий. Розпочинається він вранці, досягає максимуму пополудні, поступово знижується надвечір і припиняється із заходом Сонця. За підвищеної температури і зниження вологості найвища інтенсивність фотосинтезу зсувається на вранішні (дообідні) години. В таких випадках опівдні фотосинтез різко знижується (явище пополудневої депресії) [4].

Вплив температури на фотосинтез залежить від інтенсивності освітлення. При низькій освітленості фотосинтез практично не залежить від температури, його інтенсивність однакова як за 15° С, так і за 25° С. Пояснюється це тим, що в разі незначного освітлення інтенсивність фотосинтезу лімітується швидкістю протікання світлових реакцій, тоді як за високого рівня освітленості цей показник залежить від швидкості темнових реакцій [7].

Майже для всіх рослин найсприятливішою для фотосинтезу є температура від 10 до 35° С, хоча досить часто пригнічення цього процесу спостерігається вже після 30–35° С (рис. 2).

Інтенсивність фотосинтезу тим вища, чим менший температурний градієнт між рослиною і довкіллям та чим більший між верхньою і нижньою частинами листової пластинки. Серед процесів фотосинтезу фіксація і відновлення CO_2 значно більше залежать від температури, ніж від транспортування електронів по електрон-

транспортному ланцюгу. Найчутливіші до температури реакції карбоксилювання, синтезу кінцевих продуктів відновлення CO_2 – крохмалю та сахарози, а також транспортування фотоасимілянтів до інших органів, які не фотосинтезують [3, С. 237].

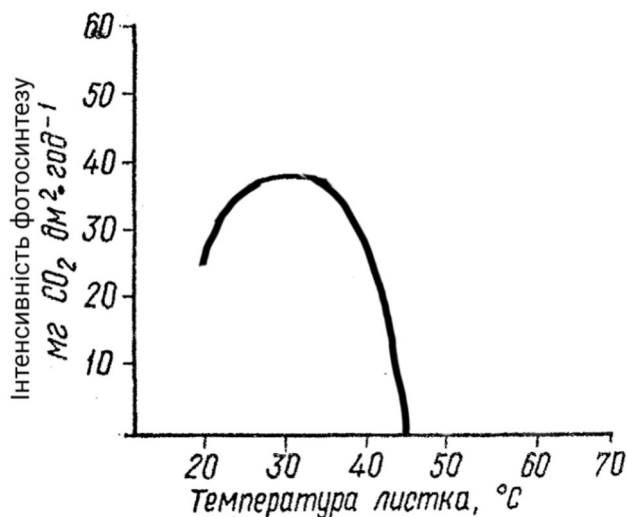


Рис. 2. Вплив температури на інтенсивність фотосинтезу цукрових буряків [4]

Поряд із прямим впливом на інтенсивність фотосинтезу, температура, як фактор середовища опосередковано впливає й на інші фізіологічні функції рослинного організму, тісно пов'язані з фотосинтетичним процесом.

Мінімальна температура ґрунту для проростання насіння цукрових буряків 3–4° С. При 10–12° С насіння буряків проростає досить дружно. Оптимальна температура для проростання насіння і росту буряків 20–25° С. При дальшому підвищенні температури рослини дещо пригнічуються, особливо якщо не вистачає вологи. При цьому листки в'януть, втрачають хлорофіл і ріст коренів припиняється [5].

Сходи буряків переносять заморозки -4–5° С. У міру зміцнення рослин, холодостійкість їх підвищується і при з'явленні першої пари справжніх листочків буряки витримують заморозки до -8° С. Досить добре переносять буряки й осінні приморозки, що дає можливість продовжувати збирання врожаю в основних районах бурякосіяння до 20–30 жовтня [5].

Для забезпечення процесу фотосинтезу використовується вуглекислий газ атмосферного повітря (вміст CO_2 в повітрі 0,03%), хоча є дані, що CO_2 , частково надходить в рослину і крізь кореневу систему із ґрунту [5].

Одним із факторів, що знижує фотосинтез, є нестача CO_2 , в повітрі, забезпечення рослин яким у природі залежить від структури листка, щільності рослинного покриву, переміщення повітря. На використання CO_2 впливає опір певних ділянок фотосинтетичного апарату на шляху дифузії повітря до ділянок фіксації CO_2 .

Дослідження Оканенка О.С. (1969 р.) підтверджують, що навіть десятикратне збільшення концентрації CO_2 в атмосфері спричинює зростання інтенсивності фотосинтезу. Насичення відбувається за концентрації 0,2–0,3%. За збільшення вмісту вуглекислого газу інтенсивність фотосинтезу спочатку зростає, набуває стаціонарного значення, а потім настає його депресія. Високі концентрації CO_2 особливо несприятливі за високої освітленості (рис. 3) [5].

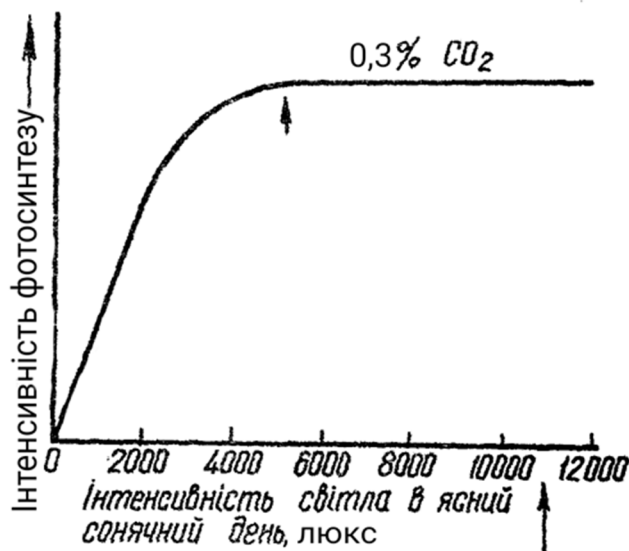


Рис. 3. Вплив концентрації CO_2 на інтенсивність фотосинтезу цукрових буряків

У денні години вміст CO_2 в повітрі навколо рослин зменшується. Це відбувається попри те, що запаси CO_2 поповнюються за рахунок циркуляції атмосферного повітря та виділення CO_2 рослинами під час дихання [3, С. 238].

Вміст водяних парів у атмосферному повітрі складає близько 2%. Вода бере участь у фотосинтезі як субстрат окиснення і як джерело кисню. Однак кількість води, необхідна для фотосинтезу, є мізерною порівняно із загальним її вмістом, необхідним для підтримання фотосинтезуючих клітин у тургорному стані. Водночас за повного насичення водою клітин листка фотосинтез дещо знижується, як і під час водного дефіциту [4; 5].

Властивий рослині компроміс між необхідністю підтримувати високу швидкість надходження вуглецю та лімітуванням втрати води крізь продихи безпосередньо зумовлений водним режимом, тобто доступністю води для організму. Водний режим пов'язаний з фотосинтезом насамперед через активність продихового апарату. Максимальний фотосинтез спостерігається за незначного водного дефіциту (5–20% від повного насичення водою при відкритих продихах) [1; 7].

Дефіцит води впливає насамперед на темнову стадію, зокрема на регенерацію первинного акцептора CO₂, в циклі Кальвіна, тоді як електронне транспортування менш чутливе до зневоднення. Вважається, що посуха діє неспецифічно – шляхом гальмування діяльності всіх розчинних пластидних і цитоплазматичних ферментів [1; 8].

Якщо рослина тривалий час перебуває в умовах посухи, тоді її фотосинтетична продуктивність змінюється в цілому, зокрема внаслідок зменшення площі фотосинтетичної поверхні листків. Істотні втрати води зрештою спричиняють ультраструктурні зміни хлоропластів. За тривалого і значного дефіциту вологи процес фотосинтезу не відновлюється навіть за наступного оптимального зволоження [3, С. 240].

Одним із основних антропогенних факторів оптимізації умов життєдіяльності рослин в агроценозах *Beta vulgaris*, що використовуються для одержання їх максимальної продуктивності, є регулювання рівня мінерального живлення. Вплив останнього проявляється не лише через інтенсифікацію роботи фотосинтетичного апарату, а й за рахунок швидкості ростових процесів, від яких залежить площа листової поверхні та густина продуктивного стеблостою. Елементи мінерального живлення необхідні для формування фотосинтетичного апарату, біосинтезу пігментів, як

складові компоненти електрон-транспортного ланцюга, каталітичних систем хлоропластів [3, С. 240].

Висока потреба цукрових буряків у елементах мінерального живлення для забезпечення фотосинтетичних процесів обумовлена фізіологічною роллю і значенням цих елементів у формуванні біомаси та господарсько-цінної продукції, зокрема, без азоту не утворюються амінокислоти та білки, що унеможлиблює ростові процеси взагалі. Фосфорна кислота необхідна для утворення носіїв спадкової інформації – ДНК та РНК, без яких не відбуваються процеси мітозу і мейозу та забезпечення процесів фотосинтетичного фосфорилювання. Калій активізує ферменти, що відповідають за пересування речовин по рослині. Кальцій та магній стабілізують структуру цитоплазми клітини. Магній входить до складу кожної молекули хлорофілу. Сірка є складовою частиною амінокислот метіонін та цистеїн. Мікроелементи – бор, молібден, цинк та мідь служать простетичними групами ферментів.

Для формування високого врожаю цукрові буряки потребують багато поживних речовин, особливо азоту, фосфору і калію. Дослідженнями встановлено, що на кожні 100 центнерів врожаю цукрові буряки при вирощуванні їх на чорноземах у районах достатнього зволоження виносять з ґрунту азоту 50–60 кг/гектар, фосфору 15–20 і калію – 55–75 кг/гектар [7].

Удобрення посівів цукрових буряків розраховують балансовим методом при якому беруть до уваги:

- плановий рівень урожайності;
- наявність у ґрунті рухомих форм основних елементів мінерального живлення, зокрема азоту, фосфору, калію, показник кислотності ґрунту;
- внесення органічних добрив;
- коефіцієнти використання поживних речовин із ґрунту; органічних та мінеральних добрив.

Вносячи органічні добрива під цукрові буряки, слід пам'ятати, що органіка не тільки збагачує ґрунт поживою та активізує його мікрофлору. Внесення 50–75 т/гектар гною ВРХ разом із повним мінеральним добривом забезпечує зростання концентрації CO_2 в приземному шарі повітря протягом вегетаційного періоду культури до 0,2–0,3% або 7–10 разів, створюючи ефект насичення для максимальної інтенсивності фотосинтезу.

Виробничі дослідження, проведені в дослідному господарстві «Тучинське» Гощанського району Рівненської області протягом 1990–2010 років, показали зростання продуктивності культури, зокрема врожайності коренеплодів цукрових буряків, від такої системи удобрення на 100–130% порівняно із системою удобрення без органічних добрив.

Істотна роль в активізації інтенсивності та продуктивності фотосинтезу, підтримання на належному рівні фотосинтетичного апарату цукрових буряків належить застосуванню на посівах стимуляторів росту як добре вивчених, так і таких, що пройшли виробничу перевірку – емістим-С та його модифікацій з мікро- та макро- елементами, бетастимуліну, так і нових – sweetlips®; Еквілібрум, Р; Ерайз, Р; Келпак, РК; Цитокін, Р; Антонік плюс, в.р.; Полісульфід Na; Моно Бор та їх поєднань в бакових сумішах, що застосовуються в наукових та виробничих дослідженнях останніх років [9, С. 77–78]. Тісний зв'язок фотосинтетичного процесу та доступності окремих мінеральних елементів підтверджує кореляцію між кореневим та повітряним живленням рослин [7; 8].

Результативність фотосинтетичних процесів цукрових буряків значною мірою залежить від запасу вологи на час проведення сівби і кількості опадів в період вегетації, зокрема за липень та серпень [7].

Говорячи про інтенсифікацію фотосинтетичних процесів у агроценозах *Beta vulgaris* var. *alba*, неможливо упустити фактор потенційної забур'яненості посівів, бо бур'яни – вороги і конкуренти культурних рослин. Як більш пристосовані до використання факторів середовища, вони відбирають у культурних рослин воду і мінеральні речовини, перехоплюють світло та затінюють їх, спричиняючи послаблення фотосинтетичних процесів та накопичення біомаси. Для зняття впливу на цукрові буряки фактора забур'яненості в технології буряківництва обов'язково мають передбачатись заходи боротьби з бур'янами як агротехнічними, так і хімічними методами.

Шкідники і хвороби також негативно впливають на хід фотосинтетичних процесів та формування цукровими буряками господарсько-цінної продукції. Для недопущення такого впливу посіви, за потреби, повинні оброблятися інсектицидами та фунгіцидами.

В якості післямови про показники фотосинтетичної активності *Beta vulgaris* var. *alba*, зауважимо, що цукрові буряки – культура

величезних можливостей. За умови використання кращих сортів і гібридів, створення оптимальних умов, відповідно до її біологічних особливостей, дотримання кращих агротехнічних строків основних технологічних операцій, законів рівнозначності та незамінності факторів життя рослин, вчення про сівозміну, оптимізації густоти посівів, науково-обґрунтованих систем обробітку ґрунту, застосування органічних та мінеральних добрив, захисту посівів від бур'янів, хвороб та шкідників і інших вимог, що входять до когорти агрономічних канонів, ця культура здатна забезпечити вихід господарсько-цінної продукції коренеплодів 400–700 центнерів з гектара, поживного зеленого корму гички – 200–350 центнерів. При цьому збір цукру може становити з 1 га від 56 до 98 центнерів, що цілком реально для господарств високої культури землеробства.

Висновки:

1. Інтенсивність фотосинтезу та продуктивність фотосинтезу, як показники фотосинтетичної активності рослин, мають пряму залежність – із зростанням інтенсивності фотосинтезу зростає і продуктивність цього процесу, яка проявляється у накопиченні рослинами органічної речовини або господарсько-цінної продукції.

2. Із факторів середовища, які найбільше впливають на фотосинтетичну активність цукрових буряків та піддаються регулюванню, основна роль належить світлу, воді та поживним речовинам, їх співвідношенню в процесі вирощування культури. Забезпеченість рослин світлом регулюють оптимізацією густоти посівів та недопущенням їх забур'яненості. Відносну вологість ґрунту оптимізують прийомами основного, передпосівного та міжрядного обробітку. Належний поживний режим ґрунту забезпечують чітким впровадженням науково-обґрунтованої системи удобрення культури.

3. Регулюючи, за можливості, фактори життя та створюючи рослинам оптимальні умови для росту і розвитку, добиваються максимальної реалізації культурою *Beta vulgaris var. alba* показників фотосинтетичної активності.

1. Злобін Ю. А. Курс фізіології і біохімії рослин. Суми : Університетська книга, 2004. 421 с. 2. Карпук А. М. Фотосинтетична продуктивність цукрових буряків залежно від агротехнологічних прийомів вирощування. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 21. С. 84–92. 3. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин. К. : Фітосоціоцентр, 2005. 759 с. 4. Мусієнко М. М. Фотосинтез. К. : Вища шк., 1995. 247 с. 5. Оканенко А. С.

Шляхи підвищення інтенсивності та продуктивності фотосинтезу. К. : Наук. Думка, 1969. **6.** Фотосинтез і біопродуктивність. Методи визначення / за ред. Мокроносова А. Т., Коваленка А. Г. Агропромвидав., 1989. **7.** Сінченко В. М. Управління формуванням продуктивності цукрових буряків : монографія. К. : Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, ТОВ «Нілан-ЛТД», 2012. 582 с. **8.** Тімірязєв К. А. Життя рослин. Десять загальнодоступних лекцій. Сільгоспвидав, 1953. 214 с. **9.** Шамсутдінова А. В. Фотосинтетичні параметри посівів цукрових буряків залежно від позакореневого підживлення мікродобривами. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, Сер. Агробіологія*. 2016. № 2. С. 76–80.

REFERENCES:

1. Zlobin Yu. A. Kurs fiziologii i biokhimii roslyn. Sumy : Universytetska knyha, 2004. 421 s.
 2. Karpuk A. M. Fotosyntetychna produktyvnist tsukrovykh buriakiv zalezno vid ahrotekhnologichnykh pryimiv vyroshchuvannia. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv*. 2014. Vyp. 21. S. 84–92.
 3. Musiienko M. M. Fiziologhiia roslyn. K. : Fitosotsiotsentr, 2005. 759 s.
 4. Musiienko M. M. Fotosyntezy. K. : Vyshcha shk., 1995. 247 s.
 5. Okanenko A. S. Shliakhy pidvyshchennia intensyvnosti ta produktyvnosti fotosyntezy. K. : Nauk. Dumka, 1969.
 6. Fotosyntezy i bioproduktyvnist. Metody vyznachennia / za red. Mokronosova A. T., Kovalenka A. H. Ahropromvydav., 1989.
 7. Sinchenko V. M. Upravlinnia formuvanniam produktyvnosti tsukrovykh buriakiv : monohrafiia. K. : Instytut bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv NAAN Ukrainy, TOV «Nilan-LTD», 2012. 582 s.
 8. Timiriaziev K. A. Zhyttia roslyn. Desiat zahalnodostupnykh lektsii. Silhospvydav, 1953. 214 s.
 9. Shamsutdinova A. V. Fotosyntetychni parametry posiviv tsukrovykh buriakiv zalezno vid pozakorenevoho pidzhyvlennia mikrodobryvamy. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv, Ser. Ahrobiologhiia*. 2016. № 2. S. 76–80.
-

Demchuk V. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Tolochyk I. L., Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Rivne State University for the Humanities, Rivne)

PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY INDICATORS AND PARAMETERS OF THEIR FORMATION IN AGROCENOSES *Beta vulgaris* var. *alba* D. C.

The article is devoted to the physiological and methodological aspects of the development of the theory of the intensity and productivity of plant photosynthesis in agrophytocenoses. The dependence of the intensity and productivity of sugar beet photosynthesis on environmental factors – the intensity and spectral composition of light, the concentration of CO₂ in the air, air temperature and its fluctuations, the provision of plants with water, mineral nutrients, and agrotechnical methods of crop care is analyzed.

It has been established that the most important factor determining the intensity of the photosynthesis process in sugar beets is the donor-acceptor relationship in the plant, in which the leaf acts as the donor, as a producer of photoassimilants, and the acceptor is a variety of plant cells, tissues and organs indirectly involved in photosynthesis, which contribute to the movement, removal, use for respiration processes and accumulation of synthesized organic substances.

The ability of sugar beets to photosynthesis is realized due to the joint action of environmental factors: light, water, heat, nutrients in the form of available forms of cations and anions from among macro-, micro- and ultramicroelements, CO₂ air, when the plant, as a unique living organism, creates the conditions necessary for the homeostasis of its chlorenchyma cells.

Intensity and productivity of photosynthesis. as indicators of photosynthetic activity of sugar beets have a direct relationship – with increasing intensity of photosynthesis, the productivity of this process also increases, which is manifested in the accumulation of economically valuable products by plants.

The intensity of photosynthesis of sugar beets increases with increasing chlorophyll content in leaves. The optimal content of chlorophyll a for photosynthesis is considered to be from 3.1 to 5.7 mg/dm². In the process of leaf aging, the intensity of photosynthesis decreases. At elevated temperatures and reduced humidity, the greatest intensity of photosynthesis shifts to the morning hours. In such

cases, photosynthesis decreases sharply at noon.

An increase in the concentration of CO₂ in the air causes an increase in the intensity of photosynthesis. Saturation occurs at a concentration of 0.2–0.3%. A good stimulus for increasing the concentration of CO₂ in the surface layer of air is the application of organic fertilizers at the rate of 50–75 t/ha under the sugar beet crop.

To ensure the intensity of photosynthesis, sugar beets use a wide range of light wavelengths, because for this crop the value of the light compensation point, at which the processes of respiration and photosynthesis are balanced, is only 3–5% of full saturation.

The light intensity on a clear summer day in the Forest-Steppe zone can reach 10 thousand or more lux, but for the maximum intensity of photosynthesis of sugar beets, 5000 is enough.

To improve the use of photosynthetic-active radiation by Beta vulgaris var. alba plants and ensure the maximum yield of economically valuable crop products, the crop density during the growing season in the zone of sufficient moisture should be within 100–110 thousand plants per hectare, and in areas of unstable moisture – 90–95 thousand. In addition, the protection system should ensure a low level of weed infestation of crops and minimize their disease damage.

An important condition for stimulating the growth processes of sugar beets, increasing the intensity of photosynthesis and plant productivity is the introduction of scientifically based systems of application of organic and mineral fertilizers and soil cultivation into the culture technology.

Sunny weather with an air temperature of 18–30° C at a relative soil humidity of 70–75% of the full field moisture capacity – the best for Beta vulgaris var. alba, maximally contributes to the increase in the intensity of photosynthesis and the accumulation of sugar in root crops.

Keywords: sugar beets; light, intensity of photosynthesis; productivity of photosynthesis; environmental factors; water; CO₂; nutrients.

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор, Варжель О. В., доктор філософії, старший викладач, Рабешко Я. І., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, m.o.klimenko@nuwm.edu.ua, o.v.varzhel@nuwm.edu.ua, ya.i.rabeshko@nuwm.edu.ua)

ОЦІНКА АГРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ОРНИХ ЗЕМЕЛЬ БАСЕЙНУ РІЧКИ УСТЯ

У статті викладено матеріали досліджень агроекологічного стану орних земель басейну р. Устя. Розрахунок індексів агроекологічного стану орних земель здійснювали за середньоарифметичним з трьох агрегованих показників, а саме: екологічної стійкості, рівня родючості, санітарно-гігієнічного стану. Кількісну і якісну оцінку стану агрегованих та інтегрованого показників орних земель здійснювали за шкалою придатності їх для створення на них спеціальних сировинних зон: 1,0–0,8 – придатні; 0,8–0,4 – обмежено придатні; 0,4–0 – непридатні.

За агрегованими показниками екологічна стійкість орних земель басейну оцінюються: Острозький район – обмежено придатний, два райони – непридатні.

За агрегованим показником рівня родючості орні землі басейну оцінюються в трьох районах як обмежено придатні.

За агрегованим показником санітарно-гігієнічного стану орні землі басейну оцінюються: в Острозькому, Здолбунівському, Рівненському районах як обмежено придатні.

За інтегрованим показником агроекологічного стану орні землі басейну оцінюються в трьох районах як обмежено придатні.

Незадовільний агроекологічний стан орних земель формується у басейні за умов непідтримання виробниками позитивного балансу гумусу, використання п'ятипільних сівозмін без вирощування багаторічних трав, підтримання в ґрунтах низького рівня калію, цинку та марганцю.

Ключові слова: базові; агреговані; інтегровані показники; екологічна стійкість; рівень родючості; санітарно-гігієнічний стан; агроекологічний стан.

Постановка проблеми. Відомо, що при переході агропромислового комплексу України на ринкові засади господарювання надважливими завданнями, які потребують вирішення, є: отримання високих врожаїв та екобезпечної продукції сільськогосподарських культур; збереження рівнів родючості орних земель.

Вирішення цих завдань можливе лише за умов підтриманням на орних землях науково обґрунтованих сівозмін, внесення оптимальних норм органічних і мінеральних добрив, дотримання досконалих технологій вирощування сільськогосподарських культур тощо.

За даними балансових досліджень в орних землях Рівненської області було встановлено, що до 1993 року баланс гумусу і макроелементів у землеробстві, коли в орні землі вносились 16,2 т/га органічних добрив, 90 кг/га д. р. азотних; 48 кг/га д. р. фосфорних; 86 кг/га д. р. калійних, був позитивним. У наступні роки, з 1993 до 2020 року, баланс гумусу стає від'ємним [1]. Внаслідок цього в останні десятиріччя орні землі втрачають родючість від проявів деградаційних процесів, а саме: дегуміфікація, зниження або розбалансування вмісту макроелементів; фізична деградація; розвиток ерозійних процесів, що спричинило погіршення їх агроекологічного стану.

У зв'язку з цим виникає потреба у проведенні досліджень методичних підходів до кількісної і якісної оцінки змін в часі стану орних земель за агроекологічними показниками.

Аналіз останніх досліджень. За даними досліджень науковців найчастіше оцінку стану орних земель України проводять за результатами суцільного ґрунтового агрохімічного моніторингу [2–5]. На підставі результатів цих досліджень автори рекомендували здійснювати паспортизацію земель сільськогосподарського призначення, полів, земельних ділянок.

Водночас проводились дослідження оцінки агроекологічного стану ґрунтового покриву зони Полісся, який зазнав забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС [6], стану напівгідроморфних ґрунтів поліських районів та управління їх родючістю [7], земель Чернігівської [8], Київської областей [9] із застосуванням комплексної оцінки агроекологічного стану ґрунтів як основи обґрунтування рекомендацій для їх збалансованого використання.

Особливої уваги заслуговують результати досліджень, присвячені розробці методик комплексної агроекологічної оцінки орних земель за інтегрованим показником їх стану з придатних,

обмежено придатних, непридатних для створення на їх основі спеціальних сировинних зон і забезпечення отримання сільськогосподарської продукції, придатної для дієтичного харчування [10; 12].

Незважаючи на цю інформацію, маловивченими залишаються питання оцінки агроекологічного стану орних земель басейнів річок.

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень полягає у проведенні оцінки агроекологічного стану орних земель басейну річки Устя.

Досягнення мети передбачало вивчення наступних завдань:

- кореляційний і регресійний аналіз балансу гумусу районів;
- проведення комплексної оцінки агроекологічного стану орних земель басейнів річок;
- аналіз агроекологічного стану орних земель басейнів річок.

Об'єкт дослідження. Процеси змін агроекологічного стану орних земель басейну річки Устя.

Предмет дослідження: ґрунти орних земель, показники, які характеризують їх властивості.

Методи та методики досліджень. Лабораторні аналізи проводили за такими методиками: вміст гумусу – за Тюріним (ДСТУ 4289-2004); лужногідролізованого азоту – за Корнфілдом (ДСТУ 4729-2007); рухомого фосфору і обмінного калію в ґрунті – за Кірсановим та Мачигінім (ДСТУ 4405-2005 та ДСТУ 4114-2002); рН – потенціометрично (ГОСТ 26485-85); гідролітичну кислотність – за Каппеном (ГОСТ 26212-84); суму ввібраних основ – шляхом витіснення з ґрунту 0,1Н розчином НС1 з подальшим титруванням 0,1Н розчином NaOH (ГОСТ 26428-85); вміст обмінного кальцію і магнію – комплексометрично (ГОСТ 26490-85); вміст рухомої міді, марганцю та цинку – атомно-абсорбційним методом (ОСТ 10144-88, ОСТ 10145-88 та ОСТ 10147-88); кобальт (ОСТ 10146-88); визначення важких металів (свинцю, кадмію, цинку, міді) в ґрунтах – атомно-абсорбційним методом.

Для характеристики та оцінки впливу систем землеробства на баланс гумусу в орних землях Рівненської області аналізувалися дані турів агрохімічних обстежень філії Інституту охорони ґрунтів України за період 1976–2024 роки.

Переведення базових показників турів агрохімічних обстежень ґрунтів басейну річки Устя до нормованого виду проводили за формулами:

$$X_1 = \frac{Ni - N(\min)}{N(\max) - N(\min)} \quad \text{– для показників стимуляторів;}$$
$$X_2 = \frac{N(\min) - Ni}{N(\max) - N(\min)} \quad \text{– для показників дестимуляторів.}$$

При цьому за $N(\max)$ стимулятори та $N(\min)$ дестимулятори брали нормативи, встановлені О. І. Фурдичко, Н. А. Макаренко [12]. Агрегування показників на всіх рівнях проводили з використанням середньоарифметичного.

Результати дослідження. Ґрунтовий покрив території басейну р. Устя більш-менш однорідний і характеризується незначною строкатістю за генезисом, мінералогічним, гранулометричним складом, фізичними, водними хімічними, мікробіологічними властивостями, окисно-відновлювальними і гідротермічними режимами. Ґрунтовий покрив басейну р. Устя сформувався переважно на лесовидних суглинках і лісах і представлені в основному сірими лісовими та чорноземами малогумусними типами зі слідами опідзолення, а у заплавах річки – торфово-болотними ґрунтами.

Чорноземні опідзолені і слабодеградовані ґрунти Острозького р-ну (с. Оженин) $He + H_{pr} + Phi + Pk$ характеризуються низьким вмістом гумусу 3 %, значними запасами легкогідролізованого азоту 137 мг/кг, високим вмістом рухомого фосфору 356 мг/кг та значним вмістом обмінного калію – 142 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину 6,8.

Світло-сірі опідзолені ґрунти Здолбунівського р-ну (с. Орестів) $He + E_h + I + (h) + I_2 + Pk$ характеризуються високим вмістом гумусу (2,4 %), середнім вмістом азоту, що легко гідролізується (115 мг/кг), високим вмістом рухомого фосфору 180 мг/кг, низьким обміном калію 65 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину 5,8.

Темно-сірі опідзолені лісові ґрунти Рівненського р-ну (с. Забороль, Рисв'янка, Котів) $He + He + H_I + I + P_I + Pk$ характеризуються вмістом гумусу 2,3%, 2,1%, 2,2%, азоту, що легко гідролізується – 89, 106, 89 мг/кг, обмінного калію 71, 91, 147 мг/кг відповідно. Реакція ґрунтового покриву коливалась в межах від 5,7 до 6,8.

Низький вміст гумусу у чорноземних і сірих лісових ґрунтах і розбалансований вміст макроелементів при слабокислій реакції ґрунтового розчину не сприяють формуванню високої ефективної родючості цих типів ґрунтів у басейні р. Устя.

Основною причиною низького вмісту гумусу у сірих лісових і чорноземних ґрунтах, як свідчить аналіз динаміки внесення органічних добрив в орні землі області, є різке скорочення норм використання гною, що обумовило після 1999 р. формування в цих ґрунтах від'ємного балансу гумусу (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка балансу гумусу в ґрунтах басейну р. Устя

Назва району	Баланс гумусу, т/га рік								
	1976– 1980	1981– 1985	1986– 1990	1991– 1995	1996– 2000	2001– 2005	2006– 2010	2011– 2015	2016– 2020
Острозький	-0,48	-0,28	0,17	0,02	-0,68	-0,62	-0,66	-0,65	-0,66
Здолбунівський	-0,48	-0,36	0,20	-0,11	-0,63	-0,51	-0,73	-0,70	-0,71
Рівненський	-0,26	-0,17	0,45	-0,04	-0,57	-0,54	-0,65	-0,64	-0,64
Зона Лісостепу	-0,36	-0,20	0,21	-0,08	-0,63	-0,63	-0,68	-0,66	-0,65

У період з 1971–1975 рр. по 1986–1990 рр. обсяг внесення органічних добрив зростав із 9,6 до 16,2 т/га, що при використанні восьми та десятипільних сівозмін забезпечувало формування у сірих лісових і чорноземних ґрунтах позитивного балансу гумусу: 0,17–0,45 т/га.

У наступний період, із 1986–1990 рр. до 2001–2005 рр. обсяг внесення органічних добрив суттєво знижувався до величин 1,3 т/га, що обумовило формування в орних землях зони Лісостепу від'ємного балансу гумусу: від -0,51 до -0,62 т/га.

У третьому періоді, із 2005 до 2020 рр. внесені 1,2 т/га гною і при переході на використання п'ятипільних сівозмін з приорюванням соломи зернових культур і рослинних решток соняшника, кукурудзи зростання від'ємного балансу сповільнилось, а подекуди стабілізувалось до величин -0,64 і 0,65 т/га.

За умов наявності від'ємного балансу гумусу в орних землях басейну р. Устя нами здійснена оцінка їх агроекологічного стану та встановлення відповідності цих земель вимогам створення на них спеціальних сировинних зон із використанням шкали інтегрованих кількісних і якісних показників, а саме: придатні – $>0,8$; обмежено придатні – від 0,8 до 0,4; непридатні – $>0,4$. Комплексна оцінка екологічної стійкості орних земель басейну р. Устя за базовими показниками вмісту гумусу та показниками рН представлені в табл. 2.

Як видно з табл. 2, на період 2015–2020 років у басейні р. Устя межі коливань агрегованих показників екологічної стійкості орних

земель становили: для Острозького р-ну – 0,71; 0,67; Здолбунівського р-ну – 0,35; 0,17; Рівненського р-ну (Забороль 0,31; 0,45; Рисв'янка 0,38; 0,33; Котів 0,51; 0,32) відповідно.

Таблиця 2

Комплексна оцінка екологічної стійкості орних земель басейну
р. Устя

Назва населеного пункту	Вміст гумусу, %		рН		Агрегований показник к	Вміст гумусу, %		рН		Агрегований показник
	2015 р.					2020 р.				
	Ni	X ₁	Ni	X ₂		Ni	X ₃	Ni	X ₄	
Оженіно	3,0	0,5	6,8	0,92	0,71	3,1	0,55	6,5	0,79	0,67
Орестів	2,4	0,2	5,8	0,5	0,35	2,1	0,05	5,3	0,29	0,17
Забороль	2,3	0,15	5,7	0,46	0,31	2,4	0,2	6,2	0,67	0,45
Рисв'янка	2,1	0,05	6,3	0,71	0,38	2,3	0,15	5,8	0,5	0,33
Котів	2,2	0,1	6,8	0,92	0,51	2,6	0,3	5,4	0,33	0,32

Примітка: для сірих лісових і чорноземів опідзолених за вмістом гумусу Nmax – 4%, Nmin – 2% за показником рН Nmax – 7, Nmin – 4,6; Ni – фактичні значення вмісту гумусу і показника рНксе; X₁, X₂, X₃, X₄ – нормовані показники гумусу і рН.

На період 2015 р. придатними для створення на них спеціальних сировинних зон були орні землі категорії обмежено придатних (с. Оженіно – 0,71 і с. Котів – 0,51, с. Орестів – 0,335, с. Забороль – 0,31, с. Рисв'янка – 0,38) належать до категорії непридатних через низький вміст гумусу.

У 2020 р. за показником екологічної стійкості для орних земель всіх районів, за виключенням с. Забороль, в яких він зріс з показника 0,31 до 0,45, землі перейшли у категорію обмежено придатних.

Комплексна оцінка рівня родючості орних земель басейну р. Устя за базовими показниками вмісту азоту, що легко гідролізується, рухомих форм фосфору, обмінного калію представлені у табл. 3.

Як видно з табл. 3, на період 2015 і 2020 років у басейні р. Устя межі коливань агрегованих показників рівня родючості орних земель становили: для Острозького р-ну – 0,81; 0,60; Здолбунівського р-ну – 0,52; 0,42; Рівненського р-н (с. Забороль – 0,48; 0,49, с. Рисв'янка – 0,58; 0,47, с. Котів – 0,71; 0,65) відповідно.

Установлено, що на період 2015 р. придатними для створення на

них спеціальних сировинних зон були орні землі категорії придатних с. Оженіно – 0,81, категорії обмежено придатних (с. Орестів – 0,52, с. Забороль – 0,48, с. Рисв'янка – 0,58, с. Котів – 0,71) через низький вміст обмінного калію і лужногідролізованого азоту.

У 2020 році показник рівня родючості орних земель басейну р. Устя знизився для всіх досліджуваних районів, а суттєво для Острозького – з 0,81 до 0,60 через зниження вмісту лужногідролізованого азоту й обмінного калію.

Комплексну оцінку санітарно-гігієнічного стану орних земель басейну р. Устя за базовими показниками вмісту мікроелементів, які при нестачі або надлишку в ґрунті знижують величину врожаїв сільськогосподарських культур або якості продукції, представлено у табл. 4.

Як видно з табл. 4, на період 2015–2020 роки у басейні р. Устя межі коливань агрегованих показників санітарно-гігієнічного стану орних земель становили: для Острозького р-ну – 0,68; 0,71; Здолбунівського р-ну – 0,64; 0,62; Рівненського р-ну (с. Забороль – 0,63; 0,82, с. Рисв'янка – 0,69; 0,74, с. Котів – 0,66; 0,64) відповідно для цих років.

Установлено, що на період 2015 року придатними для створення спеціальних сировинних зон були орні землі Острозького, Здолбунівського, Рівненського районів, які відповідали категорії обмежено придатних (0,63–0,69) через низький вміст у ґрунтах цинку та марганцю.

У 2020 році показники санітарно-гігієнічного стану орних земель басейну р. Устя дещо підвищилися для земель Острозького р-ну (до 0,71), Рівненського р-ну (с. Забороль – 0,72, с. Рисв'янка – 0,74) внаслідок зростання забезпеченості ґрунтів сполуками марганцю, а для земель Здолбунівського р-ну (0,62) і с. Котів (0,64) дещо знизився.

Комплексна оцінка рівня родючості орних земель басейну р. Устя, мг/кг

Назва населе- ного пункту	Лужногід- ролізова- ний азот		Рухомий фосфор		Обмінний калій		Агрегований показник	Лужногідро- лізований азот		Рухомий фосфор		Обмінний калій		Агрегований показник
	2015 р.							2020 р.						
	Ni	X ₁	Ni	X ₂	Ni	X ₃		Ni	X ₄	Ni	X ₅	Ni	X ₆	
Оженіно	137	0,58	356	1,0	142	0,84	0,81	115	0,43	281	1,0	91	0,37	0,60
Орестів	115	0,43	180	1,0	65	0,14	0,52	81	0,21	181	1,0	57	0,06	0,42
Забороль	89	0,26	187	1,0	71	0,19	0,48	81	0,21	160	1,0	77	0,25	0,49
Рисв'янка	106	0,37	228	1,0	91	0,37	0,58	84	0,23	199	1,0	69	0,17	0,47
Котів	89	0,26	250	1,0	147	0,88	0,71	81	0,21	224	1,0	132	0,75	0,65

Примітка: Ni – фактичні значення вмісту лужногідролізованого азоту, рухомого фосфору, обмінного калію, мг/кг;

X₁, X₂... X₆ – нормовані показники вмісту макроелементів, од.

За вмістом лужногідролізованого азоту N_{max} – 200 мг/кг, N_{min} – 50 мг/кг, рухомого фосфору та обмінного калію N_{max} – 160 мг/кг, N_{min} – 50 мг/кг

Таблиця 4

Комплексна оцінка санітарно-гігієнічного стану орних земель басейну р. Устя

Назва населеного пункту	Цинк, мг/кг		Марганець, мг/кг		Мідь, мг/кг		Кадмій, мг/кг		Свинець, мг/кг		Агрегований показник	Цинк, мг/кг		Марганець, мг/кг		Мідь, мг/кг		Кадмій, мг/кг		Свинець, мг/кг		Агрегований показник
	2015 р.											2020 р.										
	Ni	X ₁	Ni	X ₂	Ni	X ₃	Ni	X ₄	Ni	X ₅		Ni	X ₆	Ni	X ₇	Ni	X ₈	Ni	X ₉	Ni	X ₁₀	
Оженіно	0,42	0,004	12,6	0,50	0,11	1,0	0,11	1,0	1,31	0,88	0,71	0,40	0	15,0	0,66	0,11	1,0	0,1	1,0	1,21	0,9	0,71
Орестів	0,55	0,0,3	10,1	0,34	0,,1	1,0	0,11	1,0	1,51	0,83	0,35	0,40	0	12,31	0,48	0,14	0,92	0,12	0,9	1,61	0,81	0,62
Забороль	0,69	0,06	11,24	0,41	0,14	0,92	0,12	0,9	1,28	0,88	0,31	0,59	0,04	14,81	0,65	0,11	1,0	0,11	1,0	1,13	0,92	0,72
Рисв'янка	0,7	0,065	12,6	0,50	0,09	1,0	0,1	1,0	1,32	0,88	0,38	0,747	0,08	16,0	0,73	0,1	1,0	0,11	1,0	1,26	0,89	0,74
Котів	0,86	0,1	23,5	1,0	0,16	0,87	0,15	0,56	1,7	0,78	0,51	1,02	0,135	21,0	1,0	0,23	0,69	0,14	0,67	1,96	0,32	0,64

Примітка: Ni – фактичні значення вмісту мікроелементів, мг/кг;

X₁, X₂... X₁₀ – нормовані показники вмісту мікроелементів, од.

За вмістом: цинк N_{max} – 5 мг/кг, N_{min} – 0,4 мг/кг, марганець N_{max} – 20 мг/кг,

N_{min} – 5,1 мг/кг; міді N_{max} – 0,5 мг/кг, N_{min} – 0,11 мг/кг; кадмію N_{max} – 2,0 мг/кг,

N_{min} – 0,11 мг/кг; свинцю N_{max} – 5,0 мг/кг, N_{min} – 0,8 мг/кг

Здійснено комплексну оцінку інтегрованого показника агроекологічного стану орних земель басейну р. Устя, що представлена в табл. 5.

Таблиця 5

Комплексна оцінка інтегрованого показника орних земель агроекологічного басейну р. Устя

Назва населеного пункту	Агреговані показники			Інтегрований показник	Агреговані показники			Інтегрований показник
	Екологічної стійкості	Рівня родючості	Санітарно-гігієнічного стану		Екологічної стійкості	Рівня родючості	Санітарно-гігієнічного стану	
2015 р.			2020 р.					
Оженіно	0,71	0,81	0,68	0,73	0,67	0,60	0,71	0,66
Орестів	0,35	0,52	0,64	0,50	0,17	0,42	0,62	0,40
Забороль	0,31	0,48	0,63	0,47	0,45	0,49	0,72	0,55
Рисв'янка	0,38	0,58	0,69	0,55	0,33	0,47	0,74	0,51
Котів	0,51	0,71	0,66	0,63	0,32	0,65	0,64	0,64

Як видно з табл. 5, на період 2015–2020 років у басейні р. Устя межі коливань інтегрованих показників агроекологічного стану орних земель становили для: Острозького р-ну – 0,73; 0,66; Здолбунівського – 0,50; 0,40; Рівненського (с. Забороль 0,47; 0,55, с. Рисв'янка 0,55; 0,51, с. Котів 0,63; 0,64) відповідно. Установлено, що на період 2015 року орні землі басейну р. Устя за величиною інтегрованого показника агроекологічного стану від 0,47 до 0,73 відповідали категорії обмежено придатних, а на період 2020 року величина показника агроекологічного стану знизилася. Так, на цей період величина інтегрованого показника агроекологічного стану орних земель знизилася для: Острозького р-ну на 0,07 одиниць; Здолбунівського – на 0,1; Рівненського (с. Рисв'янка – 0,04), у с. Забороль зросли на 0,08, в с. Котів – на 0,01. Незважаючи на ці зміни, орні землі басейну за інтегрованими показниками все ще залишалися обмежено придатними для створення на них спеціальних сировинних зон.

При цьому слід зазначити, що зниження інтегрованого

показника агроекологічного стану орних земель басейну у 2020 році відбулося внаслідок погіршення показників екологічної стійкості земель.

Висновки. За агрегованими показниками орні землі басейну оцінюються наступним чином:

- екологічної стійкості: один, Острозький р-н – обмежено придатний, два райони – непридатні;
- рівня родючості: три райони – обмежено придатні;
- санітарно-гігієнічного стану: три райони – обмежено придатні.

За інтегрованим показником агроекологічного стану орні землі басейну в Острозькому, Здолбунівському, Рівненському районах оцінюються як обмежено придатні.

У період використання орних земель орендарями, які використовують п'ятипільні сівозміни і не забезпечують підтримання позитивного балансу гумусу, спостерігається тенденція погіршення агроекологічного стану земель басейну р. Устя.

Для призупинення погіршення агроекологічного стану орних земель басейну рекомендується підтримувати позитивний баланс гумусу за рахунок внесення органічних добрив, пріорювання подрібненої побічної продукції, внесення оптимальних норм калійних добрив для покращення їх рівня родючості і мікроелементів цинку та марганцю для поліпшення санітарно-гігієнічного стану.

1. Клименко М. О., Клименко О. М., Долженчук В. І., Онищук Н. В. Оцінка агроекологічного стану орних земель лісостепової частини Рівненської області. *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2019. Вип. 2(86). С. 3–15. 2. Рижук С. М., Лісовий М. В., Бенцаровський Д. М. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення. Київ, 2003. 64 с. 3. Созінов О. О., Прістер Б. С. Методика суцільного ґрунтового агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України. Київ, 1994. 32 с. 4. Еколого-агрохімічна паспортизація полів та земельних ділянок : керівний нормативний документ / М. В. Козлов, М. А. Лапа, М. Я. Дорошенко та ін. Київ : Аграрна наука, 1996. 140 с. 5. Сірий А. І., Козлов М. В., Ракоїд О. О. Оцінка та паспортизація сільськогосподарських земель з використанням агроекологічного методу. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель / за ред. В. П. Патики, О. Г. Тараріко. Київ : Фітосоціоцентр, 2002. С. 114–118. 6. Клименко Л. В. Оцінка агроекологічного стану ґрунтового покриву Західного Полісся України в контексті стійкого розвитку. *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки* : зб. наук. праць. 2008. Вип. 1(41). С. 9–16. 7. Бобрусь С. В.

Агроекологічний стан напівгідроморфних ґрунтів Полісся та вдосконалення управління їх родючістю і продуктивністю агроценозів : автореф. дис. ... канд. сільгосп. наук. Житомир, 2008. 20 с. **8.** Москальов Є. Л. Комплексна оцінка агроекологічного стану орних земель Чернігівської області та обґрунтування заходів щодо його поліпшення : автореф. дис. ... канд. сільгосп. наук. Київ, 2004. 20 с. **9.** Ракоїд О. О. Методичні підходи до комплексної оцінки агроекологічного стану сільськогосподарських земель на регіональному рівні. *Вісник Степу* : науковий збірник. Кіровоград : Центрально-Українське видавництво, 2005. С. 107–108. **10.** Агроекологічне обґрунтування створення та експлуатація спеціальних сировинних зон / А. В. Вдовиченко, Н. А. Макаренко, О. О. Ракоїд, М. В. Козлов та ін. *Екологія: вчені у вирішенні проблем науки, освіти і практики* : зб. доп. учасн. міжнар. наук-практ. конф. 24–25 травня. 2007 р. Житомир : Вид. «Державний агроекологічний університет», 2007. С. 46–50. **11.** Екологічна оцінка регіону для створення спеціальних сировинних зон / Н. А. Макаренко, А. В. Вдовиченко, О. О. Ракоїд та ін. *Таврійський науковий вісник*. 2008. № 58. С. 313–319. **12.** Методичні рекомендації з надання статусу спеціальної сировинної зони та контролю за їх використанням / за ред. О. І. Фурдичка. К., 2007. 35 с.

REFERENCES:

1. Klymenko M. O., Klymenko O. M., Dolzhenchuk V. I., Onyshchuk N. V. Otsinka ahroekolohichnoho stanu ornykh zemel lisostepovoi chastyny Rivnenskoï oblasti. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2019. Vyp. 2(86). S. 3–15. **2.** Ryzhuk S. M., Lisovyi M. V., Bentsarovskiy D. M. Metodyka ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia. Kyiv, 2003. 64 s. **3.** Sozinov O. O., Prister B. S. Metodyka sutsilnoho gruntovoho ahrokhimichnoho monitorynhu silskohospodarskykh uhid Ukrainy. Kyiv, 1994. 32 s. **4.** Ekoloho-ahrokhimichna pasportyzatsiia poliv ta zemelnykh dilianok : kerivnyi normatyvnyi dokument / M. V. Kozlov, M. A. Lapa, M. Ya. Doroshenko ta in. Kyiv : Ahrarna nauka, 1996. 140 s. **5.** Siryi A. I., Kozlov M. V., Rakoid O. O. Otsinka ta pasportyzatsiia silskohospodarskykh zemel z vykorystanniam ahroekolohichnoho metodu. *Ahroekolohichni monitorynh ta pasportyzatsiia silskohospodarskykh zemel* / za red. V. P. Patyky, O. H. Tarariko. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 2002. S. 114–118. **6.** Klymenko L. V. Otsinka ahroekolohichnoho stanu gruntovoho pokryvu Zakhidnoho Polissia Ukrainy v konteksti stiikoho rozvytku. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky* : zb. nauk. prats. 2008. Vyp. 1(41). S. 9–16. **7.** Bobrus S. V. Ahroekolohichni stan napivhidromorfnykh gruntiv Polissia ta vdoskonalennia upravlinnia yikh rodiuchistiu i produktyvnistiu ahrotsenoziv : avtoref. dys. ... kand. silhosp. nauk. Zhytomyr, 2008. 20 s. **8.** Moskalov Ye. L. Kompleksna otsinka ahroekolohichnoho stanu ornykh zemel Chernihivskoi oblasti ta obgruntuvannia zakhodiv shchodo yoho polipshennia : avtoref. dys. ... kand. silhosp. nauk. Kyiv, 2004. 20 s. **9.** Rakoid O. O.

66

Metodychni pidkhody do kompleksnoi otsinky ahroekolohichnoho stanu silskohospodarskykh zemel na rehionalnomu rivni. *Visnyk Stepu* : naukovyi zbirnyk. Kirovohrad : Tsentralno-Ukrainske vydavnytstvo, 2005. S. 107–108. **10.** Ahroekolohichne obgruntuvannia stvorennia ta ekspluatatsiia spetsialnykh syrovynnykh zon / A. V. Vdovychenko, N. A. Makarenko, O. O. Rakoid, M. V. Kozlov ta in. *Ekolohiia: vcheni u vyrishenni problem nauky, osvity i praktyky* : zb. dop. uchasn. mizhnar. nauk-prakt. konf. 24–25 travnia. 2007 r. Zhytomyr : Vyd. «Derzhavnyi ahroekolohichniy universytet», 2007. S. 46–50. **11.** Ekolohichna otsinka rehionu dlia stvorennia spetsialnykh syrovynnykh zon / N. A. Makarenko, A. V. Vdovychenko, O. O. Rakoid ta in. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2008. № 58. S. 313–319. **12.** Metodychni rekomendatsii z nadannia statusu spetsialnoi syrovynnoi zony ta kontroliu za yikh vykorystanniam / za red. O. I. Furdychka. K., 2007. 35 s.

Klymenko M. O., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Varzhel O. V., Doctor of Philosophy, Senior Lecturer, Rabeshko Ya. I., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ASSESSMENT OF AGROECOLOGICAL STATE OF ARABLE LANDS OF THE RIVER USTIA BASIN

The article presents research materials of the agroecological state of arable lands of the river Ustya basin. The indices of agroecological state of arable lands were calculated using the arithmetic mean of three aggregated indicators, namely, environmental sustainability, fertility rate, sanitary and hygienic condition. Quantitative and qualitative assessment of aggregated indicator of arable lands state was carried out by the scale of their suitability for the creation of special raw material zones on them: 1,0–0,8 – as suitable; 0,8–0,4 – limited suitability; 0,4–0 – as unsuitable.

By aggregated indicators environmental sustainability of arable lands in the basin is assessed as: in Ostroh district – limited suitable, two districts – as unsuitable.

By aggregated indicator of fertility rate the arable lands in the basin are assessed as: three districts – limited suitable.

By aggregated indicator of sanitary and hygienic condition the arable lands of the basin are assessed in Ostroh, Zdolbuniv, Rivne districts as limited suitable.

By integral indicator of agroecological state the arable lands of the basin are assessed in three districts as limited suitable.

Unsatisfactory agroecological state of arable lands is formed in the basin under conditions of producers' failure to support positive humus balance in the use of five-field crop rotations not growing perennial herbs, maintaining low levels of potassium, zinc and manganese.

***Keywords:* basic; aggregated; integrated indicators; environmental sustainability; fertility rate; sanitary and hygienic condition; agroecological state.**

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор, Колесник Т. М., к.с.-г.н., доцент, Налобіна О. О., д.т.н., професор, Ковальчук Н. С., к.с.-г.н., доцент, Голотюк М. В., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, m.o.klimenko@nuwm.edu.ua; t.m.kolesnyk@nuwm.edu.ua; o.o.nalobina@nuwm.edu.ua; n.s.kovalchuk@nuwm.edu.ua; m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua)

РОЗРОБКА ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ҐРУНТОВИМИ ФАКТОРАМИ РОДЮЧОСТІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

У сучасному сільському господарстві підвищення продуктивності пшениці озимої є одним із ключових завдань аграрної науки та виробництва. Ефективне управління ґрунтовими факторами відіграє вирішальну роль у забезпеченні оптимальних умов для росту та розвитку цієї культури. Дослідження, проведене в межах наукової роботи, спрямоване на розробку інтегрованої системи управління ґрунтовими параметрами, що дозволяє досягти високої врожайності пшениці озимої при мінімізації витрат ресурсів. У процесі дослідження проведено аналіз основних чинників, які впливають на продуктивність культури, зокрема рівня вологості ґрунту, забезпеченості макро- та мікроелементами, фізико-хімічних характеристик ґрунту та структури його часток. Визначено, що збереження оптимального водного режиму та контроль щільності ґрунту сприяють покращенню повітряно-водного балансу, що, своєю чергою, позитивно впливає на процеси коренеутворення та інтенсивність фотосинтезу. Розроблено математичні моделі, які дозволяють оцінити взаємозв'язок між основними параметрами ґрунту та врожайністю пшениці озимої. Зокрема, встановлено, що оптимальне співвідношення та надходження елементів живлення в системі удобрення (азот – 120 кг/га, фосфор – 80 кг/га, калій – 60 кг/га) забезпечує максимальну ефективність засвоєння поживних речовин та формування продуктивного стеблостою. Проведені розрахунки свідчать про значну залежність врожайності від рівня ґрунтової вологості, яка повинна бути в межах 70–80%

найменшої вологоємності у критичні фази розвитку рослин. Графічний аналіз отриманих залежностей підтвердив ефективність інтегрованого підходу до управління ґрунтовими факторами. Було встановлено, що при оптимальних агрохімічних показниках та структурі ґрунту врожайність пшениці озимої може бути підвищена на 15–20% порівняно з традиційними методами обробітку. Впровадження запропонованої системи сприяє покращенню екологічної стійкості агроландшафтів, зменшенню втрат поживних речовин та підвищенню ефективності використання добрив. Отримані результати доводять, що розроблена інтегрована система управління ґрунтовими факторами є ефективним інструментом для підвищення продуктивності пшениці озимої.

Ключові слова: пшениця озима; агротехнології; ґрунтові фактори; мінеральні добрива; врожайність; хімічні меліоранти; кислотність; елементи живлення; дерново-підзолистий супіщаний ґрунт.

Вступ. Сучасне сільське господарство стоїть перед значними викликами, пов'язаними зі зростаючими вимогами до продуктивності культур, деградацією ґрунтів, кліматичними змінами та необхідністю підвищення ефективності використання природних ресурсів. Одним із ключових аспектів стабільного розвитку аграрного сектору є збереження та покращення родючості ґрунтів, оскільки їхній фізико-хімічний стан безпосередньо впливає на ріст і розвиток сільськогосподарських культур, зокрема пшениці озимої.

Виснаження ґрунтів, зниження рівня органічної речовини, надмірне використання мінеральних добрив та недостатній контроль вологості призводять до значного зниження урожайності. Одним із сучасних підходів до вирішення цієї проблеми є впровадження інтегрованих систем управління ґрунтовими факторами, що передбачають моніторинг і регулювання вологості, структури, агрохімічного складу та мікробіологічної активності ґрунту. Використання таких систем забезпечує оптимальні умови для росту рослин, дозволяє зменшити витрати на добрива та підвищити стійкість рослин до несприятливих погодних умов [1; 2; 3; 4].

Останнім часом все більшого значення набувають цифрові технології та інтелектуальні системи в агровиробництві, зокрема сенсорні мережі, автоматизовані системи зрошення, дистанційне

зондування Землі, а також математичне моделювання процесів, що відбуваються у ґрунті. Впровадження цих технологій дозволяє ефективніше контролювати стан ґрунту, здійснювати адаптивне внесення добрив та оптимізувати водний баланс для забезпечення високої врожайності [5; 6; 7; 8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі значна увага приділяється вивченню факторів, що впливають на продуктивність сільськогосподарських культур, зокрема пшениці озимої. Вітчизняні та зарубіжні дослідження свідчать про важливість інтегрованого підходу до управління ґрунтовими умовами, який включає контроль вологості, оптимізацію поживного режиму та покращення біологічної активності ґрунту.

Так, у працях українських вчених, зокрема Іванченка О. В. та Ковальчука С. П., розглядається роль органічних і мінеральних добрив у підтриманні високого рівня родючості чорноземів та підвищенні стійкості рослин до стресових факторів. Дослідження, проведені Західним науково-дослідним інститутом землеробства, підтверджують, що диференційоване внесення добрив сприяє більш ефективному засвоєнню макро- і мікроелементів рослинами, що позитивно позначається на врожайності [9; 10; 11].

Зарубіжні наукові публікації (Schmidt et al., 2021; Liu et al., 2020) наголошують на перевагах використання цифрових технологій у системах моніторингу стану ґрунту. Використання сенсорних мереж і супутникових даних дозволяє оперативно оцінювати рівень вологості та поживного балансу, що дозволяє своєчасно коригувати агротехнічні заходи.

Останні дослідження в області точного землеробства свідчать про ефективність автоматизованих систем управління зрошенням (Smith et al., 2022), які дозволяють значно зменшити витрати води, оптимізувати розподіл вологи в кореневій зоні та покращити показники росту й розвитку рослин. Дослідження, проведені в Німеччині (Müller et al., 2019), доводять, що застосування мультисенсорних технологій для аналізу ґрунту дозволяє не лише визначати його стан, але й прогнозувати зміни родючості залежно від кліматичних умов [12].

Таким чином, аналіз сучасних наукових досліджень підтверджує ефективність інтегрованих систем управління ґрунтовими факторами, які поєднують агрохімічний аналіз, моніторинг вологості та цифрові

технології для оптимізації умов вирощування пшениці озимої. Подальші дослідження в цьому напрямку спрямовані на вдосконалення моделей управління та розробку більш точних алгоритмів регулювання ґрунтових параметрів [13; 14].

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є аналіз і розробка інтегрованої системи управління ґрунтовими факторами родючості, яка поєднує дані агрохімічного моніторингу, вологості та мікробіологічної активності ґрунту для підвищення врожайності пшениці озимої. У роботі розглядається можливість адаптації точного землеробства до регіональних умов України, розробка алгоритмів оптимального управління ресурсами та оцінка їхньої ефективності. Дослідження спрямоване на розробку ефективної стратегії підтримки родючості ґрунтів, що базується на комплексному підході до їх управління, із застосуванням сучасних технологій та інноваційних рішень у сфері агровиробництва.

Виклад основного матеріалу. Ефективне управління ґрунтовими факторами є важливим аспектом підвищення продуктивності пшениці озимої. Оптимальні умови росту рослин залежать від комплексу фізичних, хімічних та біологічних параметрів ґрунту, таких як вологість, щільність, вміст поживних речовин, кислотність та активність мікробіоти. Інтегрована система управління (ІСУ) передбачає використання сучасних агротехнологій, системи моніторингу стану ґрунту та прогнозування змін за допомогою математичних моделей.

Для аналізу впливу ґрунтових факторів на врожайність пшениці озимої використовується багатофакторна регресійна модель:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4 + \epsilon, \quad (1)$$

де Y – врожайність пшениці озимої, ц/га; X_1 – вологість ґрунту в фазі кушіння, %; X_2 – рівень забезпеченості азотом (N), мг/кг; X_3 – рівень забезпеченості фосфором (P_2O_5), мг/кг; X_4 – щільність ґрунту, г/см³; a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 – коефіцієнти регресії, визначені емпірично; ϵ – випадкова похибка.

Така модель дозволяє оцінити взаємозв'язок між параметрами ґрунту та врожайністю, а також прогнозувати ефективність застосування агротехнічних заходів. Графічна залежність (рис. 1)

демонструє вплив основних ґрунтових параметрів, які визначають ріст та розвиток рослин. На осі абсцис відображені різні фактори, зокрема вологість ґрунту, вміст азоту, фосфору та рівень його ущільнення, а на осі ординат – рівень їхньої оптимальності у відсотковому співвідношенні.

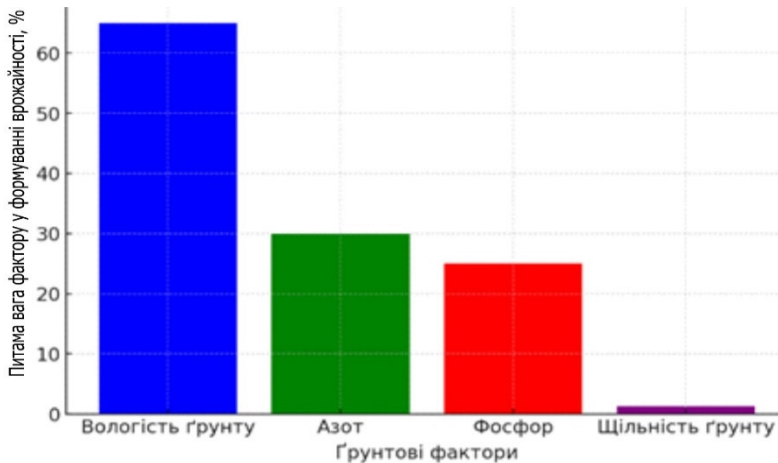


Рис. 1. Вплив ґрунтових факторів на врожайність пшениці озимої

Вологість ґрунту представлена на рівні 65%, що відповідає оптимальному значенню для розвитку кореневої системи та ефективного засвоєння поживних речовин. Недостатня вологість призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу, тоді як надмірна – до ризику анаеробних процесів у ґрунті.

Вміст азоту у ґрунті знаходиться на рівні 30 кг/га, що забезпечує інтенсивний розвиток вегетативної маси. Водночас недостатня кількість азоту може спричиняти уповільнення росту, а його надлишок – зниження стійкості до хвороб.

Фосфорний режим ґрунту характеризується рівнем 25 кг/га, що є необхідним для формування міцної кореневої системи. Відомо, що дефіцит фосфору знижує кущистість рослин та затримує їх розвиток.

Щільність ґрунту має оптимальне значення 1,3 г/см³, що сприяє гарному аераційному режиму та водопроникності. Занадто щільний ґрунт перешкоджає розвитку кореневої системи, що негативно впливає на врожайність.

Загальний аналіз графічних залежностей дозволяє зробити висновок, що комплексне регулювання рівня вологості, азоту,

фосфору та щільності ґрунту є важливою умовою досягнення високої продуктивності пшениці озимої.

Зволоження ґрунту є критично важливим параметром, що впливає на ріст пшениці озимої. Оптимальне управління водним режимом передбачає врахування випаровування, капілярного підняття та інфільтрації. Водний баланс можна виразити рівнянням:

$$W_t = W_{t-1} + P - E - R - I, \quad (2)$$

де W_t – вологість ґрунту на момент t , мм; W_{t-1} – вологість ґрунту на попередньому етапі, мм; P – кількість опадів, мм; E – втрати на випаровування, мм; R – стік води, мм; I – інфільтрація у нижчі горизонти, мм.

Модель дозволяє прогнозувати водний баланс ґрунту, що є важливим для визначення часу та обсягів поливу. Графічна залежність (рис. 2) демонструє динаміку водного балансу ґрунту, включаючи рівень опадів, випаровування, стоку та інфільтрації.

Опади становлять 50 мм, що є основним джерелом поповнення ґрунтової вологи. Вони нерівномірно розподіляються протягом року, що вимагає додаткових заходів щодо накопичення та утримання вологи.

Випаровування досягає рівня 20 мм, що є одним із основних факторів втрати вологи. Надмірне випаровування може призвести до пересихання верхнього шару ґрунту, що особливо небезпечно у періоди тривалої посухи.

Стік ґрунтової вологи має значення 10 мм, що демонструє рівень втрат води через поверхневий стік. Оптимізація структури ґрунту та впровадження системи контурного обробітку дозволяють знизити ці втрати.

Інфільтрація становить 15 мм, що відображає здатність ґрунту утримувати вологу у кореневмісному шарі. Покращення структурного стану ґрунту сприяє підвищенню рівня інфільтрації та рівномірному розподілу вологи в ґрунтовому профілі.

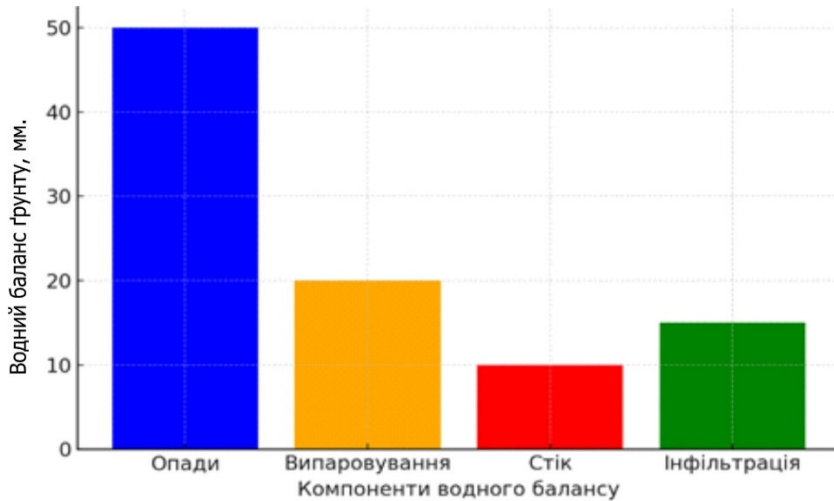


Рис. 2. Оптимальний водний баланс ґрунту

Таким чином, аналіз водного балансу вказує на необхідність зменшення випаровування та стоку для покращення водного режиму ґрунту, що позитивно впливатиме на врожайність пшениці озимої.

Внесення добрив має бути оптимізованим з урахуванням потреб пшениці та поточного стану ґрунту. Оптимізація здійснюється за допомогою функції прибутку:

$$\max F(N, P, K) = p_Y \cdot Y - p_N \cdot N - p_P \cdot P - p_K \cdot K, \quad (3)$$

де $F(N, P, K)$ – прибуток від внесення добрив, грн/га; p_Y – ціна за 1 ц пшениці, грн; p_N , p_P , p_K – вартість азотних, фосфорних та калійних добрив відповідно, грн/кг; N , P , K – норми внесення добрив, кг/га.

Для визначення оптимальних норм використовується метод Лагранжа:

$$L = p_Y \cdot Y - p_N \cdot N - p_P \cdot P - p_K \cdot K + \lambda(N, P, K) - Y_{\text{опт}}, \quad (4)$$

де λ – множник Лагранжа, що забезпечує рівновагу між витратами та врожайністю.

Графічна залежність (рис. 3) демонструє оптимальні рівні внесення азоту, фосфору та калію для забезпечення максимального рівня врожайності пшениці озимої.

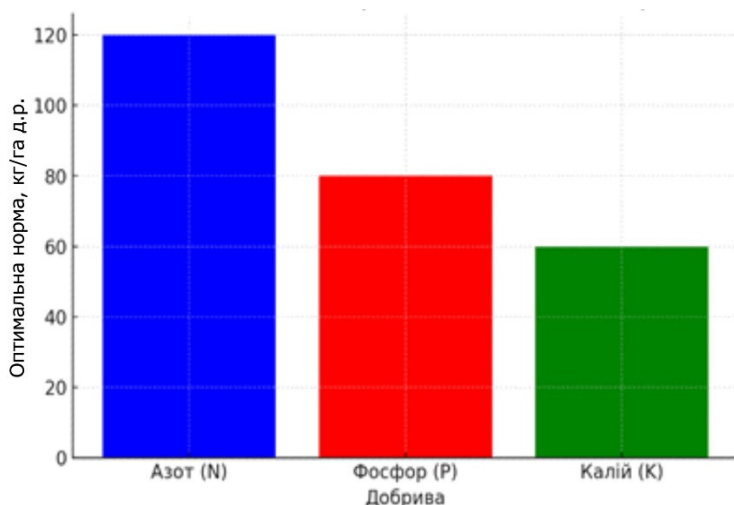


Рис. 3. Оптимальне внесення добрив для підвищення врожайності

Рекомендоване внесення азоту становить 120 кг/га, що дозволяє досягти максимального рівня росту та розвитку рослин. Відомо, що дефіцит азоту призводить до уповільнення фотосинтезу, а його надлишок може викликати надмірне накопичення нітратів у зерні.

Фосфор рекомендовано вносити в обсязі 80 кг/га, що сприяє формуванню потужної кореневої системи та підвищенню стійкості рослин до несприятливих погодних умов.

Калійне живлення має становити 60 кг/га, оскільки цей елемент відіграє ключову роль у регулюванні водного обміну та підвищенні стійкості до посухи, збільшення морозостійкості, що дуже важливо для озимих культур.

З аналізу графіка випливає, що дотримання рекомендованих норм внесення мінеральних добрив дозволяє не лише підвищити врожайність, а й покращити якість зерна та стійкість рослин до негативних факторів середовища.

Висновки: 1. У ході проведеного дослідження розроблено інтегровану систему управління ґрунтовими факторами продуктивності пшениці озимої на основі математичних моделей оптимізації таких ключових ґрунтових чинників родючості: водний баланс території вирощування, рівень надходження елементів живлення із добривами.

2. Розроблена система передбачає комплексний підхід до управління агрохімічними параметрами ґрунту через оптимізацію мінерального живлення на основі математичних моделей дозволяють прогнозувати вплив ключових факторів, таких як рівень зволоження ґрунту, вміст доступних форм азоту та фосфору і щільності ґрунту на ріст і розвиток пшениці озимої, у формуванні якої дані фактори мають питому вагу: вологість ґрунту – 67%, запаси доступного азоту – 30%, рухомих форм фосфору – 26%, щільність ґрунту – 28%.

3. На основі математичної моделі встановлено оптимальні рівні надходження елементів живлення із мінеральними добривами на дерново-підзолистих ґрунтах під пшеницю озиму: N – 120 кг/га, P – 80 кг/га, K – 60 кг/га, які сприятимуть максимальному використанню потенціалу культури та підвищенню її стійкості до стресових умов.

4. Таким чином, результати дослідження свідчать про те, що інтегрований підхід до управління ґрунтовими факторами є ефективним засобом підвищення врожайності пшениці озимої. Впровадження запропонованої системи дозволить оптимізувати використання агротехнологій, зменшити ризики зниження продуктивності через несприятливі умови та забезпечити стабільне виробництво зерна високої якості. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення моделей прогнозування та розширення технологічних рішень для різних типів ґрунтів і кліматичних зон.

1. Шевчук М. Й., Ковальчук Н. С., Колесник Т. М., Клименко М. О. Агроекологічна ефективність застосування ферментованого органічного добрива на дерново-слабопідзолистому ґрунті : монографія. Рівне : НУВГП, 2017. 183 с. 2. Мазуркевич Л. І. Вплив тривалого застосування добрив на вміст поживних елементів у ґрунті, врожайність пшениці ярої та якість зерна. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Агрономія*. 2014. Вип. 195(1). С. 78–84. 3. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і західному регіоні України / Зубець М. В. та ін. Київ : Аграрна наука, 2010. 944 с. 4. Мазур Г. А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів : монографія. К. : Аграрна наука, 2008. 308 с. 5. Гамаюнова В. В., Панфілова А. В., Кувшинова А. О., Касаткіна Т. О., Бакланова Т. В., Нагірний В. В. Збільшення зерновиробництва в зоні Степу України за рахунок вирощування ячменю та оптимізації його живлення. *Наукові горизонти. Scientific horizons*. Житомир, 2020. № 2(87). С. 15–23. 6. Господаренко Г. М., Любич В. В., Калантир В. В. Удобрення пшениці твердої озимої. *Topical issues of modern science and education : The XI International Science Conference, March 11–13, 2021, Tallin*,

Estonia. P. 12–15. **7.** Гамаюнова В. В., Литовченко А. О. Реакція сортів пшениці озимої на фактори та умови вирощування в зоні Степу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. Сер. Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво і зберігання*. 2017. № 1. С. 43–52. **8.** Польовий В. М., Яценко Л. А., Ровна Г. Ф., Колесник Т. М. Еколого-економічні аспекти вирощування сільськогосподарських культур на дерново-підзолистому ґрунті Західного Полісся. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 1. С. 91–98. **9.** Гаврилюк В. П., Ковальчук О. М. Оптимізація параметрів обробітку ґрунту в агротехнологіях вирощування пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 3. С. 15–22. **10.** Завадський Ю. С., Смірнов І. В. Вплив сівозмін та удобрення на родючість ґрунтів і продуктивність зернових культур. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Т. 89, № 2. С. 45–56. **11.** Ковтун О. Л., Бойко Н. М. Інтегроване управління водним режимом ґрунтів у технологіях вирощування зернових. *Землеробство*. 2019. № 4. С. 23–29. **12.** Smith J., Brown T. Soil fertility management for sustainable wheat production. *International Journal of Agricultural Research*. 2022. Vol. 115, Issue 3. P. 311–325. **13.** Литвиненко В. С., Дорошенко А. П. Використання сучасних систем моніторингу стану ґрунтів у технологіях точного землеробства. *Технології агропромислового комплексу*. 2021. № 6. С. 78–86. **14.** FAO. Climate-Smart Agriculture and Soil Management for Wheat / FAO, Rome, Italy. 2020. 150 p.

REFERENCES:

1. Shevchuk M. Y., Kovalchuk N. S., Kolesnyk T. M., Klymenko M. O. Ahroekolohichna efektyvnist zastosuvannya fermentovanoho orhanichnoho dobryva na derno- slabopidzolistomu grunti : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2017. 183 s. **2.** Mazurkevych L. I. Vplyv tryvaloho zastosuvannya dobryv na vmist pozhyvnykh elementiv u hrunti, vrozhaunist pshenytsi yaroї ta yakist zerna. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Ahronomiia*. 2014. Vyp. 195(1). S. 78–84. **3.** Naukovi osnovy ahropromyslovoho vyrobnytstva v zoni Polissia i zakhidnomu rehioni Ukrainy / Zubets M. V. ta in. Kyiv : Ahrarna nauka, 2010. 944 s. **4.** Mazur H. A. Vidtvorennia i rehuliuвання rodichosti lehkykh gruntiv : monohrafiia. K. : Ahrarna nauka, 2008. 308 s. **5.** Hamaїunova V. V., Panfilova A. V., Kuvshynova A. O., Kasatkina T. O., Baklanova T. V., Nahirnyi V. V. Zbilshennia zernovyrobnytstva v zoni Stepu Ukrainy za rakhunok vyroshchuvannia yachmeniu ta optymizatsii yoho zhyvlennia. *Naukovi horyzonty. Scientific horizons*. Zhytomyr, 2020. No 2(87). S. 15–23. **6.** Hospodarenko H. M., Liubych V. V., Kalantyr V. V. Udobrennia pshenytsi tverdoi ozymoї. *Topical issues of modern science and education : The XI International Science Conference, March 11–13, 2021, Tallin, Estonia*. P. 12–15. **7.** Hamaїunova V. V., Lytovchenko A. O. Reaktsiia sortiv pshenytsi ozymoї na faktory ta umovy vyroshchuvannia v zoni Stepu Ukrainy. *Visnyk Kharkivskoho*

natsionalnoho ahrarnoho universytetu imeni V. V. Dokuchaieva. Ser. Roslynnystvo, selektsiia i nasinnytstvo, plodoovochivnytstvo i zberihannia. 2017. No 1. S. 43–52. **8.** Polovyi V. M., Yashchenko L. A., Rovna H. F., Kolesnyk T. M. Ekologo-ekonomichni aspekty vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur na dernovo-pidzolystomu grunti Zakhidnoho Polissia. *Ahroekologichnyi zhurnal.* 2022. № 1. S. 91–98. **9.** Havryliuk V. P., Kovalchuk O. M. Optymizatsiia parametriv obrobittu gruntu v ahrotekhnolohiiakh vyroshchuvannia pshenytsi ozymoї. *Visnyk ahrarnoi nauky.* 2021. № 3. S. 15–22. **10.** Zavadskyi Yu. S., Smirnov I. V. Vplyv sivozmin ta udobrennia na rodiuchist gruntiv i produktyvnist zernovykh kultur. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo.* 2020. T. 89, № 2. S. 45–56. **11.** Kovtun O. L., Boiko N. M. Intehrovane upravlinnia vodnym rezhymom gruntiv u tekhnolohiiakh vyroshchuvannia zernovykh. *Zemlerobstvo.* 2019. № 4. S. 23–29. **12.** Smith J., Brown T. Soil fertility management for sustainable wheat production. *International Journal of Agricultural Research.* 2022. Vol. 115, Issue 3. P. 311–325. **13.** Lytvynenko V. S., Doroshenko A. P. Vykorystannia suchasnykh system monitorynhu stanu gruntiv u tekhnolohiiakh tochnoho zemlerobstva. *Tekhnolohii ahropromysloвого комплексу.* 2021. № 6. S. 78–86. **14.** FAO. Climate-Smart Agriculture and Soil Management for Wheat / FAO, Rome, Italy. 2020. 150 p.

Klymenko M. O., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kolesnyk T. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Nalobina O. O., Doctor of Agricultural Sciences, Kovalchuk N. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Holotiuk M. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED SOIL FERTILITY FACTOR MANAGEMENT SYSTEM FOR INCREASING THE PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT

In modern agriculture, increasing the productivity of winter wheat is one of the key tasks of agricultural science and production. Effective management of soil factors plays a crucial role in providing optimal conditions for the growth and development of this culture. The research carried out within the framework of this scientific work is aimed at the development of an integrated system for managing soil parameters, which allows to achieve a high yield of winter wheat while minimizing resource costs. In the course of the research, an analysis of the main factors affecting crop productivity was carried out, in particular, the

level of soil moisture, availability of macro- and microelements, physico-chemical characteristics of the soil and the structure of its particles. It was determined that the preservation of the optimal water regime and the control of soil density contribute to the improvement of the air-water balance, which, in turn, has a positive effect on the processes of root formation and the intensity of photosynthesis. Mathematical models have been developed that allow us to assess the relationship between the main parameters of the soil and the yield of winter wheat. In particular, it was established that the optimal ratio of nutrients (nitrogen – 120 kg/ha, phosphorus – 80 kg/ha, potassium – 60 kg/ha) ensures the maximum efficiency of assimilation of nutrients and the formation of productive stems. The conducted calculations indicate a significant dependence of yield on the level of soil moisture, which should be within 70–80% of the lowest moisture content during the critical phases of plant development. Graphical analysis of the obtained dependencies confirmed the effectiveness of the integrated approach to the management of soil factors. It was established that with optimal agrochemical indicators and soil structure, the yield of winter wheat can be increased by 15–20% compared to traditional cultivation methods. The implementation of the proposed system contributes to the improvement of ecological sustainability of agro-landscapes, the reduction of nutrient losses, and the improvement of the efficiency of the use of fertilizers. The obtained results prove that the developed integrated system of managing soil factors is an effective tool for increasing the productivity of winter wheat.

***Keywords:* winter wheat; agricultural technologies; soil factors; mineral fertilizers; productivity; chemical meliorants; acidity; nutrients; sod-podzolic sandy soil.**

Майборода Х. А., аспірантка (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, h.a.maiboroda@nuwm.edu.ua)

ВПЛИВ КАЛІЙ СУЛЬФАТУ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТА БІОХІМІЧНИЙ СКЛАД ЛИСТОВОГО САЛАТУ В АКВАПОНІЧНІЙ СИСТЕМІ

У статті розглядається вплив додавання сульфату калію (K_2SO_4) на врожайність та біохімічний склад листового салату в аквапонічних системах. Дослідження проводилося в умовах двох варіантів аквапоніки: контрольна лінія, де рослини отримували поживні речовини лише з рибних відходів, та експериментальна лінія, де до води додавали сульфат калію в концентрації $0,5 \text{ г/дм}^3$.

За отриманими результатами, врожайність салату в контрольній лінії склала $2042,74 \text{ г/м}^2$, а в експериментальній – $3497,7 \text{ г/м}^2$, що на 71,2% більше. Біомаса рослин в експериментальній лінії також була вищою: максимальна маса пучка рослин досягла 390 г, в контрольній – 340 г. Параметри морфології рослин також покращилися: максимальна довжина рослин у контрольній лінії становила 53 см, а в експериментальній – 71 см.

Для оцінки хімічного складу води було виміряно рівень вмісту калію, азоту амонійного та азоту нітратного. Аналіз азоту нітратного показав, що в контрольній лінії його концентрація у воді збільшилася з 9 мг/дм^3 до $30,4 \text{ мг/дм}^3$, в експериментальній – залишалася на рівні $6,4 \text{ мг/дм}^3$. Вміст амоній-іонів зменшився в експериментальній лінії до $1,63 \text{ мг/дм}^3$, в контрольній – до $4,53 \text{ мг/дм}^3$. При цьому вміст калію у воді контрольного варіанту складав $8,89 \text{ мг/дм}^3$, а в експериментальній – $55,2 \text{ мг/дм}^3$, що свідчить про позитивний вплив додавання сульфату калію на перетворення сполук азоту амонійного в азот нітратний та збільшення загального споживання азоту рослинами салату листового.

Також вимірювали вміст хлорофілів. У експериментальній лінії хлорофіл *a* складав $0,79 \text{ мг/г}$, а хлорофіл *b* – $1,65 \text{ мг/г}$, в контрольній лінії – $0,74 \text{ мг/г}$ та $1,54 \text{ мг/г}$ відповідно.

Загалом, результати свідчать про позитивний вплив додавання калій сульфату на врожайність, морфометричні характеристики та хімічний склад листового салату в аквапонічних системах.

Ключові слова: аквапоніка; салат листовий; врожайність; моніторинг якості води; поживні речовини; вітамін С; нітрати; хлорофіли *a* та *b*; калійне живлення; азот амонійний та азот нітратний.

Постановка проблеми. Сучасні системи аквапоніки є перспективною технологією для сталого виробництва рослинної продукції, що поєднує вирощування риби та рослин у спільному водному середовищі. Однією з ключових проблем аквапонічних систем є дефіцит окремих макро- та мікроелементів, зокрема калію, магнію, фосфору та азоту. Ці елементи відіграють важливу роль у фізіологічних процесах рослин, включаючи фотосинтез, ріст, розвиток кореневої системи та стійкість до стресових факторів.

Калій є особливо важливим для формування біохімічного складу листової маси, оскільки він бере участь у регулюванні водного балансу, транспортуванні поживних речовин та активації ферментних систем. У традиційних аквапонічних системах концентрації калію вкрай недостатні, оскільки він не надходить у систему в достатній кількості разом із рибними відходами. Це може негативно впливати на якість та врожайність рослинної продукції, зокрема листового салату, який є популярною культурою для вирощування в аквапоніці.

З огляду на це актуальним є дослідження впливу додаткового внесення калій сульфату на врожайність і біохімічний склад листового салату в аквапонічній системі. Результати такого дослідження можуть мати значний практичний та науковий внесок у вдосконалення технологій аквапонічного вирощування та оптимізацію мінерального живлення рослин. Визначення ефективності калій сульфату як джерела калію сприятиме розробці рекомендацій для підвищення продуктивності аквапонічних систем та покращення їхньої екологічної та економічної ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі цілий ряд наукових установ аграрного профілю США займається всебічним вивченням та удосконаленням аквапонних систем та технологій отримання плодоовочевої продукції та продукції рибництва. Такі автори, як Ramin Ghamkha, Christopher Hartleb [4] зазначили, що аквапонічне виробництво їжі є перспективним рішенням для

зменшення несприятливого впливу систем виробництва їжі на навколишнє середовище, включаючи втрати поживних речовин і споживання води. Kenji Yamane, Yuuki Kimura, Keita Takahashi [1] та інші повідомили, що сом сприяє швидшому розкладанню корму. Аквапоніка запобігає забрудненню розчину в резервуарах і підтримує вищу якість води порівняно, що свідчить про те, що аквапоніка є більш стійкою системою вирощування навіть у невеликих системах. Чимало дослідників повідомили, що ріст, ефективність використання корму та загальне відновлення поживних речовин у перерахунку на біомасу були високими в системі аквапоніки. Ці результати свідчать про те, що аквапоніка є не тільки екологічно чистою системою аквакультури, але також може виробляти більше біомаси, ніж звичайна система аквакультури, і, отже, може бути розширена в комерційних масштабах. Дослідженнями Lennard і Leonard [16] встановлено, що врожайність салату була високою в аквапонічних системах. Висновки, отримані в результаті дослідження Sunday Abraham Oladimeji, Victor Tosin Okomoda та інших вказують, що виробництво риби в системі аквапоніки є ефективним, а при підтримці якості води у відповідних діапазонах збільшить виробництво рослин [5].

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження було оцінити вплив аквапонної системи з кларієвим сомом на ріст, якісні характеристики та врожайність листового салату з метою визначення потенційних переваг аквапоніки у сільськогосподарському виробництві. Зокрема, дослідження передбачало порівняння ефективності вирощування салату в умовах використання виключно відходів життєдіяльності риб та за умови додаткового внесення сульфату калію (K_2SO_4) в концентрації $0,5 \text{ г/дм}^3$.

Перед авторами постало завдання оцінити динаміку росту листового салату на різних етапах розвитку в умовах двох варіантів аквапонної системи; провести аналіз органолептичних характеристик салату, зокрема текстури, смакових властивостей та зовнішніх показників листя (колір, розмір, щільність); виконати моніторинг параметрів якості води, включаючи концентрацію аміаку (NH_3), нітритів (NO_2^-), нітратів (NO_3^-) та рівень pH, з метою забезпечення оптимальних умов для розвитку риб і рослин; визначити вміст вітаміну C, хлорофілу a і b, а також нітратів у листі салату.

Матеріали і методи дослідження. У дослідженні було закладено дві експериментальні лінії аквапонної системи. Перша лінія (контрольна) передбачала культивування *Lactuca sativa* у замкнутій

рециркуляційній системі спільно з рибами без зовнішнього внесення мінеральних елементів. Друга лінія відрізнялася додаванням $0,5 \text{ г/м}^3$ сульфату калію (K_2SO_4) у водне середовище з метою оцінки впливу додаткового калію на біометричні показники рослин.

Для виявлення кількісного вмісту пігментів використовували спектрофотометричний метод, який дозволяє визначити кількість хлорофілів *a* і *b* за особливостями спектрів поглинання без попереднього їх розділення (проводили на приладі Фотометр КФК-3-01).

Для вимірювання концентрації нітратів використовували потенціометричний метод. Методологія ґрунтувалася на стандартних процедурах визначення вмісту нітратів у рослинних тканинах [21].

Вміст вітаміну С визначали методом титрування 2,6-дихлорфеноліндофенолом (ДФФ). Для аналізу використовували 50 г середньої частини пучка салату, подрібненого та екстрагованого в 100 мл 2% розчину метафосфорної кислоти. Розчин титрували 0,001 N ДФФ до появи стійкого рожевого забарвлення.

Вміст макроелементів у воді аналізували за допомогою спектрофотометра Lasa агро 1900. Також використовували такі методики для дослідження якості води: вимірювання концентрації нітрат-іонів фотоколориметричним методом (МВВ № 081/12-0651-09, 2010), вимірювання масової концентрації амоній-іонів фотоколориметричним методом з реактивом Неслера (МВВ № 081/12-0106-03, 2010), вимірювання масової концентрації хлоридів титриметричним методом (МВВ № 081/12-0653-09, 2010) та вимірювання масової концентрації кальцію та магнію титриметричним методом (МВВ № 081/12-0644-09, 2010) .

Lactuca sativa збирали через 45 днів після пересадки, після чого визначали врожайність, кількість листків, висоту та ширину рослини, об'єм кореневої системи, біомасу рослини.

Була розрахована найменша істотна різниця (HIP_{05}) для визначення статистично значущих відмінностей між середніми значеннями двох варіантів досліду [17]. Досліджувані параметри включають: довжину всієї рослини, довжину листка, довжину кореня, врожайність, ширину листка, об'єм кореневої системи, об'єм зеленої частини, біомасу рослини, біомасу кореня, біомасу зеленої частини. Для кожного параметра була триразова повторюваність.

Були проведені такі розрахунки: число ступенів свободи для варіантів, повторень та похибки; загальне число спостережень; коригуючий фактор; загальна сума квадратів; сума квадратів для

повторень; сума квадратів для варіантів; сума квадратів для похибки; дисперсія для лінії; дисперсія для похибки; критерій Фішера; відносна похибка.

Для виявлення кількісного вмісту пігментів використовували спектрофотометричний метод, який дозволяє визначити кількість хлорофілів *a* і *b* за особливостями спектрів поглинання без попереднього їх розділення. Хлорофіли *a* та *b* є основними пігментами, які беруть участь у фотосинтезі, поглинаючи світло і перетворюючи його в хімічну енергію. Хлорофіл *a* поглинає світло в червоному та синьому спектрі, а хлорофіл *b* – в зеленому, підвищуючи ефективність фотосинтетичних процесів.

Хлорофіли розчиняються в органічних розчинниках, таких як ефір і етанол, та мають характерну флуоресценцію. Під дією світла, кисню, тепла або кислот вони можуть руйнуватися, перетворюючись на похідні, зокрема феофітин або феофорбіди. Хлорофіли мають антимікробні властивості, стимулюють роботу серця та дихального центру, а також сприяють нейтралізації вільних радикалів.

Концентрація хлорофілів у рослинах є важливим індикатором ефективності фотосинтетичних процесів і може вказувати на стресові фактори або екологічні умови

Результати досліджень. У процесі проведення досліджень застосовували дві аквапонні системи, кожна з яких містила 19 особин кларієвого сома. Контрольна лінія отримувала поживні речовини лише з продуктів метаболізму риб і залишків корму. В експериментальній лінії до середовища додавали сульфат калію (K_2SO_4) у концентрації $0,5 \text{ г/дм}^3$. Дослідження розпочалося 13 листопада 2024 року, коли було висаджено 24 рослини листового салату на кожную лінію (по 3–5 саджанців в ємність) з регулюванням pH до 7,5 за допомогою H_2SO_4 . 6 грудня 2024 року здійснили проріджування, залишивши по 54 рослини в кожній системі. Під час проріджування зібрано 31 г біомаси з контрольної групи та 24 г з експериментальної. Протягом експерименту кожні 2–3 дні вимірювали pH води, температуру та електропровідність (рис. 1). *Динаміка pH:* У першій лінії pH варіювався в межах 7.7–8.4, з поступовим зростанням наприкінці експерименту. Початкове значення (7.7–8.1) було стабільним завдяки нітрифікації, при якій аміак (NH_3) перетворюється на нітрати (NO_3^-), що знижує pH через виділення іонів H^+ . Підвищення pH до 8.4 наприкінці періоду пов'язане з накопиченням органічних залишків та метаболітів риб, що сприяє виділенню аміаку і

підвищенню рН. У другій лінії рН коливався між 7.9–8.6, з різкими змінами, що вказують на низьку буферну здатність системи. Високий рН (понад 8.5) у середині періоду міг негативно вплинути на доступність мікроелементів, зокрема заліза, магнію та фосфору, що могло викликати пожовтіння листя салату.

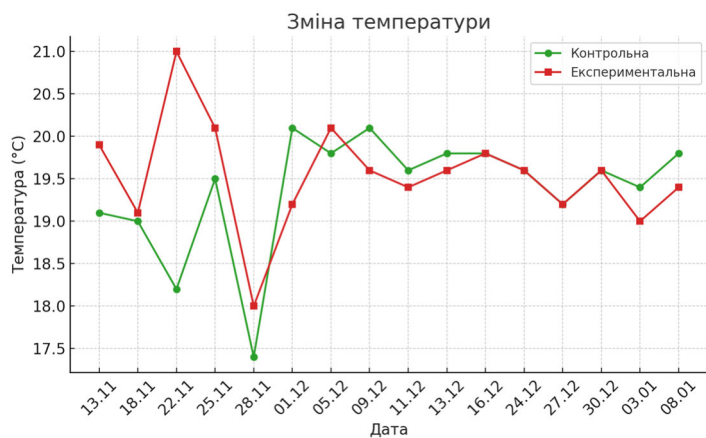
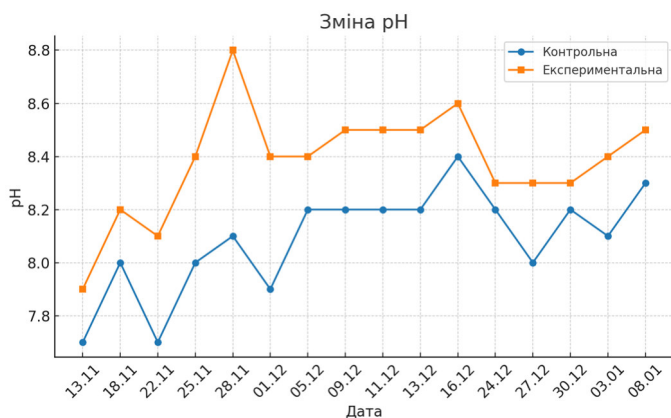




Рис. 1. Зміни основних показників теплового режиму та окисно-відновних умов у системі аквапоніки

Динаміка температури води: У першій лінії температура коливалася від 17.4°C до 20.1°C , що знаходиться в межах оптимального діапазону для кларієвого сома ($18\text{--}28^{\circ}\text{C}$). Зниження температури до 17.4°C 28 листопада було обумовлено змінами зовнішніх кліматичних умов та вимкненням освітлення, що уповільнило метаболічну активність риб і знизило їх здатність виділяти аміак. Температура у другій лінії варіювала від 18°C до 21°C , з більш різкими коливаннями.

Динаміка концентрації солей: У першій лінії концентрація солей знижувалася з 576 ppm (13.11) до 498 ppm (05.12), стабілізуючись на рівні 500–582 ppm, що свідчить про активне споживання поживних елементів рослинами. У другій лінії концентрація солей була значно вищою, коливаючись від 1450 ppm до 2300 ppm, з різким зниженням після 05.12, що вказує на активне споживання калію рослинами.

Результати дослідження виявили суттєвий вплив додавання сульфату калію (K_2SO_4) у концентрації $0,5\text{ г/дм}^3$ на ріст і розвиток листового салату в аквапонічних умовах.

Експериментальна лінія, яка отримувала додатково сульфат калію, показала значно кращі морфометричні характеристики, біомасу та врожайність порівняно з контрольною групою, де рослини отримували поживні речовини лише з продуктів метаболізму риб і залишків корму. Врожайність у контрольній лінії становила $2042,74\text{ г/м}^2$, в експериментальній – $3497,7\text{ г/м}^2$, що на 71,2% більше. Біомаса рослин також була вищою: максимальна маса пучка рослин у контролі складала 340 г, а в експерименті – 390 г. Біомаса кореня

зросла з 60 г у контролі до 108 г в експерименті, а зеленої частини – з 280 г до 281 г. Морфометричні параметри також покращилися: максимальна довжина рослин у контрольній лінії становила 53 см, в експериментальній – 71 см; довжина листка збільшилася з 25 см до 33 см, а кореня – з 28 см до 38 см (табл. 1).

Дисперсійний аналіз показав, що внесення сульфату калію призвело до статистично достовірного збільшення основних морфометричних показників рослин порівняно з контрольною групою. Для всіх досліджуваних параметрів різниця між середніми значеннями перевищує HP_{05} , що підтверджує достовірність отриманих результатів.

Зокрема, довжина всієї рослини зросла на 13 см ($HP_{05} = 10,6$ см), довжина кореня – на 8 см ($HP_{05} = 10,3$ см), максимальна ширина листка – на 5 см ($HP_{05} = 9,6$ см). Об'єм кореневої системи збільшився на 45 мл ($HP_{05} = 13,9$ мл), біомаса рослини – на 51 г ($HP_{05} = 25,7$ г), біомаса кореня – на 91 г ($HP_{05} = 17,9$ г).

Таблиця 1

Морфометричні показники рослин салату листового та врожайність

Показник	Одиниці вимірювання	1-а лінія (Контрольна група)	2-а лінія (Експериментальна група)	HP_{05}
Довжина всієї рослини, середнє	см	37	50	10,6
Довжина листка max min	см	25 9	33 12	8,3 7,6
Довжина кореня, середнє	см	20	28	10,3
Ширина листка max min	см	15 5	20 6	9,6 4,3
Об'єм кореневої системи, середнє	мл	20	65	13,9

продовження табл. 1

Біомаса рослини, середнє	г	185	236	25,7
Біомаса кореня, середнє	г	35	126	17,9
Біомаса зеленої частини, середнє	г	148	173	33,1
Врожайність	кг/м ²	2,04	3,50	0,56

Для визначення хімічного складу води використовували стандартні методи, зокрема ДСТУ.

Особливу увагу було приділено калію (K), який є важливим елементом для росту рослин в аквапоніці. Для вимірювання концентрації калію застосовувався спектрофотометр Lasa Agro 1900, що дозволяє точно визначати його рівень. Результати показали, що у контрольній лінії рівень калію становив 8,89 мг/дм³, а в експериментальній з додаванням K₂SO₄ – 55,2 мг/дм³. Це свідчить про активне засвоєння калію рослинами, що сприяє покращенню їх росту та врожайності.

Нітрати є основним джерелом азоту для рослин, однак їх надлишок може забруднювати воду. Для вимірювання концентрації нітрат-іонів використовувався фотоколориметричний метод. Початковий рівень нітратів становив 9 мг/дм³, а через місяць вирощування в контрольній лінії цей показник досяг 30,4 мг/дм³, в експериментальній – 6,4 мг/дм³.

Концентрація амоній-іонів (NH₄⁺) зросла після місяця вирощування: у контрольній лінії – до 4,53 мг/дм³, в експериментальній – до 1,63 мг/дм³. Наприкінці досліду рівень амонійного азоту знизився в обох лініях, що свідчить про мікробіологічне перетворення амонію в нітрати.

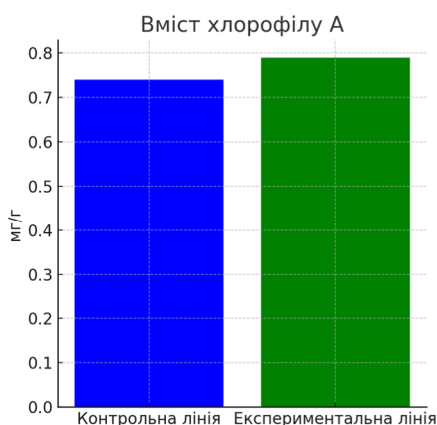
Концентрація сульфатів на початку досліду становила 11,6 мг/дм³, і через місяць збільшилася до 33 мг/дм³ у контрольній лінії та 35,5 мг/дм³ в експериментальній. Наприкінці досліду сульфати значно зросли, досягнувши 269,5 мг/дм³ у експерименті та 40,4 мг/дм³ у контролі, що, ймовірно, пов'язано з додаванням мінеральних добрив або зміною бактеріальної активності.

Концентрація фосфатів в експерименті була вищою, досягнувши $15,6 \text{ мг/дм}^3$, порівняно з $13,1 \text{ мг/дм}^3$ у контрольній лінії, що може свідчити про накопичення залишків корму та екскрементів риб.

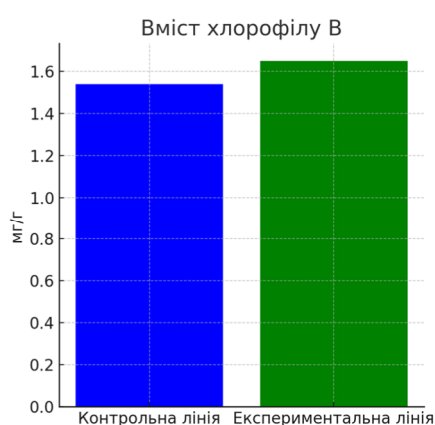
В дослідженні салату листового в експериментальній лінії вміст хлорофілу *a* склав $0,79 \text{ мг/г}$, а в контрольній – $0,74 \text{ мг/г}$. Для хлорофілу *b* ці значення були $1,65 \text{ мг/г}$ та $1,54 \text{ мг/г}$ відповідно. В середньому вміст хлорофілу *a* в аквапоніці коливається від $0,5$ до $1,0 \text{ мг/г}$, а хлорофілу *b* – від $1,0$ до $2,0 \text{ мг/г}$, залежно від умов. Різниця у вмісті хлорофілів може бути результатом впливу калію на фотосинтез (рис. 2).

Контроль рівня вітаміну С у продуктах рослинного походження, зокрема у листовому салаті, є важливим для харчової цінності. Вітамін С (аскорбінова кислота) є важливим антиоксидантом і бере участь у метаболізмі як рослин, так і людей. Його вміст залежить від умов вирощування, зокрема мінерального живлення. Аквапоніка створює унікальні умови для формування хімічного складу овочів. Дослідження показують, що внесення додаткових поживних речовин, таких як калій сульфат, може підвищувати рівень аскорбінової кислоти в листових овочах.

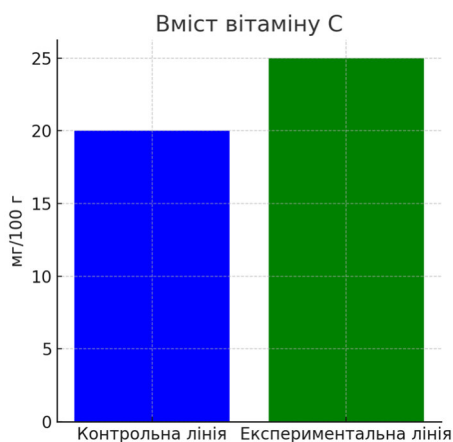
В результаті, в контрольній лінії вміст вітаміну С становив 20 мг/100 г , що відповідає нормам для листового салату ($18\text{--}25 \text{ мг/100 г}$). У експериментальній лінії рівень вітаміну С зріс до 25 мг/100 г , що свідчить про позитивний вплив калію на синтез аскорбінової кислоти, ймовірно, через стимуляцію антиоксидантного захисту рослин та біосинтезу вітаміну С (рис. 2).



Вміст хлорофілу *a* : $\text{HIP}_{05} = 0,003 \text{ мг/г}$



Вміст хлорофілу *b* : $\text{HIP}_{05} = 0,05 \text{ мг/г}$



Вміст вітаміну С: $HP_{05} = 2,6$ мг/100 г

Рис. 2. Біохімічні показники салату листового

Для оцінки статистичної значущості відмінностей між контрольним та експериментальним варіантами в межах кожної лінії було використано критерій найменшої істотної різниці (HP_{05}). Отримані результати свідчать про те, що вміст вітаміну С мав $HP_{05} = 2,6$ мг/100 г. Оскільки різниця між середніми значеннями для цієї ознаки перевищувала відповідні HP_{05} , вплив калій сульфату на накопичення вітаміну С є статистично значущим.

Для хлорофілу *a* встановлено, HP_{05} становив 0,003 мг/г. Аналіз показав, що різниця між середніми значеннями для цього показника також перевищує відповідні HP_{05} . Щодо хлорофілу *b*, значення HP_{05} було 0,05 мг/г. Оскільки різниця між середніми значеннями для хлорофілу *a* (0,05 мг/г) та хлорофілу *b* (0,11 мг/г) перевищує HP_{05} , відмінності між контрольним і експериментальним варіантами є статистично значущими.

Для вимірювання концентрації нітратів користувалися потенціометричним методом на іонометрії.

Вибірка здійснювалася з кореневої системи, середини пучка та листя рослини. Статистична обробка даних проводилась через дисперсійний аналіз.

Результати (табл. 2) показали значне збільшення нітратів у коренях експериментальної лінії.

Таблиця 2

Результати вимірювань вмісту нітратів в різних органах рослин салату

Лінія	Нітрати в корені (мг/кг)	Нітрати в молодих листках (мг/кг)	Нітрати в старих листках(мг/кг)	НІР ₀₅ , мг/кг
Контрольна	28	90	60	14,7
Експериментальна	2300	380	26	94,8
ГДК		2000	2000	

Це пояснюється тим, що калій сульфат стимулює засвоєння нітратів кореневою системою, але їх транспортування до листя було менш інтенсивним. У контрольній лінії нітрати рівномірно розподілялись між частинами рослини, що вказує на збалансоване споживання азотних сполук.

Для оцінки статистичної значущості різниць між групами було використано найменшу істотну різницю (НІР₀₅) [17], яка для контрольної лінії становила 14,7 мг/кг, а для експериментальної – 94,8 мг/кг.

Різниця вмісту нітратів між лініями склала 2272 мг/кг у коренях, 290 мг/кг у молодих листках та 34 мг/кг у старих листках, що перевищує відповідні значення НІР₀₅, вказуючи на статистично значущі відмінності між варіантами.

Висновки. 1. Додавання сульфату калію до аквапонічної системи позитивно впливає на ріст та розвиток листового салату. В експериментальній групі, що отримувала додаткове живлення калієм, рослини показали кращі результати за морфометричними характеристиками, біомасою та врожайністю, що була на 71,2% вищою, ніж у контрольній групі.

2. Зафіксовано підвищення концентрації калію у воді. Додавання у концентрації 0,5 г/дм³ забезпечило надходження 110 мг/дм³ калію в систему. В кінці досліду концентрація калію в експериментальній лінії становила 55,2 мг/дм³, що свідчить про активне засвоєння цього елемента рослинами. Зниження рівня калію на 54,8 мг/дм³ підтверджує ефективне поглинання і використання його для фізіологічних процесів, зокрема росту, метаболізму та синтезу хлорофілів.

3. Додавання калію позитивно вплинуло і на баланс азотних сполук: концентрація нітратів та рівень амоній-іонів в експериментальній лінії був на 50% та 58% відповідно нижчим, ніж в 92

контрольній лінії, що свідчить про більш ефективне перетворення амонію в нітрати.

4. Рівень вітаміну С в рослинах в експериментальній лінії був вищим (25 мг/100 г), що вказує на покращення синтезу аскорбінової кислоти завдяки достатньому азотно-калійному живленню рослин.

5. В цілому результати дослідження показали, що додавання сульфат калію у воду в системі аквапоніки в концентрації 0,5 г/дм³ покращує ріст, врожайність, хімічний склад і харчову цінність листового салату, зокрема рівень вітаміну С.

В подальшому, необхідно дослідити концентрацію інших елементів живлення та визначити оптимальну дозу сульфату калію. Крім того, варто провести експерименти з різними концентраціями калію, щоб визначити найбільш ефективні дозування для росту рослин. Також важливо провести довгостроковий моніторинг для оцінки стабільності системи та її впливу на мікробіологічні процеси. Врахування органолептичних властивостей продукції та сезонних змін також має велике значення для оптимізації системи.

1. Yamane K., Kimura Y., Takahashi K., Maeda I. The growth of leaf lettuce and bacterial communities in a closed aquaponics system with catfish. *Horticulturae*. 2021. Vol. 7, no. 8. P. 222.
2. Junge R., König B., Villarroel M., Komives T., Jijakli M. H. Strategic points in aquaponics. *Water*. 2017. Vol. 9. P. 182.
3. Єржі Адамек, Віталій Бех, Вадим Марценюк. Африканський кларієвий сом (*Clarias gariepinus*) – цінний об'єкт рибництва. URL: https://chnng.darg.gov.ua/files/16/afr_som.pdf (дата звернення: 01.03.2025).
4. Ghamkhar R., Hartleb C., Wuac F., Hicks A. Life cycle assessment of a cold weather aquaponic food production system. *Journal of Cleaner Production*. 2020.
5. Oladimeji S. A., Okomoda V. T., Olufeagba S. O., Solomon S. G., Abol-Munafi A. B., Alabi K. I. Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Aquaculture*. 2020. Pp. 2307–2315.
6. Latimer G. Official methods of analysis. 1 *International*. 2012. ISBN 978-0-935584-83-7.
7. Carberry A. How to measure growth rate of plants. *Arkansas*. 2022. URL: <https://www.wikihow.com/Measure-Growth-Rate-of-Plants> (дата звернення: 01.03.2025).
8. Mims S. D., Lazur A., Shelton W. L., Gomelsky B., Chapman F. Species profile: Production of sturgeon. *South. Reg. Aquac. Center*. 2002. URL: <https://srac.msstate.edu/pdfs/Fact%20Sheets/7200%20Species%20Profile-%20Production%20of%20Sturgeon.pdf> (дата звернення: 01.03.2025).
9. Suhl J., Dannehl D., Kloas W., Baganz D., Jobs S., Schiebe G., Schmidt U. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*. 2016. Vol. 178. Pp. 335–344.
10. Asao T. Hydroponics: A standard methodology for plant biological researches. Paris, France : BoD–Books on Demand, 2012. ISBN 978-

953-51-0386-8. **11.** Schmautz Z., Graber A., Mathis A., Bulc T. G., Junge R. Tomato production in aquaponic system: Mass balance and nutrient recycling. *Aquaculture Europe*. 2015. **12.** 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. **13.** Rakocy J. E., Masser M. P., Losordo T. M. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics—Integrating fish and plant culture. *Stoneville, MS, USA : SRAC*, 2006. Pp. 236–247. **14.** Khalil S. Growth performance, nutrients and microbial dynamic in aquaponics systems as affected by water temperature. *European Journal of Horticultural Science*. 2018. Vol. 83. Pp. 388–394. **15.** Yang T., Kim H.-J. Characterizing nutrient composition and concentration in tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Water*. 2020. Vol. 12. P. 1259. **16.** Lennard W. A., Leonard B. V. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International*. 2004. Vol. 12. Pp. 539–553. **17.** Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві : монографія. Херсон : Айлант, 2013. 378 с.

REFERENCES:

1. Yamane K., Kimura Y., Takahashi K., Maeda I. The growth of leaf lettuce and bacterial communities in a closed aquaponics system with catfish. *Horticulturae*. 2021. Vol. 7, no. 8. P. 222. **2.** Junge R., König B., Villarroel M., Komives T., Jijakli M. H. Strategic points in aquaponics. *Water*. 2017. Vol. 9. P. 182. **3.** Yerzhi Adamek, Vitalii Bekh, Vadym Martseniuk. Afrykanskyi klariiieviy som (*Clarias gariepinus*) – tsinnyi ob'ekt rybnystva. URL: https://chnng.darg.gov.ua/files/16/afr_som.pdf (data zvernennia: 01.03.2025). **4.** Ghamkhar R., Hartleb C., Wuac F., Hicks A. Life cycle assessment of a cold weather aquaponic food production system. *Journal of Cleaner Production*. 2020. **5.** Oladimeji S. A., Okomoda V. T., Olufeagba S. O., Solomon S. G., Abol-Munafi A. B., Alabi K. I. Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Aquaculture*. 2020. Pp. 2307–2315. **6.** Latimer G. Official methods of analysis. 1 *International*. 2012. ISBN 978-0-935584-83-7. **7.** Carberry A. How to measure growth rate of plants. *Arkansas*. 2022. URL: <https://www.wikihow.com/Measure-Growth-Rate-of-Plants> (data zvernennia: 01.03.2025). **8.** Mims S. D., Lazur A., Shelton W. L., Gomelsky B., Chapman F. Species profile: Production of sturgeon. *South. Reg. Aquac. Center*. 2002. URL: <https://srac.msstate.edu/pdfs/Fact%20Sheets/7200%20Species%20Profile-%20Production%20of%20Sturgeon.pdf> (data zvernennia: 01.03.2025). **9.** Suhl J., Dannehl D., Kloas W., Baganz D., Jobs S., Schiebe G., Schmidt U. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*. 2016. Vol. 178. Pp. 335–344. **10.** Asao T. Hydroponics: A standard methodology for plant

biological researches. Paris, France : BoD–Books on Demand, 2012. ISBN 978-953-51-0386-8. **11.** Schmautz Z., Graber A., Mathis A., Bulc T. G., Junge R. Tomato production in aquaponic system: Mass balance and nutrient recycling. *Aquaculture Europe*. 2015. **12.** 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. **13.** Rakocy J. E., Masser M. P., Losordo T. M. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics–Integrating fish and plant culture. *Stoneville, MS. USA : SRAC*, 2006. Pp. 236–247. **14.** Khalil S. Growth performance, nutrients and microbial dynamic in aquaponics systems as affected by water temperature. *European Journal of Horticultural Science*. 2018. Vol. 83. Pp. 388–394. **15.** Yang T., Kim H.-J. Characterizing nutrient composition and concentration in tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Water*. 2020. Vol. 12. P. 1259. **16.** Lennard W. A., Leonard B. V. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International*. 2004. Vol. 12. Pp. 539–553. **17.** Ushkarenko V. O., Vozhehova R. A., Holoborodko S. P., Kokovikhin S. V. Statystychnyi analiz rezultativ polovykh doslidiv u zemlerobstvi : monohrafiia. Kherson : Ailant, 2013. 378 s.

Maiboroda K. A., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

INFLUENCE OF POTASSIUM SULPHATE ON THE YIELD AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF LEAF LETTUCE IN AN AQUAPONIC SYSTEM

The article examines the impact of potassium sulfate (K_2SO_4) supplementation on the yield and biochemical composition of leaf lettuce in aquaponic systems. The study was conducted under two aquaponic conditions: a control line, where plants received nutrients solely from fish waste, and an experimental line, where potassium sulfate was added to the water at a concentration of 0.5 g/dm^3 .

According to the results, lettuce yield in the control line was 2042.74 g/m^2 , while in the experimental line, it reached 3497.7 g/m^2 , which is 71.2% higher. The biomass of plants in the experimental line was also greater, with the maximum plant bundle weight reaching 390 g compared to 340 g in the control. Plant morphology parameters also improved: the maximum plant length in the control line was 53 cm, while in the experimental line, it reached 71 cm.

To assess the chemical composition of water, potassium content, ammonium nitrogen, and nitrate nitrogen levels were measured. Nitrate nitrogen analysis showed that its concentration in the control line increased from 9 mg/dm³ to 30.4 mg/dm³, while in the experimental line, it remained at 6.4 mg/dm³. The ammonium ion content decreased to 1.63 mg/dm³ in the experimental line and to 4.53 mg/dm³ in the control line. At the same time, potassium content in the water of the control variant was 8.89 mg/dm³, whereas in the experimental line, it reached 55.2 mg/dm³, indicating the positive effect of potassium sulfate supplementation on the conversion of ammonium nitrogen compounds into nitrate nitrogen and an overall increase in nitrogen uptake by leaf lettuce plants.

Chlorophyll content was also measured. In the experimental line, chlorophyll *a* was 0.79 mg/g, and chlorophyll *b* was 1.65 mg/g, whereas in the control line, these values were 0.74 mg/g and 1.54 mg/g, respectively.

Overall, the results demonstrate the positive effect of potassium sulfate addition on yield, morphometric characteristics, and the chemical composition of leaf lettuce in aquaponic systems.

Keywords: aquaponics; lettuce; yield; water quality monitoring; nutrients; vitamin C; nitrates; chlorophylls *a* and *b*; potassium nutrition; ammonium nitrogen and nitrate nitrogen.

Лукащук Л. Я., к.с.-г.н., с.н.с., Маркарян В. В., м.н.с. (Інститут сільськогосподарства Західного Полісся, с. Шубків), rivne_apv@ukr.net), Ященко Л. А., к.с.-г.н., доцент, Чернявська К. А., студентка (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, l.a.yashchenko@nuwm.edu.ua, cherniavska_az21@nuwm.edu.ua)

РЕАЛІЗАЦІЯ ПОТЕНЦІАЛУ ПРОДУКТИВНОСТІ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ (*Zea mays* L.) УКРАЇНСЬКОЇ СЕЛЕКЦІЇ РІЗНИХ ГРУП СТИГЛОСТІ У ЗАХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ ЗА ПРОВЕДЕННЯ ПОЗАКОРЕНЕВИХ ПІДЖИВЛЕНЬ

Дослідження орієнтоване на вивчення впливу позакореневих підживлень мікродобривами «Оракул мультикомплекс» і «Оракул біоцинк» та росту активуючого препарату «Вимпел» на фоні мінерального удобрення $N_{120}P_{90}K_{120}$ на ефективність використання фотосинтетично активної радіації (ФАР) і відповідно на урожайність кукурудзи на зерно в умовах Західного Лісостепу. Дослідження проводили на темно-сірому опідзоленому ґрунті з гібридами української селекції різних груп стиглості: ранньостиглим (ФАО 170), середньораннім (ФАО 270) і середньостиглим (ФАО 300). Визначено, що рівень використання ФАР ($K_{\text{ФАР}}$) є ключовим чинником для досягнення максимального рівня врожайності, оскільки він має прямий кореляційний вплив на програмовану урожайність кукурудзи. Результати показали, що $K_{\text{ФАР}}$ змінюється залежно від групи стиглості культури та використання добрив. Так, ранньостиглий гібрид ДН Нур (ФАО 170) вирізнявся найнижчим $K_{\text{ФАР}}$ у досліді як без підживлення, так і за позакореневих підживлень. Виявлено, що підживлення мікродобривами та препаратом, що активує ріст, на фоні повного мінерального удобрення підвищує коефіцієнт використання ФАР. Зокрема, для гібриду ДН Галатея (ФАО 260) рівень $K_{\text{ФАР}}$ досяг 1,40%, що наблизило урожайність середньораннього гібриду до рівня середньостиглого. Найбільші прирости урожайності спостерігалися у варіантах із позакореневими підживленнями у фазу 3–5 і 7–8 листків, що підтверджує важливість своєчасного застосування цих препаратів для оптимізації

фотосинтетичних процесів у рослинах. Це дозволяє максимізувати потенціал гібридів української селекції, підвищуючи їх ефективність у конкретних агрокліматичних умовах.

Ключові слова: кукурудза; група стиглості; урожайність; фотосинтетично активна радіація; коефіцієнт використання; кореляція.

Постановка проблеми. Кукурудза – одна із основних культур світового сільськогосподарського виробництва, що пов'язано з її використанням як на харчові, так і енергетичні потреби. Універсальність використання, висока потенційна врожайність кукурудзи сприяє попиту на зерно цієї культури як на зовнішньому, так і на внутрішньому ринках, що сприяє збільшенню її посівних площ, зокрема, і в Україні [1]. Наразі на українському ринку присутні понад 2500 сортів і гібридів кукурудзи, з яких близько 300 вітчизняної селекції. Це є посівний матеріал з досить високим потенціалом: урожайністю, стійкістю до стресових умов, вологовіддачею зерна при збиранні [2].

Проблема ефективного використання потенціалу гібридів кукурудзи є актуальною для сучасного сільського господарства. Особливо гостро вона постає в контексті зміни кліматичних умов та необхідності забезпечення продовольчої безпеки [3]. За спостереженням науковців, агрокліматичні умови вегетації гібридів кукурудзи виявляють значний вплив на продуктивність культури. Зазначається, що підвищення температури до певного рівня може сприяти зростанню врожайності деяких пізніх ярих культур в більш «прохолодних» частинах земної кулі, але за умови оптимального вологозабезпечення [4].

Таким чином, ареал вирощування кукурудзи в Україні зміщується в зону стійкого вологозабезпечення, якою на сьогодні є територія Західного Полісся і Лісостепу [5]. Так, у Рівненській області площі зайняті під кукурудзою за останнє десятиліття збільшилися майже у 2,7 рази, а урожайність зросла у 1,8 рази, сягаючи 8,7 т/га [6]. Проте даний показник урожайності зерна кукурудзи не реалізує потенційні можливості сучасних гібридів. Серед причин, що стримують ріст урожайності кукурудзи, відчутну роль відіграє недостатня вивченість питань сортової агротехніки нових гібридів – ключових чинників формування оптимальної врожайності та зменшення

виробничих витрат [7]. За даними досліджень вплив вибору гібриду на урожайність культури сягає 20–50%, агротехнологічних заходів 30–60% і погодних умов – 20% [8].

Крім того, кліматичні умови різних регіонів країни істотно відрізняються і тому можуть істотно впливати на тривалість вегетації культури. Температурний режим є одним із ключових факторів, обмежуючим ріст і розвиток рослин кукурудзи [9]. Вегетація цієї теплолюбної культури обмежується датою стійкого переходу середніх добових температур повітря через 10° С. У рослин за температури повітря нижче 6,5° С призупиняється формування листя, а за різких коливань – ростові процеси і подовжується період вегетації культури. Весняні й осінні приморозки до мінус 2–3° С, які спостерігаються у північних регіонах країни, можуть повністю пошкодити сходи або зупинити вегетацію. Тому існує потреба використання у виробництві гібридів з різними типами реакції на мінливість умов середовища, з широким адаптивним потенціалом для гарантованого врожаю в умовах змінних метеорологічних чинників на бідних за поживним складом ґрунтах [10].

Пристосованість до умов зовнішнього середовища відіграє важливу роль у забезпеченні високих урожаїв зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості [11–13]. Особливе значення у забезпеченні продуктивності культури відводиться її живленню. Завдяки добре розвиненій кореневій системі кукурудза здатна поглинути поживні речовини з глибших шарів ґрунту, а високий показник біомаси потребує посиленого забезпечення елементами живлення [14; 15]. У середньому на 1 т зерна з відповідною кількістю стебел і листя рослини використовують 24–30 кг азоту, 10–12 кг фосфору і 25–30 кг калію, по 6–10 кг магнію і кальцію [16]. Проте посилений винос елементів може бути частково компенсований залишенням нетоварної частини урожаю у полі з подальшим заорюванням і включенням елементів у біологічний кругообіг. Тому реалізація потенційної продуктивності кукурудзи в умовах змін клімату стає викликом для сільгоспвиробників [17].

Метою дослідження є оцінка впливу рівня використання фотосинтетично активної радіації (ФАР) на програмовану врожайність гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах Західного Лісостепу, а також визначення ефективності позакореневого підживлення для

покращення використання ФАР і наближення реального врожаю до потенційно можливого.

Методика досліджень. Дослідження проведені у польовому досліді в межах землекористування Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН. Ґрунт дослідної ділянки темно-сірий опідзолений. Попередник – ячмінь ярий.

Загальний фон живлення становив внесення мінеральних добрив (аміачна селітра, подвійний суперфосфат, калій хлористий) у дозі $N_{120}P_{60}K_{120}$. Позакореневе підживлення проводили мікродобривом та стимулятором росту рослин: у фазах 3–5 листків внесення препаратів «Вимпел» (0,5 кг/га) + «Оракул мультикомплекс» (1 dm^3 /га) та у фазі 7–8 листків «Вимпел» (0,5 кг/га) + «Оракул мультикомплекс» (1 dm^3 /га) + «Оракул біоцинк» (1 dm^3 /га).

Для дослідження було обрано гібриди кукурудзи, що вирощувалися на зерно, різних груп стиглості української селекції:

- ранньостигла (ФАО 150-199): **ДН НУР (ФАО 170)**. Оригінатор: Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України;

- середньорання (ФАО 200-299): **ДН Галатея (ФАО 260)**. Оригінатор: Інститут сільського господарства степової зони Національної академії аграрних наук України;

- середньостиглий (ФАО 300-399): **ДН Деметра (ФАО 300)**. Оригінатор: Державна установа Інститут сільського господарства степової зони Національної академії аграрних наук України.

Технологія вирощування культури традиційна. Допосівний обробіток ґрунту включав лушення стерні на глибину 6–8 см, оранку на зяб глибиною 20–22 см, ранньовесняне закриття вологи та передпосівний обробіток весною комплексними агрегатами. Сівбу кукурудзи проводили в першій декаді травня. Глибина висівання насіння 4–5 см.

Ґрунт дослідної ділянки – темно-сірий опідзолений на лесових породах характеризувався наступними агрохімічними показниками у 0–20 см шарі: реакція ґрунтового розчину слабо кисла (рН сольовий 5,43 од.); низьким вмістом гумусу (за Тюрнімом) 1,72%; низьким вмістом легкогідролізних сполук азоту (за Корнфільдом) 120 мг/кг ґрунту, підвищеним вмістом рухомих сполук фосфору та калію (за Кірсановим) відповідно 127 та 141 мг/кг ґрунту.

Погодні умови вегетаційного періоду кукурудзи у роки досліджень відрізнялися від середньої багаторічної норми (рис. 1, 2).

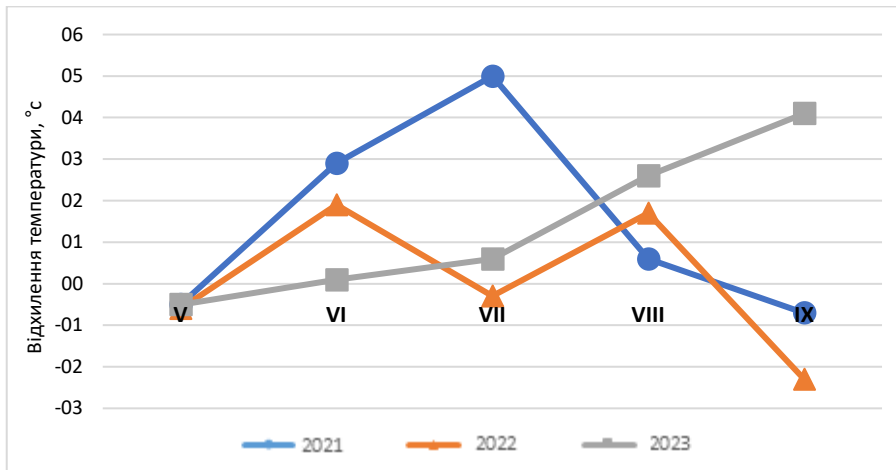


Рис. 1. Відхилення середньомісячних температур повітря від середньобагаторічної за вегетаційний період кукурудзи на зерно, °C

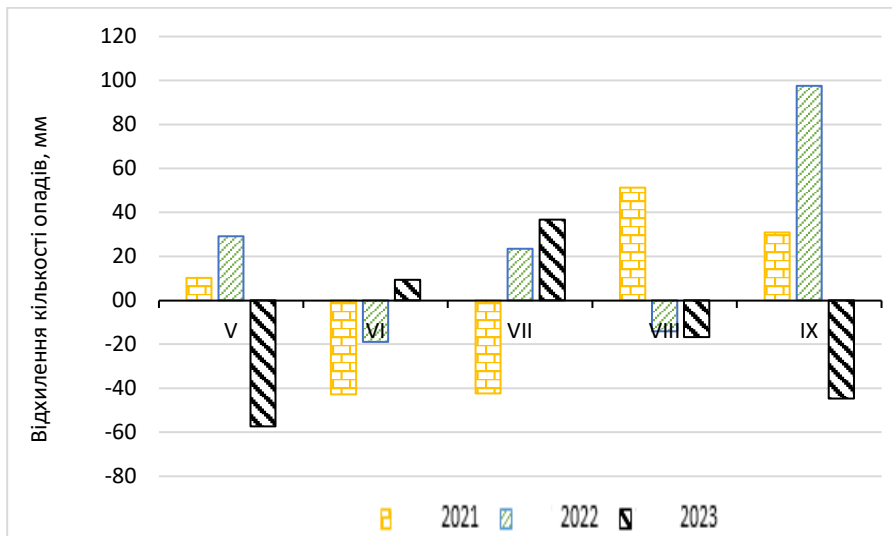


Рис. 2. Відхилення кількості опадів від середньобагаторічного показника за вегетаційний період кукурудзи на зерно, мм

Кількість опадів за роки дослідження істотно відрізнялися. Так, за 2021 р. спостерігали збільшення кількості опадів на 30,9 мм від норми, за 2022 р. цей показник збільшився аж до 97,6 мм від норми, проте за 2023 р. кількість опадів значно знизилася від кліматичної

норми на 44,7 мм. За період вегетації кукурудзи у 2021–2022 рр. сума ефективних температур ($> 10^{\circ}\text{C}$) становила 1439,5–1421,6 $^{\circ}\text{C}$, у 2023 р. відповідно становила сума температур 1476,4 $^{\circ}\text{C}$. Отже, вегетація 2022 р. вирізнялася зниженням середньомісячної температури вересня до -2°C , тоді як вегетація 2023 р. мала вищу суму активних температур і дефіцит вологи, що впливало на продуктивність культури у різні роки у досліджуваній зоні вирощування.

Результати досліджень та обговорення. Урожайність сільськогосподарських культур, зокрема кукурудзи, значною мірою залежить від кліматичних умов, зокрема від рівня використання фотосинтетично активної радіації (ФАР). Коефіцієнт використання ФАР є важливим інструментом для визначення потенційної урожайності культури, оскільки він враховує максимальне засвоєння ФАР за умов забезпечення рослини всіма необхідними факторами для росту.

Програмування врожаїв полягає у досягненні максимальної продуктивності через оптимальну організацію агрофітоценозу, де важливим аспектом є мінеральне живлення рослин. Реалізація потенційної урожайності безпосередньо залежить від ґрунтово-кліматичних умов та застосованих технологій вирощування, що мають забезпечити повне використання потенціалу культури.

Розрахунки показали, що надходження ФАР до посівів кукурудзи в період вегетації коливалося від 141,1 до 146,5 кДж/см² залежно від групи стиглості гібридів. Згідно з методикою А. О. Нічипоровича, програмування урожайності значно змінюється залежно від рівня використання ФАР (табл. 1). У сучасних умовах землеробства коефіцієнт використання ФАР може становити 0,5–3%, що дозволило провести розрахунки програмованої урожайності для вказаних показників. Отримані дані дозволили побудувати кореляційну залежність між програмованою урожайністю та рівнем використання ФАР і визначити рівняння кореляційної залежності між показниками (рис. 3).

Таблиця 1

Програмована потенційна урожайність гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від $K_{\text{ФАР}}$

Коефіцієнт ФАР, %	ДН Нур (ФАО 170)	ДН Галатея (ФАО 260)	ДН Деметра (ФАО 300)
0,5	4,0	4,1	4,2
1	8,0	8,1	8,3
1,5	12,0	12,2	12,5
2	16,0	16,2	16,6
2,5	20,0	20,3	20,8
3	24,1	24,4	25,0

Результати розрахунків показали, що програмована потенційна урожайність гібридів кукурудзи різних груп стиглості змінюється в залежності від коефіцієнта використання ФАР (див. табл. 1). Так, при коефіцієнті використання ФАР на рівні 3% потенційна урожайність могла б досягти 25,0 т/га зерна для гібриду ДН Деметра (ФАО 300).

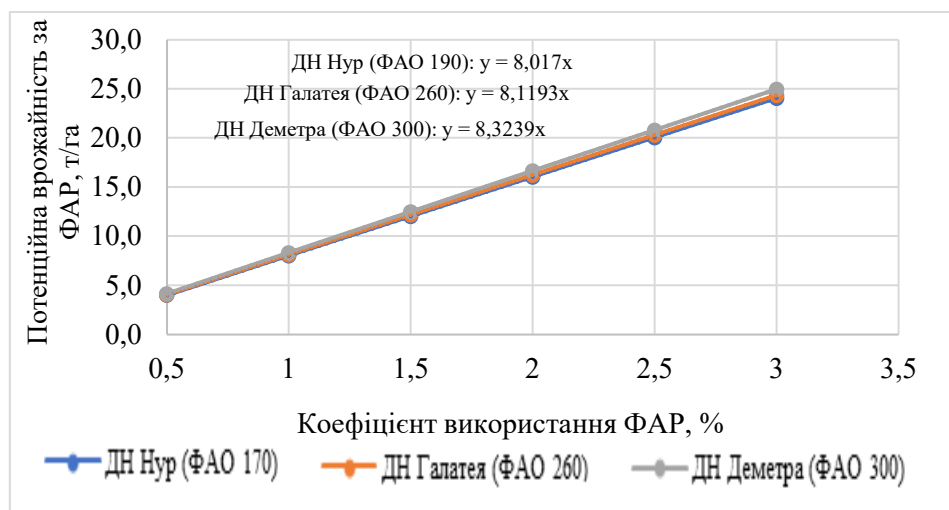


Рис. 3. Залежність програмованої врожайності від рівня використання ФАР у посівах гібридів кукурудзи різних груп стиглості

Отримані рівняння залежності урожайності від $K_{\text{ФАР}}$ дозволили оцінити ефективність використання фотосинтетичної активної радіації у посівах за реально отриманим урожаєм і встановити групу стиглості

кукурудзи, яка більшою мірою реалізує свій потенціал в конкретних умовах вирощування.

Кукурудза – одна з найбільш продуктивних культур, рівень урожайності якої залежить від періоду вегетації, групи стиглості та умов вирощування [18]. В умовах Західного Лісостепу за вирощування в досліді на темно-сірому ґрунті забезпечило істотні прирости урожайності між варіантами гібридів різних груп стиглості (табл. 2).

Застосування мікродобрив і ріст активуючих речовин у позакореневе підживлення сприяло додатковим приростам урожайності зерна в усіх групах стиглості культури порівняно з варіантами без підживлення. Найбільший приріст 1,2 т/га від підживлення отримано у середньораннього гібриду ДН Галатея. Дослідженнями Мокрієнка В. А. встановлено, що урожайність зерна кукурудзи збільшується на 0,8–1,0 т/га за збільшення $K_{\text{ФАР}}$ на 0,1% [19].

Таблиця 2

Урожайність зерна кукурудзи та $K_{\text{ФАР}}$ у середньому
за 2021–2023 рр.

Гібрид (фактор А)	Удобренья (фактор Б)	Середня фактична урожайність зерна, т/га	Розрахункова величина $K_{\text{ФАР}}$ для фактичного урожаю, %
ДН Нур (ФАО 170)	без підживлень	9,2	1,14
	із позакореневим підживленням	9,8	1,22
ДН Галатея (ФАО 260)	без підживлень	10,1	1,24
	із позакореневим підживленням	11,3	1,40
ДН Деметра (ФАО 300)	без підживлень	10,8	1,30
	із позакореневим підживленням	11,4	1,27
НІР ₀₅	фактор А	0,39	
	фактор Б	0,32	
	фактор АБ	0,55	

Слід зауважити, що приріст урожайності зерна середньопізнього гібриду ДН Деметра був неістотним порівняно з попереднім варіантом, що свідчить про менш виражений вплив позакореневого удобрення

на гібрид пізнішого строку досягання. Найменш продуктивним у досліді був ранньостиглий гібрид ДН НУР.

Кореляційна залежність між рівнем використання ФАР (x) та програмованою урожайністю кукурудзи (y) дозволяє більш точно оцінити ефективність використання фотосинтетичної активної радіації в умовах конкретного регіону та визначити оптимальні значення коефіцієнта ФАР для різних гібридів. Так, без підживлення для ранньостиглого гібриду НД НУР (ФАО 170) розрахований показник $K_{\text{ФАР}}$ в умовах виробництва становить 1,14%, для середньораннього ДН Галатея (ФАО 260) – 1,24 і для середньостиглого ДН Деметра (ФАО 300) – 1,30%. Тоді як за дворазового підживлення препаратами «Вимпел» (0,5 кг/га) + «Оракул мультикомплекс» (1 дм³/га) у фазу 3–5 листків та додаванням до них «Оракул біоцинк» (1 дм³/га) у фазі 7–8 листків $K_{\text{ФАР}}$ у посівах зростає до 1,22% і 1,40% у ранньо- і середньоранніх гібридів, тоді як у середньостиглого показник $K_{\text{ФАР}}$ знижується до 1,27%.

Відсутність істотного впливу підживлення на урожайність зерна кукурудзи середньостиглого гібриду ДН Деметра може бути зумовлено пониженням температур у вересні 2022 року нижче нуля градусів, що негативно вплинуло на тривалість вегетаційного періоду такої теплолюбної культури як кукурудза. За твердженням Іваніва М. О., вплив погодних умов збільшується відповідно збільшенню групи стиглості гібридів кукурудзи [20].

Висновки. В умовах Західного Лісостепу на темно-сірому опідзоленому ґрунті для забезпечення наближення фактичної продуктивності гібридів кукурудзи української селекції до потенційних можливостей рекомендовано проведення позакореневих підживлень у фазу 3–5 і 7–8 листків мікродобривами і ріст активуючими препаратами, що підвищує ефективність використання фотосинтетично активної радіації до рівня 1,40% у гібриду середньоранньої групи стиглості (ФАО 260), що наближає урожайність культури до рівня середньостиглої групи (ФАО 300).

1. Василішин С., Винограденко С., Дьяконов С. Потенціал виробництва кукурудзи на зерно в контексті зміцнення продовольчої безпеки України та світу. *Таврійський науковий вісник. Сер. Економіка*. 2022. № 12. С. 10–19. <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.12.2>. 2. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво. Київ : Вид-во Аграрна освіта, 2001. 591 с. 3. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Дронова О. О. Вплив агрокліматичних умов на продуктивність кукурудзи при зміні клімату в східному степу України.

Український гідрометеорологічний журнал. 2012. № 11. С. 154–162. URL: <http://uhmj.odeku.edu.ua/vplyv-agroklimatychnyh-umov-na-produktyvnist-kukurudzy-pry-zmini-klimatu-v-shidnomu-stepu-ukrayiny/>. (дата звернення: 11.02.2025).

4. Польовий А. М., Костюкевич Т. К., Толмачова А. В., Жигайло О. Л. Вплив кліматичних змін на формування продуктивності кукурудзи в Західному Лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип. 1(109). DOI: 10.31521/2313-092X/2021-1(109).

5. Грабовський М. Б. Вплив гідротермічних умов вегетації на урожайність гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах Центрального Лісостепу України. *Агробіологія*. 2014. № 1 (109). С. 57–62.

6. Польовий В., Лукашук Л., Лук'яник М. Вплив змін клімату на розвиток рослинництва в умовах Західного регіону. *Вісник аграрної науки*. 2019. Вип. 97(9). С. 29–34. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201909-04>.

7. Гончаренко С. І. Інноваційні ресурсозберігаючі технології як фактор підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. *Вісник Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка*. 2017. Вип. 185. С. 131–142.

8. Архипенко Ф. М., Артюшенко О. О., Кухарчук П. І. Агротехнічні заходи підвищення продуктивності та поживності кукурудзи. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 6. С. 15–18.

9. Штукін М. О., Оничко В. І. Особливості підбору гібридів кукурудзи для умов північно-східного Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Агрономія і біологія*. 2013. № 11. С. 212–217.

10. Волощук О. П., Волощук І. С., Глива В. В., Пашак М. О. Біологічні вимоги гібридів кукурудзи до умов вирощування в Західному Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2019. Вип. 65. С. 22–36. DOI: [https://www.doi.org/10.32636/01308521.2019-\(65\)-3](https://www.doi.org/10.32636/01308521.2019-(65)-3).

11. Вожегова Р., Лавриненко Ю., Марченко Т., Пілярська О., Скакун В. Удосконалення елементів агротехніки вирощування нових гібридів кукурудзи в умовах Центрального Лісостепу України. *Вісник аграрної науки*. 2023. Вип. 101(11). С. 5–10.

12. Дзюбецький Б. В., Рибка В. С., Черчель В. Ю. Скоростиглі гібриди як фактор енерго- і ресурсозбереження у виробництві зерна кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2007. Вип. 53. С. 27–36.

13. Cazarim P. H., Shimizu G. D., Fantin L. H., Silva M. A. D. A., Zucareli C. Grain yield performance of corn in different plant arrangements. *Revista Caatinga*. 2023. Vol. 36. P. 532–542. URL: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/yyFFnk6Wj9wrkrqkhq8wspM/>. (дата звернення: 11.02.2025).

14. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів : НВФ «Українські технології», 2006. 730 с.

15. Khalafi A., Mohsenifar K., Gholami A. et al. Corn (*Zea mays* L.) Growth, Yield and Nutritional Properties Affected by Fertilization Methods and Micronutrient Use. *Int. J. Plant Prod*. 2021. Vol. 15. P. 589–597. <https://doi.org/10.1007/s42106-021-00148-2>.

16. Лихочвор В. В., Проць Р. Р. Кукурудза. Львів : НВФ «Українські технології», 2002. 46 с.

17. Стукало Б. В., Городиська І. М. Особливості вирощування

кукурудзи в умовах зміни клімату. *Наукові основи реалізації принципів кліматично орієнтованого сільського господарства в агросфері України* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених. 2024. С. 101–104. URL: <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2024/05/>. (дата звернення: 11.02.2025). **18.** Паламарчук В. Д., Дідур І. М., Колісник О. М., Алексєєв О. О. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу Правобережного : монографія. Вінниця : Друк, 2020. 536 с. **19.** Мокрієнко В., Гудзовата О., Таран В., Приндюк Я., Повлін І. Особливості формування продуктивності кукурудзи в умовах достатнього зволоження. *Науковий вісник Закарпатського угорського інституту ім. Ф. Ракоці*. 2017. Т. 4. С. 53–57. **20.** Іванів М. О. Мінливість урожайності гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах зрошення залежно від ґрунтово-екологічних умов. *Таврійський науковий вісник*. 2012. № 81. С. 59–64.

REFERENCES:

1. Vasylishyn S., Vynohradenko S., Diakonov S. Potentsial vyrobnytstva kukurudzy na zerno v konteksti zmitsnennia prodovolchoi bezpeky Ukrainy ta svitu. *Tavriyskyi naukovyi visnyk. Ser. Ekonomika*. 2022. № 12. С. 10–19. <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.12.2>.
2. Zinchenko O. I., Salatenko V. N., Bilonozhko M. A. Roslynnytstvo. Kyiv : Vyd-vo Ahrarna osvita, 2001. 591 s.
3. Polovyi A. M., Bozhko L. Yu., Dronova O. O. Vplyv ahroklimatychnykh umov na produktyvnist kukurudzy pry zmini klimatu v skhidnomu stepu Ukrainy. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal*. 2012. № 11. С. 154–162. URL: <http://uhmj.odeku.edu.ua/vplyv-agroklimatychnyh-umov-na-produktyvnist-kukurudzy-pry-zmini-klimatu-v-shidnomu-stepu-ukrayiny/>. (data zvernennia: 11.02.2025).
4. Polovyi A. M., Kostiukievych T. K., Tolmachova A. V., Zhyhailo O. L. Vplyv klimatychnykh zmin na formuvannia produktyvnosti kukurudzy v Zakhidnomu Lisostepu Ukrainy. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*. 2021. Vyp. 1(109). DOI: 10.31521/2313-092X/2021-1(109).
5. Hrabovskiy M. B. Vplyv hidrotermichnykh umov vehetatsii na urozhainist hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti v umovakh Tsentralnoho Lisostepu Ukrainy. *Ahrobiolohiia*. 2014. № 1 (109). С. 57–62.
6. Polovyi V., Lukashchuk L., Lukianyk M. Vplyv zmin klimatu na rozvytok roslynnytstva v umovakh Zakhidnoho rehionu. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2019. Vyp. 97(9). С. 29–34. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201909-04>.
7. Honcharenko S. I. Innovatsiini resursozberihaiuchi tekhnolohii yak faktor pidvyshchennia efektyvnosti silskohospodarskoho vyrobnytstva. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Petra Vasylenka*. 2017. Vyp. 185. С. 131–142.
8. Arkhypenko F. M., Artiushenko O. O., Kukharchuk P. I. Ahrotekhnichni zakhody pidvyshchennia produktyvnosti ta pozhyvnosti

kukurudzy. *Visnyk ahrarynoi nauky*. 2005. № 6. S. 15–18. **9.** Shtukin M. O., Onychko V. I. Osoblyvosti pidboru hibrydiv kukurudzy dlia umov pivnichno-skhidnoho Lisostepu Ukrainy. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu. Ser. Ahronomiia i biolohiia*. 2013. № 11. S. 212–217. **10.** Voloshchuk O. P., Voloshchuk I. S., Hlyva V. V., Pashchak M. O. Biolohichni vymohy hibrydiv kukurudzy do umov vyroshchuvannia v Zakhidnomu Lisostepu. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo*. 2019. Vyp. 65. S. 22–36. DOI: [https://www.doi.org/10.32636/01308521.2019-\(65\)-3](https://www.doi.org/10.32636/01308521.2019-(65)-3). **11.** Vozhehova R., Lavrynenko Yu., Marchenko T., Piliarska O., Skakun V. Udoshkonalennia elementiv ahrotekhniki vyroshchuvannia novykh hibrydiv kukurudzy v umovakh Tsentralnoho Lisostepu Ukrainy. *Visnyk ahrarynoi nauky*. 2023. Vyp. 101(11). S. 5–10. **12.** Dziubetskyi B. V., Rybka V. S., Cherchel V. Yu. Skorostyhlі hibrydy yak faktor enerho- i resursozberezhennia u vyrobnytstvi zerna kukurudzy. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2007. Vyp. 53. S. 27–36. **13.** Cazarim P. H., Shimizu G. D., Fantin L. H., Silva M. A. D. A., Zucareli C. Grain yield performance of corn in different plant arrangements. *Revista Caatinga*. 2023. Vol. 36. P. 532–542. URL: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/yyFFnk6Wj9wrkrqkhq8wspM/>. (data zvernennia: 11.02.2025). **14.** Lykhochvor V. V., Petrychenko V. F. Roslynnytstvo. Suchasni intensyvni tekhnolohii vyroshchuvannia osnovnykh polovykh kultur. Lviv : NVF «Ukrainski tekhnolohii», 2006. 730 s. **15.** Khalafi A., Mohsenifar K., Gholami A. et al. Corn (*Zea mays* L.) Growth, Yield and Nutritional Properties Affected by Fertilization Methods and Micronutrient Use. *Int. J. Plant Prod*. 2021. Vol. 15. P. 589–597. <https://doi.org/10.1007/s42106-021-00148-2>. **16.** Lykhochvor V. V., Prots R. R. Kukurudza. Lviv : NVF «Ukrainski tekhnolohii», 2002. 46 c. **17.** Stukalo B. V., Horodyska I. M. Osoblyvosti vyroshchuvannia kukurudzy v umovakh zminy klimatu. *Naukovi osnovy realizatsii pryntsyviv klimatychno oriientovanoho silskoho hospodarstva v ahrosferi Ukrainy : materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh*. 2024. S. 101–104. URL: <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2024/05/>. (data zvernennia: 11.02.2025). **18.** Palamarchuk V. D., Didur I. M., Kolisnyk O. M., Aliksieiev O. O. Aspekty suchasnoi tekhnolohii vyroshchuvannia vysokokrokhmalnoi kukurudzy v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho : monohrafiia. Vinnytsia : Druk, 2020. 536 s. **19.** Mokriienko V., Hudzovata O., Taran V., Pryndiuk Ya., Povlin I. Osoblyvosti formuvannia produktyvnosti kukurudzy v umovakh dostatnoho zvolozhennia. *Naukovyi visnyk Zakarpatskoho uhorskoho instytutu im. F. Rakotsi*. 2017. T. 4. S. 53–57. **20.** Ivaniv M. O. Minlyvist urozhaivosti hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti v umovakh zroshennia zalezho vid gruntovo-ekolohichnykh umov. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2012. № 81. S. 59–64.

Lukashchuk L. Ya., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Research Fellow, Markarian V. V., Junior Research Fellow (Institute of Agriculture of Western Polissia of NAAS, vil. Shubkiv), **Yashchenko L. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Cherniavska K. A., Senior Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

REALIZATION OF THE PRODUCTIVITY POTENTIAL OF MAIZE (ZEA MAYS L.) HYBRIDS OF UKRAINIAN SELECTION OF DIFFERENT MATURITY GROUPS IN THE WESTERN FOREST-STEPPE UNDER FOLIAR FERTILIZATION

The study focuses on investigating the effect of foliar fertilization with microfertilisers "Orakul Multicomplex" and "Orakul Biozink" and growth stimulant "Vypel" against the background of mineral fertilization $N_{120}P_{90}K_{120}$ on the efficiency of photosynthetically active radiation (PAR) use and consequently on the grain yield of maize under the conditions of the Western Forest Steppe zone in Ukraine. The relevance of this study is driven by global climate change, which is leading to increased weather instability, changes in temperature regimes and reduced precipitation in some regions. Under such conditions, it is important to find ways to optimise photosynthetic processes in plants, which is necessary to ensure stable and high yields of agricultural crops. The research was conducted on dark grey podzolic soil in the Rivne district. For experiments was use the hybrids of Ukrainian breeding from different maturity groups: early (FAO 170), medium-early (FAO 270) and medium-mature (FAO 300). It was found that the level of PAR utilisation (K_{PAR}) is a key factor in achieving maximum yield levels, as it has a direct correlation with the programmed yield of maize. The results showed that K_{PAR} varied depending on the maturity group of the crop and the fertiliser used. For example, the early maturing hybrid DN NUR (FAO 170) had the lowest K_{PAR} in the study, both with and without foliar fertilisation. It was found that the use of microfertilisers and growth stimulants against a background of full mineral fertilisation increased K_{PAR} . In particular, for the hybrid DN Galatea (FAO 260), K_{PAR} reached 1.40%, which brought the yield of the medium-early hybrid closer to that of the medium-maturing hybrid DN Demetra (FAO 300). The highest yield increases were

observed in the foliar fertilisation treatments at the 3–5 and 7–8 leaf stages, confirming the importance of timely application of these products to optimise photosynthetic processes in plants. This approach allows the maximisation of the maize hybrids potential of Ukrainian breeding, enhancing their effectiveness under specific agroclimatic conditions.

***Keywords:* corn; maturity group; productivity; photosynthetically active radiation; utilization factor; correlation.**

УДК 621.311+620.9:665.7-049.7(477) <https://doi.org/10.31713/vs120259>

Максютов А. О., к.пед.н., доцент, Брикін Є. В., викладач-стажист (Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань, andriy.maksyutov@udpu.edu.ua, ye.v.brykin@udpu.edu.ua),
Брежицька О. А., к.с.-г.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, l.a.bregucka@nuwm.edu.ua)

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ НАФТОПРОДУКТІВ В УКРАЇНІ

У статті розглянуто сучасні енерго- та ресурсозберігаючі технології, які застосовуються у нафтопереробній промисловості України.

Особливу увагу приділено методам зменшення енергоспоживання та підвищення екологічної безпеки, включаючи рекуперацію тепла, замкнуті цикли водо- та пароспоживання, використання інноваційних каталізаторів і інтеграції відновлюваних джерел енергії.

В результаті дослідження встановлено чинники, які обмежують впровадження новітніх технологій: високі економічні витрати, застаріле обладнання, недостатня нормативно-правова база та брак кваліфікованих фахівців.

Запропоновано комплексні заходи для вирішення цих проблем, включаючи державну підтримку, міжнародне співробітництво та створення сприятливих умов для інвестицій у дану галузь.

Проведене дослідження підкреслює важливість інтеграції інноваційних рішень для забезпечення сталого розвитку нафтопереробної галузі України.

Ключові слова: технології виробництва; нафтопереробка; енергоефективність; ресурсозбереження; крекінг; піроліз; риформінг; рекуперація тепла; замкнуті цикли; каталізатори; екологічна безпека; сталий розвиток; державна підтримка; інновації.

Постановка проблеми. Раціональне використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки технологічних процесів є одним із ключових завдань сучасної економіки України. Це особливо актуально для галузей, пов'язаних із переробкою викопних енергоносіїв, зокрема нафтопродуктів. Високий рівень енергоспоживання та значний екологічний вплив традиційних технологій переробки нафтопродуктів потребують системного переосмислення і впровадження інноваційних підходів до їх оптимізації.

Нафтопереробна галузь в Україні відіграє важливу роль у забезпеченні енергетичних потреб держави, але водночас створює значне техногенне навантаження на довкілля через викиди парникових газів, утворення відходів та високі витрати енергії. Україна має обмежені ресурси власної нафти та значною мірою залежить від імпорتنих енергоносіїв. У зв'язку з цим підвищення ефективності процесів переробки нафтопродуктів є важливим стратегічним завданням.

Особливої уваги потребує вдосконалення існуючих технологій крекінгу, піролізу, риформінгу та інших методів, які мають значний потенціал для зниження енергоспоживання та покращення коефіцієнта використання сировини. Крім того, впровадження екологічно безпечних та енергоефективних методів обробки викидів дозволить значно зменшити їхній негативний вплив на атмосферу.

На сьогодні однією з основних проблем є низька інтеграція сучасних енерго- та ресурсозберігаючих рішень у виробничі процеси через високу вартість інноваційного обладнання, відсутність єдиних стандартів для оптимізації процесів і брак інвестицій у модернізацію нафтопереробних підприємств. Крім того, складність технологічних процесів, що супроводжуються багатофакторними хімічними і фізичними явищами, ускладнює їх адаптацію до сучасних екологічних вимог.

Таким чином, розвиток та впровадження новітніх енерго- та ресурсозберігаючих технологій переробки нафтопродуктів є актуальним напрямком, який має велике значення для енергетичної безпеки, екологічної стабільності та економічного зростання України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових досліджень, присвячених особливостям впровадження сучасних технологій у сфері нафтопереробної промисловості, свідчить про

зростання зацікавленості науковців та фахівців у вирішенні екологічних і технологічних проблем цієї галузі, серед яких Бойченко С. В. [1], Топільницький П. І. [1], Черняк Л. М. [1], Вамболь В. В. [2], Захарчук О. В. [3], Вишневецька О. В. [3], Колісник С. О. [4], Курта С. А. [5], Харченко Ю. А. [7]. Особливу увагу дослідники приділяють оцінці впливу нафтопереробних підприємств на навколишнє середовище. Дослідження підкреслюють важливість інтеграції новітніх технологій і раціонального використання ресурсів для забезпечення стійкого розвитку нафтопереробної промисловості. Вони створюють основу для подальших наукових і практичних рішень у цьому напрямку.

Мета і завдання досліджень: - охарактеризувати особливості впровадження та використання енерго- та ресурсозберігаючих технологій переробки нафтопродуктів, а також визначити перспективи їх подальшого розвитку в Україні з метою підвищення ефективності використання ресурсів і мінімізації негативного впливу на довкілля;

- дослідити принципи організації та експлуатації енерго- і ресурсозберігаючих технологій переробки нафтопродуктів;

- оцінити практичне значення використання енергоефективних підходів щодо підвищення продуктивності нафтопереробних підприємств;

- визначити сучасні перспективи та передумови для створення і впровадження новітніх технологій переробки нафтопродуктів, орієнтованих на зменшення енергоспоживання та підвищення екологічної безпеки;

- проаналізувати чинники, що обмежують використання сучасних енерго- та ресурсозберігаючих технологій, і запропонувати шляхи їх подолання в умовах української економіки.

Виклад основного матеріалу досліджень. Україна, як країна з високим рівнем енергоспоживання та обмеженими або важкодоступними запасами власних енергоносіїв, стикається з викликом раціонального використання ресурсів та впровадження екологічно безпечних технологій. Нафтопереробна галузь є критично важливою складовою енергетичного сектору, але водночас вона є джерелом значного техногенного навантаження на навколишнє середовище. Викиди парникових газів, утворення твердих і рідких відходів, високі витрати енергії – усе це вимагає модернізації

технологічних процесів та впровадження енерго- і ресурсозберігаючих технологій.

Нафтопереробка включає низку термічних процесів, таких як крекінг, піроліз та риформінг, які характеризуються значними енергетичними витратами та впливом на довкілля. Основною метою модернізації цих процесів є зменшення енергоспоживання, підвищення екологічної безпеки та ефективності виробництва.

Нафтопереробні підприємства мають значний вплив на всі основні компоненти навколишнього середовища: атмосферу, гідросферу та літосферу. Однією з основних причин цього є складність і масштабність процесів, які використовуються для переробки нафти. Концепція сталого розвитку людства передбачає такий підхід до розвитку, який забезпечує задоволення потреб сучасного покоління без нанесення шкоди екосистемам і не створює загрози для майбутніх поколінь у їхньому прагненні задовольнити власні потреби. Захист атмосфери, стан якої погіршується через антропогенну діяльність, став однією з найгостріших міжнародних проблем останніх десятиліть.

У містах, розташованих поблизу промислових об'єктів та джерел викидів, а також у прилеглих районах, значною проблемою залишається традиційне забруднення атмосфери. Воно зумовлюється присутністю у повітрі дрібнодисперсного пилу, оксидів сірки, азоту, вуглецю та різноманітних вуглеводнів. Нерозсудливе використання природних ресурсів може призвести до глибокої екологічної кризи, наслідки якої найбільше позначаться на людському суспільстві.

Особливу загрозу становить широке застосування нафтопродуктів як палива. У процесі їх спалювання в атмосферу потрапляє значна кількість вуглекислого газу, оксидів сірки, азоту, дрібних твердих частинок і незгорілих вуглеводнів. Щорічно людство спалює близько 3,5 мільярдів тонн нафтового палива, при цьому витрачаючи понад 8 мільярдів тонн кисню [1, С. 110].

Під час переробки нафтопродуктів, таких як крекінг, піроліз та риформінг, утворюються значні обсяги газоподібних викидів, серед яких оксиди азоту (NO_2), сірки (SO_2) та вуглецю (CO_2). Оксиди сірки й азоту, взаємодіючи з водяною парою в атмосфері, сприяють утворенню кислотних дощів, які знижують родючість ґрунтів, ушкоджують рослинність і погіршують якість водних ресурсів. Викиди CO_2 є основною причиною глобального потепління та зміни клімату.

Нафтопереробні заводи споживають великі обсяги води для охолодження та забезпечення роботи технологічних процесів. Проте після використання вода забруднюється нафтопродуктами, хімічними сполуками та залишками від каталітичних процесів. У разі недостатньої очистки ці стоки можуть потрапляти у водні об'єкти, спричиняючи їх евтрофікацію (збагачення азотом і фосфором), зниження вмісту кисню та загибель водних організмів.

У процесах переробки утворюються тверді залишки, такі як зола, шлаки та каталітичні відходи. Вони часто містять токсичні метали, зокрема ванадій і нікель, які можуть проникати у ґрунт та підземні води, створюючи довготривалий негативний вплив.

Однією з характерних рис українських нафтопереробних заводів є низька ефективність очисних установок. Більшість обладнання застаріло, а рівень очищення відпрацьованих газів і рідин часто не відповідає міжнародним екологічним стандартам. Це збільшує техногенне навантаження на довкілля [7, С. 40].

Процеси переробки, такі як крекінг, піроліз і риформінг, мають високий енергетичний потенціал, однак вони також є одними з найбільш енергоємних і складних з технічної точки зору.

Крекінг є процесом розщеплення великих молекул вуглеводнів на менші, що дозволяє отримати бензин, дизельне паливо та інші легкі фракції. Цей процес потребує температур до $600\text{--}700^{\circ}\text{C}$ та високого тиску. Енергетичні втрати на етапі нагрівання сировини є значними, а застарілі реакторні установки не здатні ефективно використовувати вироблену енергію. Наприклад, у процесі крекінгу лише 65–70% теплової енергії використовується ефективно, решта втрачається у вигляді теплових викидів у довкілля [5, С. 55].

Піроліз – це процес, який дозволяє отримати хімічні продукти, такі як етилен і пропілен, шляхом нагрівання вуглеводнів до температур понад 800°C у безкисневому середовищі. Цей процес споживає величезні обсяги енергії через високу температуру реакцій, а також створює значні труднощі в управлінні енергетичними потоками. Традиційне обладнання для піролізу не оснащене сучасними системами рекуперації тепла, що ще більше збільшує втрати енергії.

Каталітичний риформінг є процесом покращення якості бензинових фракцій через підвищення їх октанового числа. Основна проблема полягає у використанні дорогих каталізаторів (наприклад,

на основі платини) та високих енергетичних витрат, пов'язаних із підтриманням температури процесу (до 500°C). Застарілі системи теплового управління не дозволяють ефективно відновлювати енергію, що втрачається під час роботи.

Основною сировиною для процесів каталітичного риформінгу є прямоточні бензинові фракції, до складу яких входять парафіни, нафтени та ароматичні вуглеводні з вуглецевим числом у межах $\text{C}_6\text{--C}_{10}$. Після проведення ретельного очищення до них додають бензини, отримані в результаті вторинних процесів, таких як термічний крекінг, коксування, а також бензини з установок гідроочищення керосинових фракцій, виробництва дизельного пального, гідрокрекінгу та каталітичного крекінгу. Розробляються також технологічні схеми переробки бензинів, отриманих із установок гідрогенізації вугілля, сланців, а також із синтез-газу. Для отримання високоактивних компонентів бензину використовують фракції, температура кипіння яких знаходиться в діапазоні $85\text{--}180^{\circ}\text{C}$. У виробництві ароматичних вуглеводнів з вуглецевим числом $\text{C}_6\text{--C}_8$ застосовують фракції з температурою кипіння в межах $65\text{--}150^{\circ}\text{C}$ [6, С. 197].

Більшість українських нафтопереробних заводів використовують застаріле обладнання, що не адаптоване до сучасних вимог енергоефективності. Наприклад, лише 60–70% енергії, що споживається, використовується безпосередньо у технологічних процесах, тоді як решта втрачається через низький рівень ізоляції та відсутність систем рекуперації тепла. Крім того, складність управління високотемпературними потоками обмежує можливості модернізації виробництва [5, С. 55].

Під час обробки природного газу та газового конденсату, а також зберігання сировини в резервуарах, утворюється осад, що складається з механічних домішок, які містяться в сировині. З часом цей осад перетворюється на нафтовий шлам, що накопичується на дні резервуарів і ємностей. Нафтошлами класифікуються як відходи і містять в своєму складі нафтові вуглеводні, тверді частки, ароматичні сполуки, метали та інші небезпечні речовини, що робить їх непридатними для викиду в навколишнє середовище [2, С. 33]. З цієї причини нафтошлами потребують спеціалізованих методів поводження.

Утилізація нафтошламів є важливою для зниження негативного впливу на навколишнє середовище і здоров'я людини. Сучасні

технології обробки нафтошламів включають різні методи, такі як біологічне очищення, термічну обробку та використання відходів для отримання енергії, що дозволяє зменшити кількість і небезпеку цих відходів. Аналіз наявних технологій поводження з нафтовими шламами має велике значення для екології та ефективного використання ресурсів. Він включає вивчення й оцінку різних методів утилізації цих відходів, що допомагає вибрати оптимальні підходи. Цей аналіз дозволяє визначити найбільш ефективні методи чи їх комбінацію для утилізації нафтових шламів, забезпечуючи як екологічну безпеку, так і економічну вигоду. Крім того, важливо враховувати місцеві законодавчі вимоги та стандарти у галузі поводження з небезпечними відходами.

Деякі методи обробки нафтошламів складаються з трьох основних етапів: зменшення утворення нафтового шламу, відновлення нафти з нафтового шламу та утилізація залишкових відходів. Перший етап сприяє запобіганню утворенню шламу, тоді як інші два етапи зосереджуються на ефективній обробці нафтових відходів. Вибір найбільш підходящого методу очищення залежить від таких факторів, як склад нафтового осаду, ефективність методу, витрати та можливість утилізації відходів. Тому важливо ретельно оцінювати різні підходи до утилізації, аби забезпечити загальну ефективність і безпеку процесу. З урахуванням усіх переваг та недоліків наявних технологій, необхідно розробити або вдосконалити більш екологічні та економічно доцільні методи безпечної утилізації нафтових шламів, що відповідають сучасним вимогам безпеки та охорони навколишнього середовища.

Аналізуючи проблематику сучасної переробки нафтопродуктів, можна виокремити дві ключові складові, які потребують особливої уваги: екологічний вплив і технічна неефективність. Значний рівень викидів парникових газів, токсичних речовин і теплових відходів є наслідком застарілих технологій та недостатньої модернізації підприємств. З іншого боку, технічні бар'єри, такі як висока енергоємність процесів крекінгу, піролізу та риформінгу, ускладнюють інтеграцію новітніх рішень.

Однак існують сучасні енерго- та ресурсозберігаючі технології, які спрямовані на подолання цих викликів. Вони забезпечують ефективніше використання енергії, мінімізацію негативного впливу на довкілля та покращення економічних показників. Розглянемо

детальніше ключові підходи, які вже демонструють високу ефективність.

Рекуперація тепла є одним із найефективніших методів підвищення енергоефективності переробки нафтопродуктів. Під час роботи термічних установок велика частка енергії втрачається у вигляді теплових викидів. Сучасні теплообмінники дозволяють уловлювати це тепло, яке інакше залишалося б невикористаним, і повертати його у виробничий цикл.

Теплообмінники, що використовуються для рекуперації, побудовані на принципі передачі тепла від гарячих газів до холодних рідин або газів. Завдяки цьому повторно використовується до 30% теплової енергії, яка раніше втрачалася. Це дозволяє суттєво зменшити споживання викопних енергоносіїв [8, С. 40]. Рекуперація тепла не лише знижує енергоспоживання, але й дозволяє зменшити витрати на паливо. В умовах високих цін на енергоносії цей підхід забезпечує швидке повернення інвестицій у встановлення відповідного обладнання. Використання рекуператорів знижує кількість теплових викидів в атмосферу, що сприяє зменшенню локального перегрівання та зниженню рівня парникових газів.

Проблема значного споживання води у переробці нафтопродуктів вимагає запровадження замкнутих циклів водо- і пароспоживання. Цей підхід спрямований на мінімізацію впливу на гідросферу шляхом очищення та повторного використання водних ресурсів. У таких системах вода, що використовується для охолодження або технологічних процесів, після очистки повертається у виробничий цикл. Очищення здійснюється за допомогою багатоступневих фільтрів, які видаляють хімічні домішки та залишки нафтопродуктів [4, С. 27]. Замкнуті цикли дозволяють зменшити витрати на водозабір та очистку стічних вод. Це особливо важливо для підприємств, розташованих у регіонах із дефіцитом водних ресурсів. Завдяки замкнутим циклам скорочується кількість стічних вод, які могли б потрапити у природні водойми. Це зменшує ризик забруднення гідросфери та зберігає екосистеми.

Застосування сучасних каталізаторів є ключовим елементом у зниженні енерговитрат та підвищенні ефективності процесів. Новітні каталізatori на основі наноматеріалів демонструють високу активність у реакціях піролізу та крекінгу. Завдяки цим матеріалам можливо знизити робочі температури процесів до 450° С, що суттєво

зменшує енергоспоживання [7, С. 70]. Підвищення виходу цільових продуктів на 25–30% дозволяє зменшити собівартість виробництва. Окрім того, сучасні каталізатори мають тривалий термін служби, що знижує витрати на їх заміну. Завдяки використанню каталізаторів знижується кількість побічних продуктів і відходів, які потребують додаткової утилізації.

Інтеграція відновлюваних джерел енергії у нафтопереробну галузь стає актуальним завданням, особливо в умовах зростання цін на традиційні викопні енергоносії. Додавання біодизеля до традиційного дизельного палива дозволяє зменшити викиди парникових газів на 20–25%. Це сприяє зниженню техногенного навантаження на атмосферу [3, С. 31]. Використання відновлюваних джерел енергії для допоміжних процесів, таких як освітлення та нагрівання, дозволяє скоротити споживання викопного палива.

Незважаючи на ефективність енерго- та ресурсозберігаючих рішень, їх інтеграція у нафтопереробну галузь стикається з численними викликами. Висока вартість впровадження новітніх технологій, таких як системи рекуперації тепла або замкнуті цикли водоспоживання, є значним бар'єром для підприємств. Наприклад, модернізація одного заводу може коштувати кілька мільйонів доларів [4, С. 35]. Недостатність нормативно-правової бази у сфері енергоефективності ускладнює адаптацію новітніх технологій на рівні галузі. Впровадження новітніх технологій потребує спеціалістів, які володіють сучасними знаннями у сфері енергоефективності.

Розгляд сучасних енерго- та ресурсозберігаючих технологій свідчить про значний потенціал для модернізації нафтопереробної галузі України. Рішення, такі як рекуперація тепла, замкнуті цикли водо- та пароспоживання, а також використання новітніх каталізаторів, вже довели свою ефективність у зменшенні енергоспоживання та негативного впливу на навколишнє середовище. Однак, впровадження цих рішень у промислових масштабах стикається із численними викликами, серед яких економічні обмеження, брак стандартів і необхідність залучення іноземних інвестицій.

Для успішної реалізації таких технологій необхідний стратегічний підхід на національному рівні. Це передбачає розробку державної програми модернізації галузі, міжнародне співробітництво та створення стимулюючих умов для підприємств. Перспективи

розвитку нафтопереробної галузі України значною мірою залежать від цих системних змін.

Державна підтримка відіграє ключову роль у забезпеченні модернізації нафтопереробних підприємств. Розробка єдиної державної програми з енергоефективності має включати кілька основних напрямків. Податкові пільги для підприємств, які інвестують у впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій, можуть стати стимулом для їх модернізації. Наприклад, підприємства, що впроваджують замкнуті цикли водоспоживання або системи рекуперації тепла, можуть отримувати знижені ставки податку на прибуток. Це дозволить зменшити фінансове навантаження на початковому етапі впровадження технологій. Виділення державних субсидій або кредитів на вигідних умовах для підприємств, що проводять модернізацію виробничих потужностей, сприятиме швидшому переходу галузі до екологічно безпечних технологій. Наприклад, часткове покриття витрат на встановлення теплообмінників або закупівлю сучасних каталізаторів може значно зменшити фінансові бар'єри. Впровадження сучасних енергоефективних технологій потребує оновлення законодавства та створення єдиних стандартів для оцінки ефективності технологічних процесів. Це включає розробку показників енергетичної ефективності, які стануть обов'язковими для підприємств галузі. Підготовка кадрів для роботи з новітніми технологіями є критично важливою складовою державної стратегії. Навчальні програми та тренінги для інженерів, технологів і керівників підприємств забезпечать належний рівень знань для впровадження сучасних рішень.

Інтеграція України у глобальні ініціативи з декарбонізації та впровадження відновлюваних джерел енергії може значно прискорити процес модернізації нафтопереробної галузі. Співпраця з міжнародними фінансовими інституціями, такими як Світовий банк або Європейський банк реконструкції та розвитку, може забезпечити доступ до довгострокових кредитів на вигідних умовах. Наприклад, інвестиції у проекти зі встановлення систем очищення викидів або замкнутих водних циклів можуть бути підтримані міжнародними програмами екологічного розвитку. Міжнародне співробітництво сприятиме запозиченню передового досвіду та технологій у сфері енергоефективності. Наприклад, європейські країни, які впровадили замкнуті цикли на своїх підприємствах, можуть стати партнерами у

розробці аналогічних рішень для українських заводів. Приєднання до міжнародних програм, таких як Паризька кліматична угода, зобов'язує країни скорочувати викиди парникових газів. У межах цих зобов'язань Україна може отримувати фінансову та технічну допомогу для модернізації галузі. Участь у грантових програмах, спрямованих на підтримку екологічних ініціатив, дозволить отримати фінансування для впровадження новітніх технологій. Наприклад, гранти на розробку систем рекуперації тепла або заміну старих установок можуть стати важливим джерелом фінансування.

Висновки. Таким чином, проведений аналіз свідчить, що впровадження сучасних енерго- та ресурсозберігаючих технологій переробки нафтопродуктів є важливим і нагальним завданням для нафтопереробної галузі України. Застаріле обладнання, високі енергетичні витрати та значне техногенне навантаження на довкілля визначають необхідність модернізації виробничих процесів із використанням новітніх технологічних рішень.

Розвиток нафтопереробної промисловості вимагає системного підходу, який включає підвищення енергоефективності, мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище та інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Одним із ключових напрямів є впровадження технологій рекуперації тепла, замкнутих циклів водо- та пароспоживання, а також сучасних каталізаторів. Усе це сприяє зменшенню споживання енергоносіїв, скороченню викидів шкідливих речовин та підвищенню виходу цільових продуктів.

Разом із цим, важливим завданням залишається створення сприятливих умов для модернізації підприємств. Це включає розробку державної стратегії підтримки, участь у міжнародних екологічних ініціативах та залучення інвестицій.

Отже, забезпечення сталого розвитку нафтопереробної галузі України є можливим лише за умови поєднання інноваційних підходів, економічної підтримки та відповідального ставлення до збереження природних ресурсів.

1. Оцінка екологічного впливу нафтопереробного підприємства на навколишнє середовище / Бойченко С. В., Пузік О. Г., Топільницький П. І., Черняк Л. М., Романчук В. В., Бабатунд О., Каземир Л. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2016. № 4. С. 109–122. 2. Вамболь В. В., Горобець Д. О. Нафтошламами від переробки газу – Проблема чи ресурс. *Екологія. Довкілля. Енергозбереження* : IV Міжнародна науково-практична конференція. 2023.

С. 33–36. **3.** Захарчук, О. В., Вишневецька, О. В. Ринок нафти та нафтопродуктів в Україні. *Економіка АПК*. 2020. № 10. С. 29–37. **4.** Колісник С. О. Механізми державного регулювання розвитку нафтопереробного комплексу в Україні : навч. посіб. Житомир : Державний університет Житомирська Політехніка, 2023. С. 1–21. **5.** Курта С. А. Основи нафтохімії : навч. посіб. Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2020 193 с. **6.** Іваницький Г. К., Степанюк А. Р. Процеси та обладнання глибокої переробки органічної сировини: конспект лекцій : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 Галузеве машинобудування, освітня програма підготовки «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 292 с. **7.** Харченко Ю. А. Напрями вдосконалення операційної системи підприємств нафтогазової галузі. *Ефективна економіка*. 2022. № 2. С. 1–8. **8.** Шкурін М. І. Розроблення та проектування електропривода з програмованим логічним контролером для установок нафтопереробної промисловості : кваліфікаційна робота на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2024. 93 с.

REFERENCES:

1. Otsinka ekolohichnoho vplyvu naftopererobnoho pidpriemstva na navkolyshnie seredovyshche / Boichenko S. V., Puzik O. H., Topilnytskyi P. I., Cherniak L. M., Romanchuk V. V., Babatund O., Kazemyr L. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*. 2016. № 4. С. 109–122. **2.** Vambol V. V., Horobets D. O. Naftoshlamamy vid pererobky hazu – Problema chy resurs. *Ekolohiia. Dovkillia. Enerhozberezhennia* : IV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia. 2023. С. 33–36. **3.** Zakharchuk, O. V., Vyshnevetska, O. V. Rynok nafty ta naftoproduktiv v Ukraini. *Ekonomika APK*. 2020. № 10. С. 29–37. **4.** Kolisnyk S. O. Mekhanizmy derzhavnoho rehuliuвання розвитку naftopererobnoho kompleksu v Ukraini : navch. posib. Zhytomyr : Derzhavnyi universytet Zhytomyrska Politehnika, 2023. С. 1–21. **5.** Kurta S. A. Osnovy naftokhimii : navch. posib. Ivano-Frankivsk : Prykarpatskyi natsionalnyi universytet imeni Vasylia Stefanyka, 2020 193 s. **6.** Ivanytskyi H. K., Stepaniuk A. R. Protsesy ta obladnannia hlybokoi pererobky orhanichnoi syrovyny: konspekt lektsii : navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 133 Haluzeve mashynobuduvannia, osvithnia prohrama pidhotovky «Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii proektuvannia obladnannia khimichnoi inzhenerii». Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2021. 292 s. **7.** Kharchenko Yu. A. Napriamy vdoskonalennia operatsiinoi systemy pidpriemstv naftohazovoi haluzi. *Efektivna ekonomika*. 2022. № 2. С. 1–8. **8.** Shkurin M. I. Rozroblennia ta proiektuvannia elektropryvoda

122

z proqramovanyym lohichnym kontrolerom dlia ustanovok naftopererobnoi promyslovosti : kvalifikatsiina robota na zdobuttia druhoho (mahisterskoho) rivnia vyshchoi osvity zi spetsialnosti 141 «Elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika». Poltava : Natsionalnyi universytet imeni Yuriia Kondratiuka, 2024. 93 s.

Maksiutov A. O., Candidate of Pedagogic Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Brykin Y. V., Intern Teacher (Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman), Brezhytska O. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

MODERN APPROACHES AND PROSPECTS FOR THE USE OF ENERGY- AND RESOURCE- SAVING TECHNOLOGIES IN OIL REFINING IN UKRAINE

The article examines modern energy- and resource-saving technologies applied in the oil refining industry of Ukraine.

Particular attention is paid to methods for reducing energy consumption and enhancing environmental safety, including heat recovery, closed water and steam consumption cycles, the use of innovative catalysts, and the integration of renewable energy sources. The relevance of pollution of the main components of the environment, in particular, atmospheric air and water resources, is emphasized.

The analysis identifies key challenges limiting the implementation of advanced technologies, such as high economic costs, outdated equipment, insufficient regulatory framework, and a lack of qualified personnel. Studying the problems of modern processing of oil products, two key components that require special attention are singled out: environmental impact and technical inefficiency. A significant level of emissions of greenhouse gases, toxic substances and thermal waste is a consequence of outdated technologies and insufficient modernization of enterprises.

Comprehensive measures are proposed to address these issues, including government support, international cooperation, and the creation of favorable investment conditions. In order to reduce the consumption of energy carriers, reduce emissions of harmful substances and increase the yield of target products, the introduction

of heat recovery technologies, closed cycles of water and steam consumption, as well as modern catalysts is proposed.

The conclusions emphasize the importance of integrating innovative solutions to ensure the sustainable development of Ukraine's oil refining sector.

***Keywords:* oil refining; energy efficiency; resource saving, cracking; pyrolysis; reforming; heat recovery; closed cycles; catalysts; environmental safety; sustainable development; government support; innovation.**

Максютов А. О., к.пед.н., доцент (Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань, Черкаська область, andriy.maksyutov@udpu.edu.ua), **Скиба В. П., к.с.-г.н., доцент** (Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, skiff_vika@ukr.net), **Стецюк Л. М., к.с.-г.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, l.m.stetsuk@nuwm.edu.ua)

ГЕОЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШИШКОВЕЦЬКОГО РОДОВИЩА ГІПСУ

У статті розглянуто геоекологічні умови одного з найбільших в східній Європі родовища гіпсу (Шишківського родовища Чортківського району Тернопільської області), а також охарактеризовані основні технологічні та організаційні рішення при його освоєнні та функціонуванні.

Встановлено, що Шишківське родовище відпрацьовується шахтним способом, з чим пов'язані проблеми, зокрема забруднення водного басейну (включаючи підземні води), забруднення повітря, проблеми обвалення та затоплення.

В результаті проведеного дослідження був визначений загальний вплив шахти на довкілля, а також екологічні проблеми технологій виробництва.

У цьому науковому доробку наведено: геолого-генетичну, інженерно-геологічну та гідрологічну характеристику Шишківського гіпсового родовища. Детально вивчено геологічну будову промислової товщі гіпсу.

У дослідженні визначено основні технологічні та організаційні рішення розробки родовища, виявлено спосіб розкриття шахтного поля, досліджено заходи безпеки при різних роботах на шахті.

Ключові слова: технології виробництва; екологічна безпека; гіпсове родовище; будівельна промисловість; гірничо-видобувні роботи.

Постановка проблеми. Україна багата на природний гіпс, поклади якого є в західних та східних регіонах країни. Цей екологічний

негорючий матеріал має давню історію використання та випробувань у багатьох галузях промисловості.

На сьогодні охорона навколишнього середовища при відкритій та підземній розробці гіпсових родовищ набуває все більш істотного значення, тому що необхідно врахувати екологічні фактори, які повинні сприяти мінімізації впливу на стан навколишнього природного середовища в результаті технологічних процесів, пов'язаних із розвідкою, підготовкою родовища та особливо очисною виймкою.

Сучасні темпи споживання гіпсу показують, що на сільське господарство припадає 5% від загального споживання гіпсу. Ще 10–15% від загального споживання припадає на промисловість. Ця група включає скляну промисловість, ливарне виробництво, буріння, агрохімічне та кормове виробництво, виробництво барвників, клеїв, пластмас, харчову та фармацевтичну промисловість. Решта гіпсового каменю повністю використовується у виробництві матеріалів на основі гіпсу, що застосовуються в будівельному секторі, таких як змішаний гіпс для будівництва, штукатурка, шпаклівка, різні будівельні перегородки та фарби [1].

Отже, питання освоєння та функціонування гіпсових родовищ в Україні є вкрай актуальним завданням, що стоїть перед економікою нашої країни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових праць, присвячених особливостям експлуатації підприємств із видобування гіпсу засвідчує великий інтерес до означеного питання.

Зокрема, праці Білецького В. [1], Дерев'янко В., Кондратьєва Н., Гришко Г. [4], Іванова Є. [5], Кітури В., Сивого М. [6], Ковальчука І., Ключника В. [7], Суярко В., Величко В., Гаврилюка О. [13] підтверджують необхідність дослідження сучасних технологій видобування гіпсових матеріалів з позиції раціонального природокористування.

Мета і завдання досліджень. Вивчення геоекологічних умов експлуатації Шишківського гіпсового родовища Чортківського району Тернопільської області, а також визначення факторів впливу шахти на навколишнє середовище.

Виклад основного матеріалу досліджень. Як відомо, гіпс є поширеним в природі мінералом, що містить CaO – 32,56%, SO_3 – 46,51%, H_2O – 20,93%. У природі гіпс зустрічається у вигляді агрегатних

кристалів, таких як крупнозернисті (таблетки), призматичні, стовпчасті, здвоєні, грубозернисті, листяні, волокнисті та цукроподібні поклади. Як домішки присутні глини, кварц, карбонати та органічні сполуки. Гіпс зазвичай утворює великі шаруваті поклади з вапняком, мергелем, глиною і піском. Гіпс також виникає як вторинний продукт процесу гідратації безводного гіпсу та окислення сірчистих мінералів і сірки [4, С. 13].

Гіпс використовують для виготовлення в'язучих матеріалів, внутрішніх оздоблювальних робіт, гіпсування ґрунту в медицині. Його застосовують також для зняття масок, моделювання скульптури, створення рельєфних прикрас (ліпнини) у приміщеннях. З давніх-давен гіпс є популярним матеріалом для різьблення.

У межах Тернопільської області зустрічаються приховані кристали, великі кристали та шаруватий гіпс, причому перший тип є найпоширенішим. Всі види мають високу якість. На балансі області перебуває шість родовищ гіпсу з промисловими запасами 25,89 млн тонн. Найбільшим є Шишковецьке родовище в Чортківському районі Тернопільської області (розвідані запаси понад 20 млн тонн). Видобування гіпсу в Шишковецькому родовищі ведеться (закритим) шахтним шляхом [8].

Підземне відпрацювання родовищ впливає на всі елементи природного середовища (надра, літосферу, гідросферу, атмосферу). На різних стадіях освоєння родовища відбуваються різні зміни того чи іншого середовища, так Білецький В. [1] запропонував структуру основних забруднень довкілля у зоні дії гірничих підприємств:

1) на стадії геологічної розвідки відбувається: незначне порушення структури надр; порушення літосфери; забруднення поверхневих вод; акустичне, механічне, незначне хімічне забруднення атмосфери;

2) на стадії видобутку корисних копалин: порушення структури надр; порушення літосфери; порушення гідрологічного балансу підземних, ґрунтових та поверхневих вод; акустичне, механічне, хімічне забруднення атмосфери;

3) на стадії збагачення родовища: відторгнення літосфери; механічне, хімічне, теплове забруднення гідросфери; шумове, теплове, механічне, хімічне забруднення атмосфери [1].

Проведення гірничих робіт як в кар'єрах, так і в шахтах викликає забруднення повітря газами і твердими частинками. Насичення

повітря пилом відбувається з допомогою розмаху відкритих відвалів та інших оголених місць [13, С. 278].

Таблиця 1

Вплив гірничого виробництва на довкілля [11, С. 91]

Елемент біосфери	Вплив	Результат дії
Підземні води	Осушення родовищ, скидання стічних та дренажних вод	Зменшення запасів вод, порушення гідрологічного режиму
Поверхневі води	Осушення та перенесення водойм та водотоків, скидання стічних та дренажних вод, водоспоживання	Забруднення водного басейну стічними та дренажними водами
Повітряний басейн	Викиди в атмосферу пилу та газів	Забруднення (запилення та загазовування) атмосфери
Ґрунт	Проведення гірничих виробок, спорудження відвалів, хвостосховищ, будівництво будівель, споруд, доріг	Деформація земної поверхні, порушення ґрунтового покриву, скорочення площ сільськогосподарських угідь, забруднення та ерозія ґрунту
Флора та фауна	Будівництво будівель, споруд, доріг, вирубування лісів, забруднення ґрунту, води, повітря, шумове забруднення	Погіршення умов проживання, міграції та скорочення чисельності, видів живих організмів, зниження врожайності сільськогосподарських угідь, продуктивності тваринництва, рибного та лісового господарства
Надра	Проведення гірничих виробок, вилучення корисних копалин, що вміщують і розкритих порід, осушення і потім обводнення родовищ, займання корисних копалин і порід, поховання шкідливих речовин, скидання стічних вод	Зміна напружено-деформованого стану масиву, зниження якості корисних копалин, цінності родовища, зрушення та обвалення

Серйозні проблеми створює надходження сильно запиленого повітря з кар'єрів внаслідок вибухів, земляних та вантажно-розвантажувальних робіт. Один автосамоскид забруднює за зміну до гранично допустимого рівня 3,7 млн м³ повітря. При потужних вибухах маса порід, що вибухають, зазвичай становить 2 млн т, а обсяг пило-газової хмари – 15–20 млн м³.

Максимальне забруднення повітря відбувається у відбоях гірничої виробки при бурінні шпурів і свердловин, проведенні вибухових робіт, вторинному дробленні, навантаженні та транспортуванні гірничої маси [5, С. 334].

Головні отруйні домішки рудничного повітря:

- оксид вуглецю (CO_2) – газ без кольору, смаку та запаху, утворюється в шахтах під час вибухових робіт, рудничних пожеж, тління горючих речовин, вибухів метану та вугільного пилу, роботи двигунів внутрішнього згоряння; викликає кисневе голодування людини та швидке отруєння організму;

- сірководень (H_2S) – газ без кольору, з солодкуватим смаком та запахом тухлих яєць, дуже отруйний; з'являється в шахтах в результаті гниття деревини, розкладання шахтними водами порід сірковмісних (гіпс, сірчистий колчедан та інше), виділяється з пластів калійних та інших солей, водних мінеральних джерел, що перетинаються виробками, а також утворюється при горінні;

- сірчистий газ (SO_2) – безбарвний, має кислуватий смак і сильно дратівливий запах, що нагадує запах горіння сірки; утворюється при вибухових роботах у сірковмісних породах, з сульфідних порід, вугілля, іноді засмоктується з поверхні, якщо поблизу розташовані залізничні депо, палаючі відвали порожніх порід;

- діоксид азоту (NO_2) – газ без смаку червоно-бурого кольору з характерним часниковим запахом, надзвичайно отруйний;

- вихлопні гази – складаються з багатьох компонентів, утворюються при неповному спалюванні палива – окисленні сірки, розкладанні складних ефірів мастил;

- метан (CH_4) – газ без кольору, смаку та запаху, сильно горючий та вибухонебезпечний (у поєднанні з пилом) [3].

Крім того, забруднює повітря шахтний пил, найбільш небезпечний вугільний, сланцевий і сульфідний. Тонкодисперсний пил розміром менше 0,1–0,06 мм у поєднанні з трьома горючими газами (метан, кисень і водень) дуже вибухонебезпечний. Гранично

допустимий зміст пилу повітря гірських виробок і очисних виробок залежно від вмісту кремнезему становить 2–10 мг/м³ [7, С. 129].

Необхідність проведення заходів щодо екологізації повітряного середовища при експлуатації гіпсових шахт передбачає: пило- та газопригнічення; електричні, інерційні та фільтраційні методи очищення промислових та вентиляційних викидів; використання роторних фільтрів у системах газо-пиловловлення та реактора-диспергатора для очищення газів; застосування термokatалітичних технологій переробки опадів та адсорбційно-хімічного очищення; використання блочних каталізаторів стільникової структури для знешкодження токсичних компонентів у газових викидах; плазмохімічні та електрофізичні методи очищення відпрацьованих газів.

Експлуатація Шишковецького родовища гіпсу до 2020 року велася відкритим (кар'єрним) шляхом, а з 2021 року на родовищі була побудована шахта і гіпс почали видобувати (закритим) шахтним шляхом. Шахта не є небезпечною за раптовим викидом газу. Усі технологічні процеси на шахті здійснюються відповідно до правил безпеки при розробці родовищ підземним способом [2].

Зниження запиленості повітря забезпечується герметизацією вузлів навантаження та регулярним зрошенням водою транспортних штреків. У камерах розвантаження та дроблення застосовуються знепилюючі установки з рукавними фільтрами.

У 2023 році була модернізована система очищення повітря, було введено в експлуатацію установку нових електрофільтрів, що забезпечило майже 100% очищення повітря. Завдяки цим та багатьом іншим змінам значно зросла ефективність та безпека роботи. У ході модернізації виробництва було реконструйовано систему газоочищення, що дозволило скоротити до мінімуму викиди в атмосферу зважених частинок.

Значного забруднення зазнає також водний басейн. Водовідбір та пов'язане з ним зниження рівня підземних вод призводить до зменшення підземного стоку в річки та водойми. При значних водозниженнях у межах депресійних зон у всіх поверхневих джерелах виснажуються запаси води, знижується водність річок, падає рівень озер та водосховищ, висихають болота, зникають джерела, струмки та дрібні ріки [9].

Скидання шахтних та кар'єрних вод призводить до сильного забруднення підземних та поверхневих вод. При змішуванні шахтних та річкових вод рН падає з 7,9 до 3,6, мінералізація зростає більш ніж у 2 рази, а вміст сульфатів – у 3 рази. Різко збільшується і вміст завислих частинок. Поверхневі води, забруднені шахтними викидами, завдають великої екологічної та матеріальної шкоди [12].

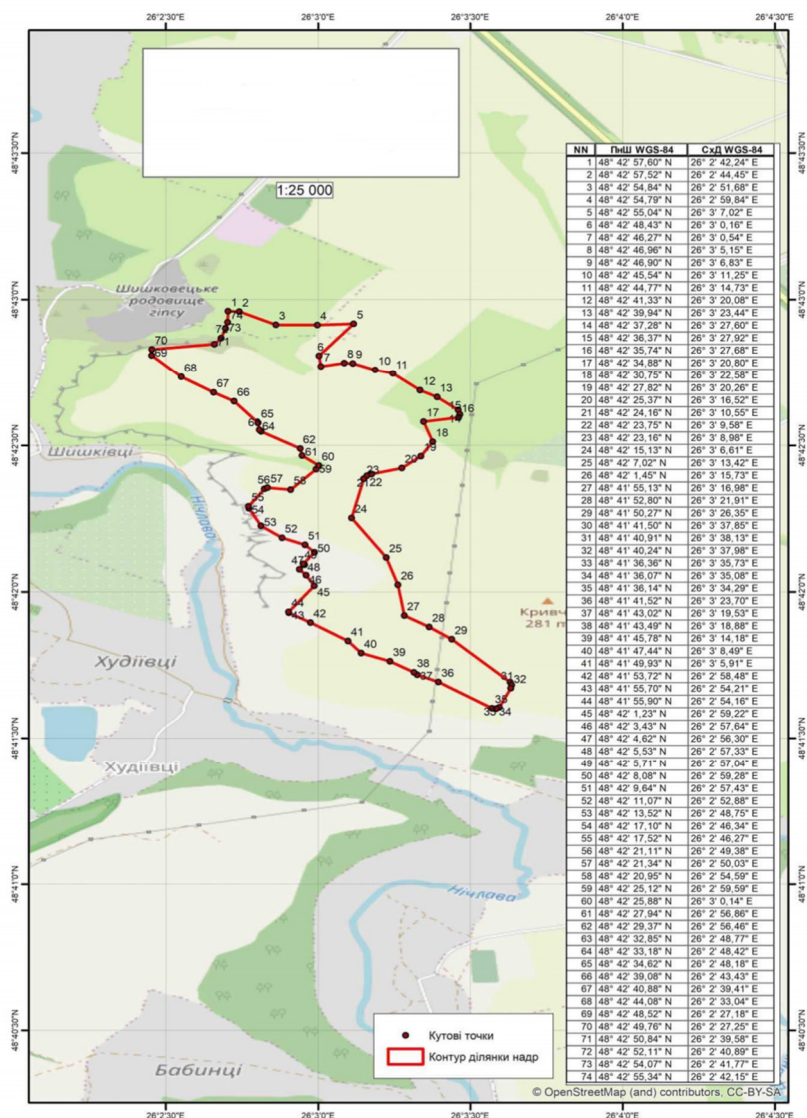


Рисунок. План-схема Шишківського родовища гіпсу та прилеглих територій [12]

Техногенний вплив об'єктів видобутку гіпсу на водний басейн призводить до змін природного режиму поверхневих та підземних вод, їх хімічного забруднення та механічного засмічення.

Особливо велике забруднення стічних вод мінеральними солями на галогенних родовищах; шахтних вод – механічними домішками, важкими металами.

При будівництві та функціонуванні об'єктів видобутку корисних копалин насамперед виникає необхідність осушення. Майже всі родовища осадового типу при відкритих гірничих роботах доводиться осушувати ще до початку розкривних робіт. При великій потужності плавунів, значному тиску води у водоносному горизонті, великих запасах підземних природних водоймищ обов'язково потрібно попереднє осушення [1].

При розробці родовищ під водоймищами, річками або водоносними шарами порід необхідно проводити специфічні заходи – попереднє осушення родовища та збереження (створення) водонепроникних стель – запобіжних ціликів.

Нерідко відбувається змішування поверхневих забруднених стічних і промислових вод із природними підземними водами і зниження несучої здатності ґрунтів і порід, їх деформація [3].

Вкрай важливим є використання підземного простору шахт. Обсяг вільного підземного простору всіх шахт країни становить приблизно 1 млрд м³ капітальних та підготовчих виробок. Технологічний підземний простір включає підготовчі, капітальні та очисні гірничі виробки, що утворилися при підземній розробці родовищ твердих корисних копалин.

Без підземного будівництва не можна уявити сьогоденній розвиток гірничої справи. Види практичного використання підземних гірничих виробок для розміщення об'єктів дуже різноманітні. Вчені та економісти вважають, що багато об'єктів можна і потрібно розміщувати під землею, використовуючи для цього природні та спеціальні камери. Більшість об'єктів промислового та складського призначення на шахтах розміщені в карбонатно-сульфатних (гіпс, вапняк, ангідрид) та галогенних (калійні та кам'яні солі) породах після повної або часткової виїмки корисних копалин.

Проте досі у проєктах підземної розробки родовищ не передбачено подальшого використання штучних порожнин як підземних споруд – об'єктів промислового, оборонного, сільськогосподарського, культурологічного, медичного призначення, як сховищ та могильників. У проєктах відкритої розробки родовищ

такий розділ обов'язково присутній і називається рекультивацією земель (кар'єру) [13].

Сьогодні в усьому світі підвищується інтерес до використання надр для розміщення об'єктів, не пов'язаних із видобутком корисних копалин. Це обумовлено економією поверхні землі, турботою про захист навколишнього середовища, більш високою захищеністю підземних споруд від зовнішніх впливів, сприятливішими умовами для зберігання різних продуктів, низькою вартістю технічної експлуатації об'єктів та в нинішній ситуації захистом від ракетних та дронів атак з боку Російської Федерації.

Які б наземні конструкції не зводилися людиною, у тому числі захисні, їхня міцність не може зрівнятися з міцністю, захисними властивостями скельних порід. У середньому межа: міцності порід на розтягування у 1,5–2, а на стиск у 4–5 разів перевищує аналогічні характеристики для бетону [13].

Розміщення під землею деяких виробництв забезпечує захист та сталість виробничо-комфортних умов (температури, вологості, запиленості, відсутності зовнішніх шумів і вібрацій).

Можливі два шляхи освоєння підземного простору – пристосування та перебудова виробок, що вивільняються від гірничої та технологічної діяльності (виробітку відпрацьованих шахт та підземних споруд різного призначення, виведені з експлуатації), та будівництво спеціальних підземних об'єктів.

Підземні порожнечі, що освоюються, за призначенням поділяються на:

1) промислові – заводи та лабораторії, енергетичні установки, збагачувальні фабрики, ємності-перколятори;

2) сільськогосподарські – сховища харчових запасів, силосні ями, вирощування грибів, розведення форелі;

3) оборонні – заводи, укриття для людей та техніки, пускові ракетні установки, аеродроми;

4) сховища та могильники: сховища нафти, газу та інших стратегічних запасів, резервуари для позабалансової руди та хвостів збагачення; могильники побутових, токсичних, хімічних та радіоактивних відходів;

5) культурологічні – підземні торгові та бізнес-центри, гаражі, музеї, транспортні магістралі, інженерні комунікації;

6) медичні – спелеотерапія в солях, радонові ванни тощо [2].

Під час дослідження нами вивчено геолого-генетичну характеристику Шишківського родовища гіпсу, що займає значну

площу і має пластово-лінзовидну форму, гіпсовий масив представлений ритмічним чергуванням приблизно одних і тих самих різновидів гіпсу.

Вивчено будову промислової товщі гіпсового масиву – в ньому спостерігається близько 6 видів гіпсу (великокристалічний, середньокристалічний, сферолітовий та інші).

В процесі дослідження вивчені основні технологічні та організаційні рішення розробки родовища – шахтне поле розкривається 3 вертикальними стволами за центральною схемою, видача гіпсового каменю на поверхню проводиться скіпами, шахтне поле розділене на панелі, по периметру яких проводяться від центру до флангів горизонтальні гірничі виробки. Виїмка ведеться камерно-стовповою системою розробки із залишенням стрічкових ціликів розміром 9×50 м, відокремлення гіпсового каменю в камері здійснюється буропідричним шляхом.

Таблиця 2

Заходи щодо раціонального використання мінеральних ресурсів та охорони надр [створено Максютовим А. О.]

Група заходів	Коло вирішуваних завдань	Варіанти напрямів робіт
Технологічні	Запобігання втратам, зниження розбіжності та інтенсивності руйнування масиву	Вибір оптимальних способів відпрацювання родовища (відкритого, підземного та ін.), схем розтину, способів управління гірським тиском, механізації гірничих робіт, транспорту гірничої маси, варіантів заповнення виробленого простору, використання підземного простору
	Підвищення ефективності освоєння надр, зниження негативного впливу на довкілля	Удосконалення техніки та технології видобутку та переробки корисних копалин, зниження викидів шкідливих речовин, вторинне використання підземних порожнин, оборотної води, порід з відвалів, хвостосховищ

продовження табл. 2

Захисно-профілактичні	Охорона некондиційних запасів у надрах, водоносних горизонтів, об'єктів на поверхні	Зміцнення бортів кар'єрів, хвостосховищ та укосів відвалів
	Зниження розмірів депресійних вирв, збереження якості ґрунтових вод	Влаштування захисних завіс навколо кар'єру, зон обвалення, водознижувальних дренажних систем, організація водопостачання в районах розвитку депресійних вирв
	Забезпечення якості природного середовища	Влаштування зелених санітарних зон навколо підприємств, хвостосховищ, рекультивація порушених земель, запобігання водній та вітровій ерозії, зсувам на відвалах та кар'єрах, очищення шахтних вод на полях зрошення
Екологічні	Організація комплексного використання мінеральних ресурсів	Планування використання всього переліку сировини, що видобувається в регіоні її глибокої переробки, очищення відходів та вторинного їх використання в закладці, на будівництві

Керівництво Шишківського родовища гіпсу з початку своєї діяльності вживало усіх необхідних заходів щодо захисту навколишнього середовища. Основним завданням екологічної діяльності цього підприємства, як і будь-якого іншого, є зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище, виконання вимог Законів та правил щодо охорони навколишнього середовища [2].

На підприємстві були зроблені наукові дослідження токсичних властивостей гіпсовмісних відходів, що утворюються в результаті виробничої діяльності з метою визначення класу небезпеки для навколишнього природного середовища. Усі відходи виробництва віднесено до 5-го класу небезпеки навколишнього природного довкілля, тобто є практично безпечними.

Можна зробити висновки, що шахта Шишковецького родовища гіпсу має мінімальний вплив на навколишнє середовище (атмосферне повітря, підземні води).

Визначення оптимальних параметрів камер розробки родовища одне із основних питань ефективної розробки родовища. Безпека гірничих робіт і продуктивність праці значною мірою залежить від ступеня обґрунтованості прийнятих параметрів системи розробки родовища. Розрахункова схема щодо визначення граничного прольоту камери повинна ґрунтуватись на уточнених даних про геологічну будову гіпсової товщі і порід, що її покривають, і гідрогеологічній характеристиці водоносних відкладень у надгіпсовій товщі, а також на уявленні про прогин і розшарування гіпсової стелі при її оголенні [7, С. 137].

Для достовірної оцінки та прогнозу геодинамічного виробництва гірничих робіт необхідно мати точну інженерно-геологічну характеристику гірських порід.

Фізичні характеристики порід Шишковецького гіпсового родовища: об'ємна вага гіпсу $2,3 \text{ г/см}^3$; пористість 0,24%; вологість 0,10%; максимальна вологоємність 0,30% [6, С. 356].

Після визначення фізико-механічних властивостей гіпсової товщі нами було розраховано оптимальні параметри очисних камер у покрівлі гірничих виробок: ширина камер 12 м; висота 11 м. Дотримання зазначених параметрів гарантує стійкий стан покрівлі камер, при цьому виключається виникнення таких геодинамічних процесів, як зсув земної поверхні, обвалення, депресійні деформації.

Дотримання параметрів гірничих виробок є надійними гірничими заходами охорони шахти від затоплення та охорони будівель та споруд на поверхні від шкідливого впливу гірничих розробок.

Висновки. В результаті виконаної роботи було зроблено висновки про те, що ця шахта оснащена всіма необхідними заходами безпеки для робочого персоналу та засобами захисту довкілля.

Багато родовищ гіпсу вже детально вивчені і активно видобуваються в промислових масштабах. Однак деякі корисні копалини потребують подальшого поглибленого вивчення та спеціалізованого геологічного аналізу. Відкриття нових родовищ гіпсу відіграє вирішальну роль у збагаченні ресурсно-сировинної бази України.

Багаторічний досвід відпрацювання гіпсового покладу на ділянках Шишковецького родовища з різною потужністю стель і шириною камер підтверджує надійність використаних параметрів варіанта камерно-стовпової системи розробки, що застосовується на родовищі.

Під час розробки Шишковецького родовища гіпсу особлива увага приділяється питанням охорони шахти від затоплення та охорони будівель та споруд на поверхні від шкідливого впливу підземних розробок.

Усвідомивши переваги гіпсу, як будівельного матеріалу в останні роки, турецька промисловість будівельних матеріалів на основі гіпсу досягла виробничої потужності в 1 млн тонн готових гіпсових будівельних матеріалів. Враховуючи поточний попит на житло в Україні, і для того, щоб задовольнити цей попит будівельній, гірничодобувній та хімічній галузям промисловості нашої країни необхідно активізувати виробництво та використання матеріалів на основі гіпсу.

1. Білецький В. С. Мала гірнича енциклопедія : в 3-х т. Донецьк : Донбас, 2004.
2. Головне управління статистики у Тернопільській області. URL: <https://www.te.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 21.01.2025).
3. Управління екології та природних ресурсів Тернопільської обласної військової адміністрації. URL: <https://ecology.te.gov.ua/> (дата звернення: 22.01.2025).
4. Деревянко В. М., Кондратьєва Н. В., Гришко Г. М. Особливості гідратації модифікованих гіпсових систем. *Будівництво України*. 2018. № 6. С. 13–18.
5. Іванов Є. Ландшафти гірничопромислових територій : монографія. Львів : ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2007. 334 с.
6. Кітура В., Сивий М. Тернопільський енциклопедичний словник : у 4 т. Тернопіль, 2004. Т. 1 : А–Й. С. 356.
7. Ковальчук І. П., Іванов Є. А., Ключник В. В. Картографування геоекоекологічного стану природно-господарських систем гірничопромислових територій. *Часопис картографії* : зб. наук. праць. 2011. Вип. 2. С. 129–137.
8. Корисні копалини Тернопільської області. URL: <https://insgeo.com.ua/> (дата звернення: 20.01.2025).
9. Про затвердження Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр : Постанова Кабінету Міністрів України від 05 травня 1997 р. № 432.
10. Родовища корисних копалин. Кадастр корисних копалин. Публічна кадастрова карта України. URL: https://map.land.gov.ua/?cc=2753181.8077988722,6351952.314789027&z=10&l=pctm_rodovysha_korys_kop&bl=ortho10k_all. (дата звернення: 22.01.2025).
11. Сивий М. Я. Гіпси Подністров'я – ресурси, використання. *Подільський регіон: виклики XXI століття*. Тернопіль, 2017. С. 91–97.
12. Стан

запасів корисних копалин згідно Державного балансу запасів за 2017 рік. Івано-Франківська, Львівська і Тернопільська області. Київ : ДНВП «Геоінформ», 2018. **13.** Суярко В. Г., Величко В. М., Гаврилюк О. В. Інженерна геологія (з основами геотехніки) : навч. посіб. Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2019. 278 с.

REFERENCES:

1. Biletskyi V. S. Mala hirnycha entsyklopediia : v 3-kh t. Donetsk : Donbas, 2004.
 2. Holovne upravlinnia statystyky u Ternopilskii oblasti. URL: <https://www.te.ukrstat.gov.ua/> (data zvernennia: 21.01.2025).
 3. Upravlinnia ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ternopilskoï oblasnoï viiskovoï administratsii. URL: <https://ecology.te.gov.ua/> (data zvernennia: 22.01.2025).
 4. Derevianko V. M., Kondratieva N. V., Hryshko H. M. Osoblyvosti hidratatsii modyfikovanykh hipsovykh system. *Budivnytstvo Ukrainy*. 2018. № 6. S. 13–18.
 5. Ivanov Ye. Landshafty hirnychopromyslovykh terytorii : monohrafiia. Lviv : VTs LNU im. I. Franka, 2007. 334 s.
 6. Kitura V., Syvyi M. Ternopilskiy entsyklopedychnyi slovnyk : u 4 t. Ternopil, 2004. T. 1 : A–I. S. 356.
 7. Kovalchuk I. P., Ivanov Ye. A., Kliuinyk V. V. Kartohrafuvannia heoekolohichnoho stanu pryrodno-hospodarskykh system hirnychopromyslovykh terytorii. *Chasopys kartohrafii* : zb. nauk. prats. 2011. Vyp. 2. S. 129–137.
 8. Korysni kopalyny Ternopilskoï oblasti. URL: <https://insgeo.com.ua/> (data zvernennia: 20.01.2025).
 9. Pro zatverdzhennia Klasyfikatsii zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn derzhavnoho fondu nadr : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 05 travnia 1997 r. № 432.
 10. Rodovysycha korysnykh kopalyn. Kadastr korysnykh kopalyn. Publichna kadastrova karta Ukrainy. URL: https://map.land.gov.ua/?cc=2753181.8077988722,6351952.314789027&z=10&l=pcm_rodovysha_korys_kop&bl=ortho10k_all. (data zvernennia: 22.01.2025).
 11. Syvyi M. Ya. Hipsy Podnistrovia – resursy, vykorystannia. *Podilskiy rehion: vyklyky XXI stolittia*. Ternopil, 2017. S. 91–97.
 12. Stan zapasiv korysnykh kopalyn zghidno Derzhavnoho balansu zapasiv za 2017 rik. Ivano-Frankivska, Lvivska i Ternopilska oblasti. Kyiv : DNVP «Heoinform», 2018.
 13. Suiarko V. H., Velychko V. M., Havryliuk O. V. Inzhenerna heolohiia (z osnovamy heotekhniky) : navch. posib. Kharkiv : Kharkivskiy natsionalnyi universytet imeni V. N. Karazina, 2019. 278 s.
-

Maksiutov A. O., Candidate of Pedagogic Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Cherkasy region), **Skyba V. P., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University, Zaporizhzhia), **Stetsiuk L. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

GEO-ECOLOGICAL CONDITIONS OF EXPLOITATION OF THE SHISHKIVTSI GYPSUM DEPOSIT

The article examines the geocological conditions of one of the largest gypsum deposits in Eastern Europe (Shyshkivtsi deposit, Chortkiv district, Ternopil region) and characterizes the main technological and organizational solutions for its development and operation.

The structure of the main environmental pollution in the area of mining operations was analyzed (as proposed by V. Biletskyi) at different stages: geological exploration, mineral extraction, and deposit enrichment.

It was established that the Shyshkivtsi deposit is being actively mined, which leads to several environmental issues, including water basin pollution (including groundwater contamination), air pollution, and risks of land subsidence and flooding.

As a result of the research, the overall impact of mining activities on the environment, as well as the environmental problems associated with production technologies, was identified.

The authors also proposed a number of measures for the rational use of mineral resources and subsoil protection, namely technological, protective, preventive, and ecological strategies. Additionally, the range of tasks to be addressed and the main directions for further work were outlined.

This study provides geological-genetic, engineering-geological, and hydrological characteristics of the Shyshkivtsi gypsum deposit.

The geological structure of the industrial gypsum layer was studied in detail.

The research determined the main technological and organizational solutions for the deposit's development, examined the

method of mine field access, analyzed safety measures for various mining operations, and reviewed scientific studies on the toxic properties of gypsum-containing waste generated during production activities to determine its hazard class for the natural environment.

***Keywords:* production technologies; environmental safety; gypsum deposit; construction industry; mining and quarrying.**

Мерленко І. М., к.с.-г.н., доцент, Бондарчук С. П., к.с.-г.н., Зінчук М. І., к.с.-г.н., доцент, Шворак А. М., д.е.н., професор (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, i.merlenko@lutsk-ntu.com.ua, s_bondarchuk@ukr.net, zmig7@ukr.net, ams95@ukr.net), **Мерленко Н. О.** (Ківерцівський національний природний парк «Цуманська пуца», Ківерці), **Ковальчук Н. С., к.с.-г.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, n.s.kovalchuk@nuwm.ed.ua)

ВПЛИВ ВИРОЩУВАННЯ МОНОКУЛЬТУРИ КУКУРУДЗИ НА АГРОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЯСНО-СІРОГО ОПІДЗОЛЕНОГО ҐРУНТУ

У роботі досліджено та проаналізовано технологію вирощування кукурудзи як монокультури та її вплив на родючість ясно-сірого опідзоленого ґрунту в умовах ТзОВ «ЛОРЕТТ» Хмельницької області.

Аналіз діяльності господарства ТзОВ «ЛОРЕТТ» показує, що при правильному використанні технології монокультури кукурудзи можна отримати урожайність на рівні 10–11 т/га. Кукурудзу вирощують як беззмінну культуру протягом 6 років.

Дослідження та розрахунки показали, що система удобрення в господарстві дозволяє отримати позитивний баланс практично всіх елементів живлення, крім фосфору, бору та молібдену.

Результати лабораторних досліджень ґрунту вказують на покращення агрофізичних показників, зростання на 0,1% гумусу, на 11 мг/кг ґрунту азоту та на 3 мг калію. Зафіксовано незначне зниження вмісту бору (на 0,09 мг/кг). Вміст молібдену залишився однаковим. Показник кислотності ґрунту не змінився, а агрохімічний бал збільшився з 48 до 50.

З метою досягнення позитивного балансу запропоновано збільшити внесення фосфору на 20–30 кг д.р. P_2O_5 . Враховуючи, що рослина засвоює через кореневе живлення всього 20–30% мікроелементів, для позитивного балансу рекомендуємо щороку вносити по 0,5 кг/га бору та молібдену.

Ключові слова: монокультура кукурудзи; ясно-сірий опідзолений ґрунт; технологія вирощування; врожайність;

агрохімічні показники.

Постановка проблеми полягає в тому, що в сучасних умовах в Україні більшість посівів кукурудзи на зерно розташована в регіонах з дефіцитом опадів і високими температурами, що потребує розробки та впровадження нових технологій вирощування з оновленням складу гібридів, оптимізацією густоти посадки, обґрунтуванням системи удобрення.

Кукурудза є однією із найбільш поширених в Україні сільськогосподарських культур. Наша країна протягом останнього десятиліття стабільно входить до п'ятірки найбільших експортерів цієї культури. У США, які є лідером з експорту кукурудзи у світі, її вирощування як монокультури вже давно не є чимось незвичайним. Але аграрії нашої країни з острахом дивляться на такий спосіб вирощування. І якщо з перевагами та недоліками вирощування кукурудзи у сівоzmіні наші фермери знайомі вже давно, то на монокультурному вирощуванні варто зосередитись більш детально [7].

В багатьох господарствах кукурудзу вирощують як монокультуру і отримують досить високі врожаї. Водночас часто виникає проблема родючості ґрунтів. В наукових джерелах дуже мало уваги приділяється такій важливій проблемі.

Тому в нашій роботі ми намагались дослідити вплив вирощування монокультури кукурудзи на родючість ґрунтів в умовах ТзОВ «ЛОРЕТТ» Хмельницької області. Нами був зроблений аналіз позитивних та негативних сторін технології вирощування монокультури кукурудзи.

Мета досліджень полягає у вивченні впливу вирощування монокультури кукурудзи на родючість ясно-сірого опідзоленого ґрунту в умовах ТзОВ «ЛОРЕТТ» Хмельницької області.

Об'єктом досліджень вибрано агрохімічні показники родючості ґрунту в умовах ТзОВ «ЛОРЕТТ» Хмельницької області.

Матеріал та методи дослідження. В ході дослідження використовувались матеріали лабораторних визначень агрохімічних показників ясно-сірого опідзоленого ґрунту та обліку врожайності зерна кукурудзи.

В господарстві переважають ясно-сірі та сірі опідзолені ґрунти з кислим середовищем.

В роботі використовували польові, лабораторні, аналітичні методи дослідження.

Лабораторні дослідження проводили згідно відповідних методик (ДСТУ, ОСТ) (табл. 1).

Завдання досліджень передбачало:

- коротко описати технологію вирощування кукурудзи як монокультури;
- визначити вплив вирощування монокультури кукурудзи на родючість ґрунту;
- проаналізувати позитивні та негативні сторони технології вирощування монокультури кукурудзи.

Наукова новизна роботи. Вперше в умовах Хмельницької області визначено вплив багаторічного вирощування кукурудзи на родючість ясно-сірого опідзоленого ґрунту та надано рекомендації для дотримання позитивного балансу основних показників родючості.

Огляд попередніх досліджень. Кукурудза потребує достатньої наявності легко засвоюваних форм поживних речовин у ґрунті. Для формування однієї тонни основної продукції (зерна) та відповідної кількості побічної продукції кукурудза споживає таку кількість поживних речовин: азот 25–30 кг; фосфор 10–15 кг; калій 30–40 кг; кальцій 6–10 кг; магній 6–10 кг [2].

Більшість інгредієнтів засвоюється від фази 4-го листка до кінця фази цвітіння. У цей період важливо, щоб не було дефіциту цих елементів.

Важливою умовою формування високого врожаю зерна кукурудзи є створення сприятливих умов для росту й розвитку рослин починаючи з ранніх етапів органогенезу (проростання насіння) і до завершення вегетації (до збирання врожаю). Абсолютний приріст надземної маси рослин (сира маса і суха речовина) значною мірою залежить від температурного режиму та умов вологозабезпеченості.

Підвищення врожайності зерна кукурудзи можливе лише за збільшення нагромадження органічної речовини, що утворюється в процесі фотосинтезу. Тому створення оптимальних умов фотосинтетичної діяльності, тобто ефективного функціонування листової асиміляційної поверхні, дозволяє досягти цієї мети [2; 8].

Добрива – органічні і мінеральні – це найефективніший важіль інтенсифікації формування високих врожаїв з відмінною якістю зерна

кукурудзи. Оптимальне внесення добрив забезпечує віддачу затрат прибавкою зерном [3].

Об'єм внесення мінеральних добрив скоротився під усі культури, в тому числі під кукурудзу, в декілька разів. Це призвело до зниження родючості ґрунту, врожайності зерна, погіршення якості. Підвищення ефективності, екологічності та окупності мінеральних добрив досягається регулюванням норм, строків та способів внесення.

Через значне зменшення об'ємів приготування традиційних органічних добрив бажано використовувати ферментовані органічні добрива, одна тонна яких за ефективністю замінює до 5–7 т гною чи гноєвих компостів. При цьому утилізуються небезпечні відходи [4–6].

Вирощувати монокультуру кукурудзи – означає розуміти можливі ризики. По-перше, можливе зниження врожайності для монокультури кукурудзи від 0% до 30%, але зазвичай становить від 5% до 15%. Зниження врожайності пов'язане з більш прохолодними і вологими ґрунтами, амортизацією азоту (N), підвищенням ризику захворювань та алелопатії – на все це впливає обсяг залишків кукурудзи [9].

Аналіз одержаних результатів. Аналіз результатів показує, що в ТзОВ «ЛОРЕТТ» при вирощуванні монокультури кукурудзи середні врожаї зерна за останні роки досягли рівня 10–11 т/га. Кукурудзу вирощують як беззмінну культуру протягом 6 років на площі 620 га.

Елементи технології вирощування кукурудзи сильно не відрізняються від традиційної технології. Слід зазначити, що господарство повністю відмовилось від оранки і всю рослинну масу стебел подрібнює та залишає на полі.

Весняний обробіток починають з настанням фізичної стиглості ґрунту. Для закриття вологи та вирівнювання поверхні після осінньо-польових робіт проводять боронування важкими зубовими боронами БЗСС-1,0 або зубовими боронами ОР-0,7. На неораних з осені ділянках навесні культивують ґрунт важкими дисковими знаряддями або протиерозійними культиваторами на глибину 12–14 см. Перед сівбою проводять дві культивації, першу на глибину 10–12 см, а другу – передпосівну на глибину загортання насіння культиваторами УСМК-5,4; КПС-4; АГ-6 Борекс «Європак».

У сучасних умовах, а саме при збільшенні посушливості клімату, зміні погодних умов протягом вегетаційного періоду, постає питання про впровадження адаптивних, вдосконалених технологій

вирощування кукурудзи в Україні та світі в цілому. Через це необхідно правильно підібрати гібрид за показником ФАО (ФАО – індекс скоростиглості кукурудзи, різниця в 10 балів відповідає 1–2 дням різниці в дозріванні), який підходить для певної зони, отримає максимальну кількість опадів і температуру для повноцінної вегетації кукурудзи. Для ефективного використання техніки в господарстві оптимальним співвідношенням гібридів за показниками ФАО вважається: ФАО 200–250 займати до 30–40%, ФАО 260–300 – 30–40% і решта при ФАО > 300. Тим не менш, тенденція до зменшення ФАО сьогодні зберігається.

Насіння є одним з найважливіших компонентів при вирощуванні цієї культури, тому до вибору гібрида, зокрема групи стиглості, потрібно підходити ретельно. У господарстві висівають чотири гібриди Р8816 (ФАО-300), Феномен (ФАО 220), Фрегат (ФАО 240) та Р 8804 (ФАО 240).

Господарство висіває 80 тис. рослин на 1 га при швидкості руху 8-рядної універсальної сівалки KINZE-3000 до 7 км/год.

Оскільки з року в рік на полі залишають подрібнені стебла кукурудзи, існує значна потреба в азотних мінеральних добривах для їх нормальної переробки мікроорганізмами. В господарстві реально вносять РКД N10 P30 K10 Zn 1–70 кг/га в рядки при посіві, а також карбамід 250 кг/га в декілька прийомів між рядками.

Для боротьби з бур'янами в ТзОВ «ЛОРЕТТ» застосовують гербіциди: після посіву – пропазокс (2 л/га) та Хадар протект (4 л/га).

Проти хвороб у вегетаційний період (гельмінтози, іржа, септоріоз, фузаріоз, сажиста цвіль) використовують Піраклін, КЕ 0,4–0,6 л/г; та Азоципер Нео, КС 0,5–0,75 л/га. Кукурудзу на зерно збирають у фізіологічній стиглості з вологістю зерна не більше 35–40% зернозбиральними комбайнами Claas.

З метою вивчення впливу системи удобрення кукурудзи як монокультури ми провели польові, лабораторні дослідження та їх аналіз.

Польові дослідження проводили на ділянці поля 5250 (назва ґрунту – ясно-сірий опідзолений), яка характеризується такими показниками (табл. 1).

Таблиця 1

Основні показники родючості ґрунту

Показники	Методи визначення	Середньозважені величини	
		2022 р.	2024 р.
Гранулометричний склад ґрунту:			
фізична глина, %;	ДСТУ 4730: 2007	13,5	12,0
мул, %.		9,09	9,0
Щільність ґрунту, г/куб.см.	ДСТУ 11272 : 2007	1,33	1,29
Показники рН: сольовий	ДСТУ: 10390 2007	5,8	5,8
Вміст у ґрунті: гумусу, %;	ДСТУ: 4289 - 2004	2,12	2,22
елементів живлення (мг/кг ґрунту):			
азоту, що легко гідролізується,	ДСТУ 8863 :2015	104	115
Рухомих сполук (мг/кг ґрунту):			
фосфору	ДСТУ 4115 :2002	89	88
калію	ДСТУ 4115 :2002	96	99
Рухомих форм (мг/кг):			
бору	ОСТ 10150-88	0,69	0,60
молібдену	ОСТ 10151-88	0,10	0,10
марганцю	ДСТУ 4770.1 :2007	39,86	42,36
кобальту	ДСТУ 4770.5 :2007	0,20	0,29
міді	ДСТУ 4770.6 :2007	0,22	0,24
цинку	ДСТУ 4770.2 :2007	0,85	0,9
Агрохімічна оцінка, в балах		48	50

В табл. 2 та 3 наведено розрахунки балансу елементів живлення без врахування коефіцієнтів засвоєння та втрат.

Інтенсивність балансу (Іб) відображає відсоток загальної кількості поживних елементів, що поступили в ґрунт до кількості поживних елементів, які винесено з ґрунту. Розрахунки проводяться за формулою:

$$I\delta = \frac{H_{\epsilon}}{B} \times 100, \quad (1)$$

де H_{ϵ} – внесення поживних речовин, кг/га; B – винос елементів культурою, кг/га; 100 – коефіцієнт переведення у відсотки.

Якщо інтенсивність балансу менше 100%, це свідчить про дефіцит балансу. Коли воно дорівнює 100% – сальдо врівноважується, а коли перевищує 100% – баланс позитивний.

Таблиця 2

Баланс макроелементів
(врожайність 10 т/га зерна та 11 т/га соломи)

Макроелементи	Надходження, кг/га			Винос з врожаєм, кг/га	Баланс	
	з добривами	з побічною продукцією	Всього		кг/га	%
Азот	122	107	229	158	+71	145
Фосфор	21	37	58	70	-12	83
Калій	7	207	214	46	+168	465

Мікроелементи, що використовуються при позакореновому підживленні рослин кукурудзи, засвоюються приблизно на 80–90%, а при кореновому – лише на 20–30%.

Результати аналізу ґрунту в 2024 році в порівнянні з 2022 роком дозволяють зробити певні висновки.

По-перше, завдяки залишенню стеблових решток кукурудзи в ґрунті покращуються агрофізичні показники: вміст фізичної глини зменшився з 13,5% до 12%, а щільність ґрунту – з 1,33 до 1,29 г/куб. см. Це є позитивною тенденцією.

Таблиця 3

Баланс мікроелементів
(врожайність 10 т/га зерна та 11 т/га соломи)

Мікроелементи	Надходження г/га			Винос з врожаєм, г/га	Баланс	
	з добривами	з побічною продукцією	Всього		г/га	%
бор			66	100	-34	66
молібден			11	10	+1	110
марганець			1900	100	+1800	1900
кобальт			15	7	+8	214
мідь			77	60	+17	128
цинк	700	363	1063	180	+883	591

По-друге, завдяки щорічному надходженню значної кількості рослинних залишків (при врожайності 10 т/га зерна – орієнтовно 11 т/га), вміст гумусу збільшився з 2,12 до 2,22%. Подібна тенденція прослідковується із вмістом азоту, що легко гідролізується. Його вміст збільшився майже на 11% або на 11 мг/кг ґрунту. Очевидно це пов'язано із внесенням значної кількості азотних добрив та розвитку мікрофлори, яка мобілізує азот із стеблових решток. В середньому в господарстві вноситься 122 кг азоту на 1 га (0,7 ц РКД – 7 кг + 250 кг карбаміду – 115 кг).

По-третє, застосування системи удобрення практично не впливає на вміст рухомого фосфору в ґрунті, і дещо підвищує вміст калію – з 96 до 99 мг. Очевидно, це пов'язано із значним накопичення калію в стеблах ($11 \text{ т} \times 18,8 = 206,7 \text{ кг}$) та винесенням калію із зерном кукурудзи (188 кг з 10 тонами), і незначним внесенням калійних добрив (7 кг з РКД). Тому, для виправлення такої ситуації необхідно вносити додатково хоча б 20–30 кг д.р. фосфору.

Що стосується мікроелементів, то тут ситуація різна. Результати розрахунків підтверджуються лабораторними аналізами, які свідчать про проблеми з бором і молібденом. Бор і цинк – найважливіші мікроелементи, потрібні у відносно великих кількостях, переміщуються в зерно. Все частіше стає поширеним додавання цинку в обробку насіння для забезпечення хорошого розвитку коренів і пагонів. Вміст молібдену, марганцю та міді дещо збільшився. Кукурудза дуже чутлива до цинку. Згідно з даними [2] з 1 т зерна кукурудза виносить 0,42 кг Zn (в нашому полі – 4,2 кг). Водночас з 1 ц РКД вноситься 1 кг цього елементу. Крім цього, в залишках стебел накопичується менше 1 кг.

Враховуючи, що рослина засвоює через кореневе живлення всього 20–30% мікроелементів, для позитивного балансу необхідно доносити по 0,5 кг /га бору та молібдену.

В табл. 4 ми узагальнили можливі позитивні та негативні сторони вирощування монокультури кукурудзи. Аналіз вказує, що переваг набагато більше, а недоліки можна ліквідувати або їх вплив звести до мінімуму.

Таблиця 4

Переваги і недоліки монокультури кукурудзи

Переваги	Недоліки
велика кількість щорічних пожнивних решток (до 11 т/га);	забруднення полів шкідливими організмами;
економія коштів на придбання техніки та знарядь для культур в сівозміні;	необхідність збільшення застосування азотних добрив;
зниження втрат вологи з ґрунту;	можлива ґрунтовтома;
покращення більшості агрохімічних показників ґрунту;	зниження вмісту фосфору та бору в ґрунті
регулювання температури ґрунту;	
високі врожаї	

Аналізуючи отримані результати можна зробити **висновки**:

1. Аналіз діяльності ТзОВ «ЛОРЕТТ» показує, що при правильному використанні технології монокультури кукурудзи можна отримати урожайність зерна 10–11 т/га.

2. Варто переглянути підходи до класичного способу оранки та перейти на мінімальний обробіток. Велику увагу слід приділяти ретельному подрібненню рослинних залишків кукурудзи, маса яких 11–12 т/га. Побічна продукція кукурудзи за відсутності гною є додатковим джерелом надходження макро- та мікроелементів у ґрунт.

3. При посіві слід використовувати гібриди з різним показниками ФАО. Це дозволяє вчасно проводити технологічні прийоми та збір врожаю.

4. Розрахунки та результати лабораторних досліджень показують, що система удобрення в господарстві дозволяє отримати позитивний баланс практично всіх елементів живлення, крім фосфору, бору та молібдену, а також вказують на покращення агрофізичних показників, на 0,1% збільшення вмісту гумусу та зростання з 48 до 50 агрохімічного балу.

5. Аналіз позитивних та негативних сторін вирощування монокультури кукурудзи показує, що переваг набагато більше, а недоліки можна виправити або звести їх вплив до мінімуму.

Монокультура кукурудзи вимагає набагато менших затрат для придбання техніки, ніж при вирощуванні декількох різних культур у сівозмінах. Кукурудза в монокультурі потребує більше азоту, ніж в інших сівозмінах, а також потребує більш ретельного подрібнення

решток. Крім того, при вирощуванні кукурудзи в монокультурі ґрунт прогрівається повільніше.

Більше уваги необхідно приділяти засобам захисту рослин.

1. Баланс поживних речовин – Кукурудза... URL: <https://www.yara.ua> > maize. (дата звернення: 15.02.2025). 2. Кукурудза – основні вимоги до вирощування. *Журнал Агроном*. URL: <https://agronom.com.ua/kukurudza-osnovni-vymogy-do-vyroschhuva/>. (дата звернення: 15.02.2025). 3. Лихочвор В. Система удобрення кукурудзи... URL: <http://agrobusiness.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/435-systema-udobrenniakukurudzy.html>. (дата звернення: 15.02.2025). 4. Мерленко І. М. Агроекологічні аспекти використання нетрадиційних добрив «Біотерм-С» в умовах Західного Полісся України. *Сільськогосподарські машини* : зб. наук. ст. 2019. Вип. 42. С. 55–60. 5. Мерленко І. М., Бондарчук С. П., Федонюк М. А., Панькевич С. Г. Ковальчук Н. С. Аналіз динаміки чисельності поголів'я тварин та птиці: тенденції та наслідки. *Вісник НУБГП. Сільськогосподарські науки*. 2021. Вип. 1(93). С. 78–89. 6. Мерленко І. М. Можливості використання ферментованих добрив в умовах нестачі традиційних органічних добрив. *Талановита організатор, вчена-практик, педагог* : матеріали Круглого столу присвячено 85-річчю від дня народження докторки біологічних наук, професорки Л. К. Тараненко (1938–2017). 2024. С. 128–130. 7. Монокультура кукурудзи vs екологія – Agroexpert... URL: <https://agroexpert.ua> > monokultura-kukurudzy-vs-ek. (дата звернення: 15.02.2025). 8. Паламарчук В. Д., Колісник О. М. Сучасна технологія вирощування кукурудзи для енергоефективного та екологобезпечного розвитку сільських територій : монографія. Вінниця : Друкарня «Друк», 2022. 376 с. 9. Умови вирощування кукурудзи в монокультурі – Куркуль... URL: <https://kurkul.com> > spetsproekty > 816-triziki-mon... (дата звернення: 15.02.2025).

REFERENCES:

1. Balans pozhyvnykh rehovyn – Kukurudza... URL: <https://www.yara.ua> > maize. (data zvernennia: 15.02.2025). 2. Kukurudza – osnovni vymohy do vyroshchuvannia. *Zhurnal Ahronom*. URL: <https://agronom.com.ua/kukurudza-osnovni-vymogy-do-vyroshhuva/>. (data zvernennia: 15.02.2025). 3. Lykhochvor V. Systema udobrennia kukurudzy... URL: <http://agrobusiness.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/435-systema-udobrenniakukurudzy.html>. (data zvernennia: 15.02.2025). 4. Merlenko I. M. Ahroekolohichni aspekty vykorystannia netradytsiinykh dobryv «Bioterm-S» v umovakh Zakhidnoho Polissia Ukrainy. *Silskohospodarski mashyny* : zb. nauk. st. 2019. Vyp. 42. S. 55–60. 5. Merlenko I. M., Bondarchuk S. P., Fedoniuk M. A.,

Pankevych S. H. Kovalchuk N. S. Analiz dynamiky chyselnosti poholivia tvaryn ta ptytsi: tendentsii ta naslidky. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky*. 2021. Vyp. 1(93). S. 78–89. **6.** Merlenko I. M. Mozhlyvosti vykorystannia fermentovanykh dobryv v umovakh nestachi tradytsiinykh orhanichnykh dobryv. *Talanovyyta orhanizator, vchena-praktyk, pedahoh* : materialy Kruhloho stolu prysviacheno 85-richchiu vid dnia narodzhennia doktorky biolohichnykh nauk, profesorky L. K. Taranenko (1938–2017). 2024. S. 128–130. **7.** Monokultura kukurudzy vs ekolohiia – Agroexpert... URL: <https://agroexpert.ua> > monokultura-kukurudzy-vs-ek. (data zvernennia: 15.02.2025). **8.** Palamarchuk V. D., Kolisnyk O. M. Suchasna tekhnolohiia vyroshchuvannia kukurudzy dlia enerhoefektyvnoho ta ekolohobezpechnoho rozvytku silskykh terytorii : monohrafiia. Vinnytsia : Drukarnia «Druk», 2022. 376 s. **9.** Umovy vyroshchuvannia kukurudzy v monokulturi – Kurkul... URL: <https://kurkul.com> > spetsproekty > 816-tri-riziki-mon... (data zvernennia: 15.02.2025).

Merlenko I. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Bondarchuk S. P., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Zinchuk M. I., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Shvorak A. M., Doctor of Economics, Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), **Merlenko N. O.** (Kivertsivs'kyi Natsional'nyy Pryrodnyy Park "Tsumans'ka Pushcha", Kivertsii), **Kovalchuk N. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

INFLUENCE OF CORN MONOCULTURE GROWING ON AGROCHEMICAL INDICATORS OF LIGHT-GRAY PODZOLIZED SOIL

The work investigates and analyzes the technology of growing corn as a monoculture and its impact on the fertility of light-gray podzolized soil in the conditions of LLC "LORETT" Khmelnytskyi region.

Analysis of the activities of the LLC "LORETT" farm shows that with the correct use of corn monoculture technology, it is possible to obtain a yield of 10–11 t/ha. Corn is grown as a permanent crop for 6 years on an area of 620 hectares.

Research and calculations have shown that the fertilization system on the farm allows you to obtain a positive balance of almost all nutrients, except phosphorus, boron and molybdenum.

The results of laboratory soil tests indicate an improvement in agrophysical indicators, an increase of 0.1% in humus, 11 mg/kg of soil nitrogen and 3 mg of potassium. A slight decrease in boron content was recorded (by 0.09 mg/kg). The molybdenum content remained the same. The soil acidity index did not change, and the agrochemical score increased from 48 to 50.

In order to achieve a positive balance, it is proposed to increase the application of phosphorus by 20–30 kg d.r. P205. Considering that the plant absorbs only 20–30% of microelements through root nutrition, for a positive balance we recommend applying 0.5 kg/ha of boron and molybdenum each year.

It is worth switching from plowing to minimal tillage. Great attention should be paid to the thorough grinding of corn plant residues, the mass of which is 11–12 t/ha. Corn by-products in the absence of manure are an additional source of macro- and microelements entering the soil.

When sowing, hybrids with different FAO indicators should be used. This allows for timely technological techniques and harvesting.

An analysis of the positive and negative aspects of growing corn monoculture shows that there are much more advantages, and the disadvantages can be corrected or their impact minimized. Corn monoculture requires much less expenditure on the purchase of equipment than when growing several different crops in crop rotations. Corn in monoculture requires more nitrogen than in other crop rotations, and also requires more thorough grinding of residues. In addition, when growing corn in monoculture, the soil warms up more slowly.

***Keywords:* corn monoculture; light gray podzolized soil; cultivation technology; yield; agrochemical indicators.**

Фурман В. М., к.с.-г.н., доцент, Мороз О. С., к.с.-г.н., доцент, Люсак А. В., к.т.н., доцент, Савицький В. М., магістр (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, v.m.furman@nuwm.edu.ua, o.s.moroz@nuwm.edu.ua, a.v.lyusak@nuwm.edu.ua, savytskyi_az22@nuwm.edu.ua)

МОНІТОРИНГ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДОБРІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ НА ЗЕЛЕНУ МАСУ

Метою роботи було вивчення ефективності застосування різних доз та термінів внесення мінеральних добрив при вирощуванні кукурудзи на зелену масу на чорноземі вилугуваному неглибокому малогумусному.

В результаті проведених досліджень встановлено, що:

1. Застосування мінеральних добрив при вирощуванні кукурудзи на зелену масу, яке включає основне внесення повного мінерального добрива в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$, а також припосівне внесення фосфорних добрива в дозі P_{10} з подальшим підживленням азотом в дозі N_{20} , дає можливість скоротити час проходження фаз росту та розвитку рослин кукурудзи (від сходів до збирання врожаю) на 12 днів.

2. Найвищі біометричні показники рослин кукурудзи при вирощуванні її на зелену масу відмічені на варіанті із основним внесенням $N_{80}P_{60}K_{60}$ та подальшим припосівним застосуванням фосфорних добрив в дозі 10 кг/га д.р., а також підживленням азотними добривами в дозі 20 кг/га д.р. На цьому варіанті висота рослин кукурудзи у фазу цвітіння становила 224 см, а площа листової поверхні – 35,1 м²/га.

3. Найкраще накопичення сирової (47,5 т/га) та сухої (32,2 т/га) біомаси кукурудзи сприяло застосування мінеральних добрив в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$ для основного внесення з подальшим припосівним внесенням фосфору в дозі 10 кг/га д.р. та підживленням азотом в дозі 20 кг/га д.р.

4. Найкращі показники хімічного складу зеленої маси кукурудзи були на варіанті із основним внесенням $N_{80}P_{60}K_{60}$ з подальшим припосівним внесенням фосфору в дозі 10 кг/га д.р. та

підживленням азотом в дозі 20 кг/га д.р. і становили: крохмаль – 37,1%, сирий протеїн – 9,7%, сира зола – 7,5%, сира клітковина – 25,0%, целюлоза – 29,2%.

5. Найбільший рівень урожайності зеленої маси кукурудзи – 46,7 т/га, забезпечило застосування для основного удобрення $N_{80}P_{60}K_{60}$ з подальшим внесенням при посіві P_{10} та підживленням N_{20} .

На чорноземі вилугуваному неглибокому малогумусному з метою отримання високого рівня урожаю зеленої маси кукурудзи на рівні 46,7 т/га нами рекомендується використовувати мінеральні добрива в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$ для основного внесення з подальшим припосівним застосуванням фосфорних добрив в дозі 10 кг/га д.р. та підживленням азотними добривами в дозі 20 кг/га д.р.

Ключові слова: кукурудза; зелена маса; добрива; чорнозем вилугуваний; урожайність.

Постановка проблеми. Кукурудза займає одне з провідних місць серед кормових рослин і є основною силосною культурою. Підвищення її продуктивності в сучасних умовах є важливим резервом стабілізації кормовиробництва і продуктивності тваринництва.

При вирощуванні на силос кукурудза може формувати урожай до 100 т/га зеленої маси. В 1 кг силосу 1-го класу міститься 0,25–0,30 кормових одиниць, 14–18 г перетравного протеїну, безліч вітамінів і інших компонентів. Якість кукурудзяного силосу залежить від підбору гібридів, технології вирощування (строків сівби, густоти стояння рослин, добрив, засміченості і т.д.), термінів збору, технології зберігання та інших факторів.

Одним із головних факторів, що забезпечує підвищення продуктивності при вирощуванні кукурудзи на зелену масу є достатній рівень мінерального живлення. Хоча застосування мінеральних добрив підвищує загальні витрати на технологію вирощування, однак дає змогу суттєво збільшити урожай зеленої маси кукурудзи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Підвищення попиту на споживання кукурудзи та зростання обсягів її виробництва пов'язане насамперед з подорожанням енергоресурсів, коли культура стала основною сировиною для виробництва біоетанолу [1, С. 39; 2, С. 160; 3, С. 248].

Одним із пріоритетних напрямків заощадження виробничих та енергетичних витрат є обґрунтований підхід щодо вирощування

сільськогосподарських культур і забезпечення мінеральним живленням впродовж всього періоду вегетації. В умовах глобальної зміни клімату, високої вартості мінеральних добрив важливе значення має оптимізація системи удобрення кукурудзи та забезпечення максимальної окупності витрат при її вирощуванні, зокрема при вирощуванні на силос [4, С. 220].

Урожайність кукурудзи значною мірою залежить від забезпечення макроелементами під час росту й розвитку рослин, зокрема азотом, фосфором та калієм [5, С. 440].

Внесення мінеральних добрив дає можливість скоротити на 20–36% витрати води на утворення сухої речовини рослин, адже на побудову органічних речовин рослини використовують близько 0,2% поглинутої води, а 99% вологи випаровується [6, С. 130]. У зоні нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України використання азотних добрив в нормі 150 д.р. кг/га виявилось найефективнішим незалежно від умов року. Оптимальним прийомом управління врожайністю кукурудзи є передпосівна обробка насіння сумішшю протруйників і гумінових стимуляторів, що сприяє кращому формуванню кореневої та надземної частини й дає змогу більшою мірою контролювати ураження проростків хворобами.

Внесення основних елементів живлення, наприклад, азоту, підвищує врожайність кукурудзи на силос і забезпечує високу якість продукції. У сучасних системах землеробства стійка інтенсифікація вимагає підвищення ефективності використання ресурсів при збереженні або підвищенні продуктивності та покращенні якості навколишнього середовища, головним чином через проблеми, пов'язані із застосуванням азотних добрив.

Кукурудза позитивно реагує на позакореневе підживлення азотними та азотно-фосфорними добривами в ранні фази росту та розвитку. Так, під впливом позакореневого підживлення рослин кукурудзи сечовиною у фазу молочної стиглості зерна вміст білка порівняно з контролем зріс на 25%, а у вегетативних органах – на 33–48% [7, С. 48].

Позакореневе внесення азоту може бути ефективнішим, ніж внесення азоту у ґрунт [8, С. 104]. Комбінація ґрунтового та позакореневого внесення азотних добрив є найкращим способом забезпечення рослин азотом. Застосування 50% азотних добрив перед сівбою та 50% у позакореневе підживлення підвищувало

врожай кукурудзи на 43% порівняно з варіантом з азотними добривами (100 кг/га) лише перед сівбою.

Отже, за даними багатьох досліджень встановлено, що застосування добрив безпосередньо впливає на якісний склад та продуктивність кукурудзи при вирощуванні на зелену масу.

Мета, постановка завдання та методики дослідження. Метою роботи було вивчення ефективності застосування різних доз та термінів внесення мінеральних добрив при вирощуванні кукурудзи на зелену масу на чорноземі вилугуваному неглибокому малогумусному.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні **завдання:**

- оцінити вплив застосування добрив на тривалість фаз росту та розвитку рослин кукурудзи за вирощування її на зелену масу;
- встановити вплив застосування добрив на біометричні показники рослин кукурудзи при її вирощуванні;
- оцінити фотосинтетичний потенціал кукурудзи за різного рівня застосування мінеральних добрив;
- провести оцінку впливу застосування добрив на процеси накопичення сирової та сухої біомаси кукурудзи;
- вивчити хімічний склад зеленої маси кукурудзи за використання мінеральних добрив;
- проаналізувати рівень урожайності зеленої маси кукурудзи під впливом використання мінеральних добрив;
- провести економічну оцінку доцільності застосування різних доз та строків внесення мінеральних добрив.

Дослідження щодо оцінки ефективності використання мінеральних добрив при вирощуванні кукурудзи на зелену масу проводилися на землях ТОВ «Акріс Агро Груп» на території Житомирського району Житомирської області.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем вилугуваний, неглибокий малогумусний.

Дослідження щодо вивчення ефективності застосування добрив при вирощуванні кукурудзи на зелену масу на землях ТОВ «Акріс Агро Груп» проводили упродовж 2022–2024 років.

Схема досліду із вивчення впливу добрив на урожай зеленої маси кукурудзи:

1. Контроль (без застосування добрив);
2. $N_{80}P_{60}K_{60}$ (основне внесення);

3. $N_{80}P_{60}K_{60}$ (основне внесення) + P_{10} (при посіві);
4. $N_{80}P_{60}K_{60}$ (основне внесення) + N_{20} (підживлення);
5. $N_{80}P_{60}K_{60}$ (основне внесення) + P_{10} (при посіві) + N_{20} (підживлення).

Загальна посівна площа ділянки становила 100 м² (5х20 м). Площа облікової ділянки становила 76 м², повторність в досліді триразова.

В досліді вирощували гібрид кукурудзи ДН Орільський.

Виклад основного матеріалу дослідження Важливе значення при аналізі процесів росту, розвитку і формування урожаю зеленої маси кукурудзи має послідовність етапів індивідуального розвитку рослин кукурудзи упродовж періоду вегетації.

Застосування добрив забезпечує скорочення тривалості періоду від «сходів» до «воскової стиглості». Саме період «воскової стиглості» є оптимальним для збирання врожаю зеленої маси кукурудзи.

Якщо на контрольному варіанті, де добрива не застосовувалися, тривалість періоду «сходи – воскова стиглість» становила 107 днів, то застосування добрив дало можливість скоротити цей час до 95–101 днів. Основне внесення мінеральних добрив в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$ прискорило настання часу від сходів до настання воскової стиглості на 6 днів у порівнянні із контролем.

За поєднання основного удобрення із припосівним внесенням фосфорних добрив у дозі P_{10} , а також основного удобрення з припосівним (P_{10}) та підживленням (N_{20}) дало можливість скоротити тривалість періоду від сходів до збирання врожаю зеленої маси кукурудзи аж на 12 днів, при цьому тривалість періоду «сходи – воскова стиглість» становила 95 днів.

Застосування мінеральних добрив в основне внесення в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$ з подальшим підживленням азотом в дозі N_{20} скоротило час від сходів до збирання врожаю на 10 днів у порівнянні із варіантом без застосування добрив.

Застосування добрив на посівах кукурудзи має позитивний вплив на ріст та розвиток рослин, а також на процеси формування урожаю.

Як вказують дані табл. 1, застосування добрив мало позитивний вплив на висоту рослин кукурудзи (дослідження проводилися у фазу цвітіння).

Найбільшу висоту рослин кукурудзи – 224 см, забезпечив варіант із основним внесенням $N_{80}P_{60}K_{60}$ у поєднанні із припосівним внесенням P_{10} та підживленням азотом в дозі N_{20} .

Таблиця 1

Біометричні показники рослин кукурудзи при вирощуванні її на зелену масу під впливом застосування добрив (середнє за 2022–2024 рр.)

№ з/п	Варіант	Висота рослин, см (у фазу цвітіння)	Площа листової поверхні, тис. м ² /га
1	Контроль	204	24,4
2	$N_{80}P_{60}K_{60}$	214	28,0
3	$N_{80}P_{60}K_{60} + P_{10}$ (при посіві)	219	30,1
4	$N_{80}P_{60}K_{60} + N_{20}$ (підживлення)	222	33,2
5	$N_{80}P_{60}K_{60} + P_{10}$ (при посіві) + N_{20} (підживлення)	224	35,1

Аналогічна тенденція відмічається і стосовно площі листової поверхні (табл. 1). Найменшою площа листової поверхні була на варіанті без застосування добрив і становила 24,4 м²/га. На варіанті із застосуванням мінеральних добрив площа листової поверхні кукурудзи становила 28,0–35,1 м²/га. За одного лише основного внесення мінеральних добрив площа листової поверхні кукурудзи становила 28,0 м²/га. За додаткового припосівного внесення фосфорних добрив в дозі P_{10} площа листової поверхні становила 30,1 м²/га. За поєднання основного внесення $N_{80}P_{60}K_{60}$ та підживлення азотними добривами в дозі N_{20} площа листової поверхні рослин кукурудзи становила 33,2 м²/га. Найвищою площа листової поверхні рослин кукурудзи (35,1 м²/га) була на варіанті із основним внесенням $N_{80}P_{60}K_{60}$ у поєднанні із припосівним внесенням P_{10} та підживленням азотними добривами в дозі 20 кг/га д.р.

Фотосинтетична діяльність листового апарату рослин кукурудзи, її рівень, а також інтенсивність, визначає загальну продуктивність та кінцевий її врожай.

Застосування добрив мало вплив на чисту продуктивність фотосинтезу та фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи при вирощуванні її на зелену масу. Так, на контрольному варіанті, де добрива не застосовувалися, чиста продуктивність фотосинтезу становила 6,2 г/м². При застосуванні добрив цей показник зріс до рівня 8,8–10,7 г/м². За одного лише основного внесення мінеральних добрив в дозі N₈₀P₆₀K₆₀ чиста продуктивність фотосинтезу становила 8,8 г/м². Додаткове припосівне внесення фосфорних добрив в дозі 10 кг/га д.р. забезпечило чисту продуктивність фотосинтезу посівів кукурудзи на рівні 9,1 г/м². При поєднанні підживлення в дозі N₂₀ із основним внесенням мінеральних добрив в дозі N₈₀P₆₀K₆₀ чиста продуктивність фотосинтезу складала 10,6 г/м².

Основне внесення мінеральних добрив із наступним припосівним внесенням та підживленням забезпечило найвищу чисту продуктивність фотосинтезу – 10,9 г/м².

Пропорційно зростанню величини чистої продуктивності фотосинтезу зростав і фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи при вирощуванні її на зелену масу. На варіанті без застосування мінеральних добрив фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи складав 1,75 млн м²·діб/га. При застосуванні мінеральних добрив цей показник зріс до рівня 2,33–2,76 млн м²·діб/га. Як і чиста продуктивність фотосинтезу, так і фотосинтетичний потенціал, найвищим був на варіанті, де в основне внесення застосовували N₈₀P₆₀K₆₀ та подальшим припосівним застосуванням фосфорних добрив в дозі 10 кг/га д.р., а також підживленням азотними добривами в дозі 20 кг/га д.р. На цьому варіанті величина фотосинтетичного потенціалу складала 2,76 млн м²·діб/га.

Одним із показників, який характеризує діяльність фотосинтетичного апарату, є процес накопичення сухої речовини в надземних та підземних частинах рослини на одиницю площі поверхні ґрунту.

За даними табл. 2, застосування добрив сприяло накопиченню як сировини, так і сухої біомаси кукурудзи. Якщо без застосування добрив вміст сировини в рослинах кукурудзи становив 39,3 т/га, то при застосуванні добрив сира біомаса рослин кукурудзи складала 44,1–47,5 т/га. Найвищим цей показник був на варіанті, де в основне внесення застосовували N₈₀P₆₀K₆₀ із подальшим припосівним внесенням фосфору (P₁₀) та підживленням (N₂₀).

Дослідження вказують, що застосування добрив сприяло покращенню хімічного складу зеленої маси кукурудзи. Найбільш суттєвий вплив добрива мали на вміст крохмалю, сирого протеїну та целюлози. Якщо на контролі вміст крохмалю в зеленій масі кукурудзи становив 35,7%, то при застосуванні добрив – 36,5–37,1%. Без застосування добрив вміст сирого протеїну у зеленій масі кукурудзи становив 8,9%, а під впливом добрив цей показник зріс до 9,4–9,7%.

Таблиця 2

Накопичення сирі та сухої біомаси кукурудзи при вирощуванні її на зелену масу (середнє за 2022–2024 рр.)

№ з/п	Варіант	Сира біомаса, т/га	Суха біомаса, т/га
1	Контроль	39,3	21,1
2	$N_{80}P_{60}K_{60}$	44,1	24,2
3	$N_{80}P_{60}K_{60} + P_{10}$ (при посіві)	46,6	27,1
4	$N_{80}P_{60}K_{60} + N_{20}$ (підживлення)	46,9	30,3
5	$N_{80}P_{60}K_{60} + P_{10}$ (при посіві) + N_{20} (підживлення)	47,5	32,2

Без використання добрив вміст целюлози в зеленій масі кукурудзи складав 28,4%, а за використання добрив – 28,9–29,2%.

Суша біомаса рослин кукурудзи без застосування добрив становила 21,1 т/га. При застосуванні мінеральних добрив вона складала 24,2–32,2 т/га, будучи найвищою на варіанті $N_{80}P_{60}K_{60} + P_{10} + N_{20}$.

Досить важливим чинником інтенсифікації вирощування кукурудзи на зелену масу є збалансоване мінеральне живлення, яке базується на раціональному використанні мінеральних добрив.

Як показують дані табл. 3, застосування добрив позитивно впливає на урожай зеленої маси кукурудзи. Якщо на контролі, де добрива не застосовувалися, урожайність зеленої маси кукурудзи в середньому за роки проведення досліджень становила 38,1 т/га, то застосування мінеральних добрив в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$ для основного внесення забезпечило урожайність зеленої маси на рівні 43,2 т/га, що на 5,1 т/га або на 13,4% більше, ніж на контролі.

Припосівне внесення фосфору в дозі 10 кг/га д.р. поряд із основним внесенням $N_{80}P_{60}K_{60}$ забезпечило урожайність зеленої маси кукурудзи на рівні 45,3 т/га (на 7,2 т/га або на 18,9% більше, ніж на контролі).

Основне внесення мінеральних добрив в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$ з подальшим підживленням азотними добривами в дозі 20 кг/га д.р. дало можливість отримати 45,8 т/га зеленої маси кукурудзи, що більше у порівнянні із варіантом, де добрива не застосовувалися на 7,7 т/га або на 20,2%.

Таблиця 3

Урожайність зеленої маси кукурудзи під впливом застосування добрив (т/га)

№ з/п	Варіант	Середня за 2022–2024 рр.	Приріст до контролю	
			т/га	%
1	Контроль	38,1	-	-
2	$N_{80}P_{60}K_{60}$	43,2	5,1	13,4
3	$N_{80}P_{60}K_{60} + P_{10}$ (при посіві)	45,3	7,2	18,9
4	$N_{80}P_{60}K_{60} + N_{20}$ (підживлення)	45,8	7,7	20,2
5	$N_{80}P_{60}K_{60} + P_{10}$ (при посіві) + N_{20} (підживлення)	46,7	8,6	22,6

$НІР_{05}$

0,45

Найвищу урожайність отримали на варіанті, де застосовували добрива для основного внесення, припосівного, а також підживлення – 46,7 т/га. Це більше у порівнянні із контролем на 8,6 т/га або на 22,6%.

Висновки

1. Застосування мінеральних добрив при вирощуванні кукурудзи на зелену масу, яке включає основне внесення повного мінерального добрива в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$, а також припосівне внесення фосфорних добрива в дозі P_{10} з подальшим підживленням азотом в дозі N_{20} , дає можливість скоротити час проходження фаз росту та розвитку рослин кукурудзи (від сходів до збирання врожаю) на 12 днів у порівнянні із варіантом, де добрива не застосовувалися.

2. Найвищі біометричні показники рослин кукурудзи при вирощуванні її на зелену масу відмічені на варіанті із основним

внесенням $N_{80}P_{60}K_{60}$ та подальшим припосівним застосуванням фосфорних добрив в дозі 10 кг/га д.р., а також підживленням азотними добривами в дозі 20 кг/га д.р. На цьому варіанті висота рослин кукурудзи у фазу цвітіння становила 224 см, а площа листової поверхні – 35,1 м²/га.

3. Найвищі чисту продуктивність фотосинтезу та фотосинтетичний потенціал забезпечив варіант, де для основного внесення застосовували добрива в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$ з наступним внесенням при посіві фосфорних добрив в дозі 10 кг/га д.р. та підживленням азотом в дозі 20 кг/га д.р. Ці показники склали відповідно 10,9 г/м² та 2,76 млн м²-діб/га.

4. Найкраще накопиченню сирії (47,5 т/га) та сухої (32,2 т/га) біомаси кукурудзи сприяло застосування мінеральних добрив в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$ для основного внесення з подальшим припосівним внесенням фосфору в дозі 10 кг/га д.р. та підживленням азотом в дозі 20 кг/га д.р.

5. Найкращі показники хімічного складу зеленої маси кукурудзи були на варіанті із основним внесенням $N_{80}P_{60}K_{60}$ з подальшим припосівним внесенням фосфору в дозі 10 кг/га д.р. та підживленням азотом в дозі 20 кг/га д.р. і становили: крохмаль – 37,1%, сирий протеїн – 9,7%, сира зола – 7,5%, сира клітковина – 25,0%, целюлоза – 29,2%.

6. Найбільший рівень урожайності зеленої маси кукурудзи – 46,7 т/га, забезпечило застосування для основного удобрення $N_{80}P_{60}K_{60}$ з подальшим внесенням при посіві P_{10} та підживленням N_{20} .

7. З економічної точки зору найбільш ефективним був варіант, де при вирощуванні кукурудзи на зелену масу для основного внесення застосовували мінеральні добрива в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$ з подальшим припосівним внесенням фосфорних добрив в дозі 10 кг/га д.р. та підживленням азотними добривами в дозі 20 кг/га д.р. Так, на цьому варіанті вартість валової продукції становила 44832 грн/га, умовно чистий дохід – 12532 грн/га, собівартість зеленої маси кукурудзи – 692 грн/т, а рівень рентабельності – 38,8%.

На чорноземі вилугуваному неглибокому малогумусному з метою отримання високого рівня урожаю зеленої маси кукурудзи на рівні 46,7 т /га нами рекомендується використовувати мінеральні добрива в дозі $N_{80}P_{60}K_{60}$ для основного внесення з подальшим припосівним застосуванням фосфорних добрив в дозі 10 кг/га д.р. та підживленням азотними добривами в дозі 20 кг/га д.р.

1. Квітка Г. Кукурудза – «за» євроінтеграцію! *Пропозиція*. 2013. № 12 (222). С. 38–40. 2. Цандур М. О. Наукові основи землеробства Південного Степу України. Одеса : Папірус, 2006. 177 с. 3. Calvino P. A., Andradeb F. A., Sadrasb V. O. Maize Yield as Affected by Water Availability, Soil Depth, and Crop Management. *Agronomy Journal*. 2003. № 95. P. 275–281. 4. Сатановська І. П. Використання регуляторів росту та хелатних добрив при формуванні продуктивності різностиглих гібридів кукурудзи на силос. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 76. С. 218–224. 5. Городній М. М., Мельник С. І., Маліновський А. С. Агрохімія. Київ : Алефа, 2003. 778 с., 6. Господаренко Г. М. Агрохімія мінеральних добрив. Київ : Науковий світ, 2003. 136 с. 7. Маренич М. М., Капленко В. О., Коба К. В., Голуб О. Р. Особливості управління врожайністю кукурудзи в умовах нестійкого зволоження. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 4. С. 43–50. 8. Мокрієнко В. А. Мінеральне живлення кукурудзи. *Агроном*. 2009. № 2. С. 102–104.

REFERENCES:

1. Kvitka H. Kukurudza – «za» yevrointehratsiiu! *Propozytsiia*. 2013. № 12 (222). S. 38–40. 2. Tsandur M. O. Naukovi osnovy zemlerobstva Pivdennoho Stepu Ukrainy. Odesa : Papirus, 2006. 177 s. 3. Calvino P. A., Andradeb F. A., Sadrasb V. O. Maize Yield as Affected by Water Availability, Soil Depth, and Crop Management. *Agronomy Journal*. 2003. № 95. P. 275–281. 4. Satanovska I. P. Vykorystannia rehulatoriv rostu ta khelatnykh dobryv pry formuvanni produktyvnosti riznostyglykh hibrydiv kukurudzy na sylos. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. 2013. Vyp. 76. S. 218–224. 5. Horodnii M. M., Melnyk S. I., Malinovskiy A. S. Ahrokhimiia. Kyiv : Alefa, 2003. 778 s. 6. Hospodarenko H. M. Ahrokhimiia mineralnykh dobryv. Kyiv : Naukovyi svit, 2003. 136 s. 7. Marenych M. M., Kaplenko V. O., Koba K. V., Holub O. R. Osoblyvosti upravlinnia vrozhaunistiu kukurudzy v umovakh nestiikoho zvolozhennia. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2019. № 4. S. 43–50. 8. Mokriienko V. A. Mineralne zhyvlennia kukurudzy. *Ahronom*. 2009. № 2. S. 102–104.

Furman V. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Moroz O. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Liusak A. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Savytskyi V. M., Master (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

MONITORING OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF FERTILIZERS IN THE GROWING OF CORN FOR GREEN MASS

The aim of the work was to study the effectiveness of using different doses and timing of mineral fertilizers when growing corn for green mass on leached shallow low-humus chernozem.

As a result of the conducted research, it was found that:

1. The use of mineral fertilizers when growing corn for green mass, which includes the main application of complete mineral fertilizer at a dose of $N_{80}P_{60}K_{60}$, as well as the application of phosphorus fertilizers at a dose of P_{10} during sowing with subsequent nitrogen fertilization at a dose of N_{20} , makes it possible to reduce the time of the growth and development phases of corn plants (from germination to harvest) by 12 days;

2. The highest biometric indicators of corn plants when growing it for green mass were noted in the variant with the main application of $N_{80}P_{60}K_{60}$ and subsequent application of phosphorus fertilizers at a dose of 10 kg/ha dry matter, as well as top dressing with nitrogen fertilizers at a dose of 20 kg/ha dry matter. In this variant, the height of corn plants in the flowering phase was 224 cm, and the leaf surface area was 35.1 m²/ha;

3. The best accumulation of raw (47.5 t/ha) and dry (32.2 t/ha) corn biomass was facilitated by the use of mineral fertilizers at a dose of $N_{80}P_{60}K_{60}$ for the main application with subsequent application of phosphorus at a dose of 10 kg/ha dry matter and top dressing with nitrogen at a dose of 20 kg/ha dry matter.

4. The best indicators of the chemical composition of green corn mass were on the variant with the main application of $N_{80}P_{60}K_{60}$ with subsequent application of phosphorus at a dose of 10 kg/ha dry matter and top dressing with nitrogen at a dose of 20 kg/ha dry matter and were: starch – 37.1%, crude protein – 9.7%, crude ash – 7.5%, crude fiber – 25.0%, cellulose – 29.2%.

5. The highest level of yield of green corn mass - 46.7 t/ha, was provided by the use of $N_{80}P_{60}K_{60}$ as the main fertilizer with subsequent application of P_{10} at sowing and top dressing with N_{20} .

On leached shallow low-humus chernozem in order to obtain a high level of corn green mass yield at the level of 46.7 t / ha, we recommend using mineral fertilizers at a dose of $N_{80}P_{60}K_{60}$ for the main application with subsequent application of phosphorus fertilizers at a dose of 10 kg / ha d.r. and top dressing with nitrogen fertilizers at a dose of 20 kg / ha d.r.

***Keywords:* corn; green mass; fertilizers; leached chernozem; yield.**

ЗМІСТ

Бондар О. Б., Погорелова О. М., Чернишенко О. Я.	Вплив способів зберігання на вміст хлорофілів та каротиноїдів у листках городніх рослин 3
Бондарчук С. П., Бондарчук Л. Ф., Федонюк М. А., Мерленко І. М., Ковальчук Н. С.	Шляхи зменшення забруднення поверхневих водойм через удосконалення способу скиду стічних вод на прикладі очисних споруд м. Луцька 15
Гунчак М. В., Грищенко О. М., Маменко П. М., Колодяжний О. Ю., Щербачук В. М.	Біологічний метод захисту яблуні проти парші в умовах Західного лісостепу України 27
Демчук В. В., Толочик І. Л.	Показники фотосинтетичної активності та параметри їх формування в агроценозах <i>Beta vulgaris var. alba D. C.</i> 41
Клименко М. О., Варжель О. В., Рабешко Я. І.	Оцінка агроекологічного стану орних земель басейну річки Устя 55
Клименко М. О., Колесник Т. М., Налобіна О. О., Ковальчук Н. С., Голотюк М. В.	Розробка інтегрованої системи управління ґрунтовими факторами родючості для підвищення продуктивності пшениці озимої 69
Майборода Х. А.	Вплив калій сульфату на врожайність та біохімічний склад листового салату в аквапонічній системі 81
Лукащук Л. Я., Маркарян В. В., Яценко Л. А., Чернявська К. А.	Реалізація потенціалу продуктивності гібридів кукурудзи (<i>Zea mays L.</i>) української селекції різних груп стиглості у Західному лісостепу за проведення позакореневих підживлень 97

Максютов А. О., Брикін Є. В., Брежицька О. А.	Сучасні підходи та перспективи використання енерго- та ресурсозберігаючих технологій переробки нафтопродуктів в Україні 111
Максютов А. О., Скиба В. П., Стецюк Л. М.	Геоекологічні умови експлуатації Шишковецького родовища гіпсу 125
Мерленко І. М., Бондарчук С. П., Зінчук М. І., Шворак А. М., Мерленко Н. О., Ковальчук Н. С.	Вплив вирощування монокультури кукурудзи на агрохімічні показники ясно- сірого опідзоленого ґрунту 141
Фурман В. М., Мороз О. С., Люсак А. В., Савицький В. М.	Моніторинг ефективності використання добрив при вирощуванні кукурудзи на зелену масу 153

CONTENT

Bondar O. B., Pohorielova O. M., Chernyshenko O. Y.	Effect of Storage Methods on the Content of Chlorophylls and Carotenoids in the Leaves of Vegetable Plants 3
Bondarchuk S. P., Bondarchuk L. F., Fedoniuk M. A., Merlenko I. M., Kovalchuk N. S.	Ways To Reduce Pollution of Surface Body Containers Through Improving the Method of Wastewater Discharge Using the Example of Treatment Plants in Lutsk 15
Hunchak M. V., Hryshchenko O. M., Mamenko P. M., Kolodiaznyi O. Yu., Shcherbachuk V. M.	Biological Method of Protection of Apple Tree Against Scab in the Conditions of the Western Forest-Step of Ukraine 27
Demchuk V. V., Tolochyk I. L.	Photosynthetic Activity Indicators and Parameters of Their Formation in Agroecosystems <i>Beta vulgaris var. alba</i> D. C. 41
Klymenko M. O., Varzhel O. V., Rabeshko Ya. I.	Assessment of Agroecological State of Arable Lands of the River Ustia Basin 55
Klymenko M. O., Kolesnyk T. M., Nalobina O. O., Kovalchuk N. S., Holotiuk M. V.	Development of an Integrated System of Soil Fertility Factors Management to Increase the Productivity of Winter Wheat..... 69
Maiboroda K. A.	Influence of Potassium Sulphate on the Yield and Biochemical Composition of Leaf Lettuce in An Aquaponic System 81

Lukashchuk L. Ya., Markarian V. V., Yashchenko L. A., Cherniavska K. A.	Realization of the Productivity Potential of Maize (Zea Mays L.) Hybrids of Ukrainian Selection of Different Maturity Groups in the Western Forest-Steppe Under Foliar Fertilization 97
Maksiutov A. O., Brykin Y. V., Brezhytska O. A.	Modern Approaches and Prospects for the Use of Energy- and Resource Saving Technologies in Oil Refining in Ukraine 111
Maksiutov A. O., Skyba V. P., Stetsiuk L. M.	Geo-ecological Conditions of Exploitation of the Shishkivtsi Gypsum Deposit 125
Merlenko I. M., Bondarchuk S. P., Zinchuk M. I., Shvorak A. M., Merlenko N. O., Kovalchuk N. S.	Influence of Corn Monoculture Growing on Agrochemical Indicators of Light-Gray Podzolized Soil 141
Furman V. M., Moroz O. S., Liusak A. V., Savytskyi V. M.	Monitoring of the Efficiency of the Use of Fertilizers in the Growing of Corn for Green Mass 153

Наукове видання

ВІСНИК
Національного університету водного
господарства та природокористування

Збірник наукових праць

Випуск 1(109)

Сільськогосподарські науки

Комп'ютерна верстка
Технічний редактор
Літературний редактор

Галина Сімчук
Галина Сімчук
Ольга Якимчук

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 28.03.2025 р. Формат 70×100¹/₁₆.
Ум.-друк. арк. 9,9. Обл.-вид. арк. 10,9.
Тираж 150 прим. Зам. № 5662.

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.