

ВІСНИК

Національного університету
водного господарства та
природокористування

ISSN 2306-5478

В И П У С К 2(110)

<https://doi.org/10.31713/vs220250>

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 агроєкології та землеустрою (НУВГП, Рівне)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Матеріали збірника розглянуто і рекомендовано до видання
Вченою радою університету 30 травня 2025 р., протокол № 5.
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 2(110)

<https://doi.org/10.31713/vs220250>

**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: Moshynskyi 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 May 30, 2025,
Academic Council Meeting Minutes #5.
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>

Бєдункова О. О., д.б.н., професор; Статник І. І., к.с.-г.н., доцент; Левківський Р. В., здобувач третього рівня вищої освіти (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua; i.i.statnik@nuwm.edu.ua; r.v.levkivskyj@nuwm.edu.ua); Вечорка В. В., д.с.-г.н., професор; Михалко О. Г., доктор філософії (Ph.D.), доцент (Сумський Національний аграрний університет, м. Суми, victoriia.vechorka@snaeu.edu.ua; Oleksandr.Mykhalko@snaeu.edu.ua)

БІОРІЗНОМАНІТТЯ РИБ ЯК ВІДОБРАЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ УМОВ У ПРИТОКАХ СЕРЕДНЬОЇ ТЕЧІЇ РІЧКИ ГОРИНЬ

Дослідження присвячено комплексному аналізу біорізноманіття іхтіофауни у трьох притоках середньої течії річки Горинь (р. Устя, р. Замчисько, р. Стубелка) з метою оцінки екологічного стану малих річкових екосистем. У період з 2022 по 2024 рік методом контрольних виловів було ідентифіковано 16 видів риб, що належать до 9 родин та 5 рядів, з переважанням представників ряду Cypriniformes (11 видів). Найбільш видовим багатством характеризувалася р. Замчисько (15 видів), тоді як у р. Устя виявлено лише 8 видів. Використання індексів біорізноманіття (Шеннона, Бергера – Паркера, Пієлу) виявило суттєві відмінності між досліджуваними річками. Найвищі показники видового різноманіття зафіксовані в р. Замчисько ($H'=2,49$), що свідчить про збалансовану екосистему з різноманітними біотопами. Річка Стубелка демонструвала подібний рівень різноманіття ($H'=2,44$), але з помітним домінуванням *Rutilus rutilus*. Найнижчі показники в р. Устя ($H'=1,92$) та високе значення індексу Бергера – Паркера ($d=0,29$) вказують на домінування *Scardinius erythrophthalmus* та спрощену структуру іхтіоценозу. Аналіз життєвих стратегій риб виявив переважання літоральних видів (48% у р. Устя) та пелагічних таксонів (33% у р. Стубелка). Трофічна структура іхтіофауни характеризувалася високою часткою планктофагів (49–56%) та всеїдних видів (20%), що свідчить про мезо-евтрофні умови. Обмежена чисельність бентофагів, особливо у р. Устя (17%), вказує на погіршення стану донних біотопів.

Присутність хижаків (7–22%) підтверджує формування стабільних трофічних ланцюгів у р. Замчисько та р. Стубелка. Результати дослідження підкреслюють значний вплив антропогенних факторів (урбанізація, меліорація, сільськогосподарське землекористування) на структуру рибних угруповань. Зниження біорізноманіття у р. Устя пов'язане з порушенням гідрологічного режиму та забрудненням. Отримані дані можуть бути використані для розробки заходів з охорони та відновлення малих річкових екосистем у басейні р. Горинь.

Ключові слова: іхтіофауна; видове багатство; життєві стратегії; трофічні групи; водна екосистема; малі річки.

Вступ. Малі річки є важливою складовою гідрографічної мережі та відіграють ключову роль у підтриманні екологічної рівноваги, водного балансу, біопродуктивності та збереженні біорізноманіття на регіональному рівні. Незважаючи на обмежені водні об'єми та відносно невелику протяжність, саме ці водотоки забезпечують сприятливі умови для існування значної кількості гідробіонтів, зокрема іхтіофауни, яка є чутливим індикатором екологічного стану водних екосистем.

Риби в малих річках виконують багато екологічних функцій: беруть участь у трофічних ланцюгах, регулюють чисельність безхребетних, сприяють перенесенню біогенних речовин, а також є об'єктом місцевого рибальства. Їх видовий склад та чисельність реагують навіть на незначні зміни у фізико-хімічних параметрах водного середовища, що дозволяє використовувати їх як ефективний інструмент біоіндикації [1]. Дослідження іхтіофауни дає змогу не лише визначити стан водного об'єкта, але й виявити тенденції до деградації біоценозів, або навпаки – прояви природної ренатуралізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість досліджень доводять, що на структуру рибного населення впливає широкий спектр екологічних чинників, серед яких ключову роль відіграють якість річкової води, стан середовища існування, характер землекористування в басейні річки, її гідрологічний та гідрохімічний режим. Забруднення води органічними та хімічними речовинами, зміни температурного режиму, вміст розчиненого у воді кисню, рівень мутності або евтрофікації безпосередньо впливають на чисельність, видовий склад і трофічну структуру рибних угруповань. Деградація

таких середовищ існування риб, як донні субстрати, місця нересту, укриття, внаслідок забудови берегів, осушення заплав чи меліорації, призводить до скорочення чисельності або зникнення чутливих видів.

Зокрема, через вплив змін у землекористуванні під час будівництва гідроенергетичних споруд, після втрати зв'язку між річкою та озером, у р. Янцзи (Китай) зникли 34 зі 169 зареєстрованих видів риб, що становило 20% втрати видового фонду [2]. Було помічено, що огороження сільськогосподарських угідь, будівництво доріг на основі водонепроникних матеріалів, які в сукупності обумовили не більше 5% урбанізації річкових водозбірних площ, призводило до зниження різноманіття риб із рівнем кореляційної залежності $r^2=0,4$ [3]. Встановлено також, що урбанізація та інтенсивне сільськогосподарське землекористування у вузьких (25–50 м) прибережних коридорах верхів'я річок призводять до зменшення чисельності хижих видів риб, зниження частки чутливих до забруднення таксонів та загального видового багатства, що є наслідком впливу погіршення якісних показників складу річкової води на загальну структуру трофічних угруповань [4].

Дослідження, що спираються на складні моделі вхідних (гідравлічні параметри потоку, якість води, абіотичні фактори в межах водозбору) та вихідних (показники біорізноманіття) даних, доводять, що будь-яка зміна в стані річкової мережі може змінити популяцію кожного виду. Так, поєднання моделі якості води з урахуванням гідрологічних умов, а також регресійної моделі біорізноманіття та гідравлічної моделі водозборів річок басейну р. Джайджруд (Іран) показало, що від верхів'я до низини за течією багатство риб може відрізнятися у межах ≥ 10 видів, або проявлятися у суттєвій зміні видового домінування. При цьому було помічено, що індекс Шеннона достатньо об'єктивно відображує вплив на біорізноманіття комплексних екологічних характеристик водозбору [5].

На фоні надмірного антропогенного навантаження, деякі види можуть взаємозамінюватися з часом, або склад угруповання може змінюватися через локальну колонізацію [6] чи вимирання [7]. Помічено, що домінуючим процесом у формуванні моделей біорізноманіття в антропогенно змінених річках є заміна ендемічних та чутливих видів риб на інвазивні та толерантні види [8].

Оскільки малі річки нерідко слугують екологічними коридорами для багатьох видів риб, забезпечуючи їх розселення, сезонні міграції

та генетичний обмін між популяціями, дослідження їхнього біорізноманіття дозволяє виявити рідкісні або зникаючі види, включені до охоронних списків, що є важливим для планування дій зі збереження генофонду на локальному та національному рівнях [9].

Аналіз наукової літератури свідчить, що характеристики біорізноманіття риб, які визначаються як часові або просторові зміни таксономічної ідентичності та чисельності видів в екосистемах, доволі часто досліджуються через відмінності альфа- та бета-різноманіття [10; 11]. Зокрема, альфа-різноманіття відображає багатство в певному місці (видове, таксономічне, функціональне, філогенетичне), а бета-різноманіття відображає різницю у складі (видовому, таксономічному, функціональному) між двома або більше угрупованнями в різних місцях. Ці два аспекти біорізноманіття в багатьох випадках надають чітку інформацію про його динаміку та можуть слугувати надійними індикаторами екологічного стану водних екосистем, дозволяючи виявляти як кількісні зміни у видовому складі, так і глибші еволюційні зрушення, зумовлені антропогенним тиском [12; 13] або природними чинниками [14; 15].

Мета, завдання та методики проведення досліджень. Метою представлених досліджень було здійснення аналізу видового та таксономічного біорізноманіття риб у притоках середньої течії річки Горинь для оцінювання особливостей локальної просторової організації іхтіофауни та порівняння стану водних екосистем малих річок.

Дослідження проводили на гідроекосистемах трьох малих річок, що є притоками р. Горинь першого порядку: р. Устя, р. Замчисько, р. Стубелка (рис. 1).

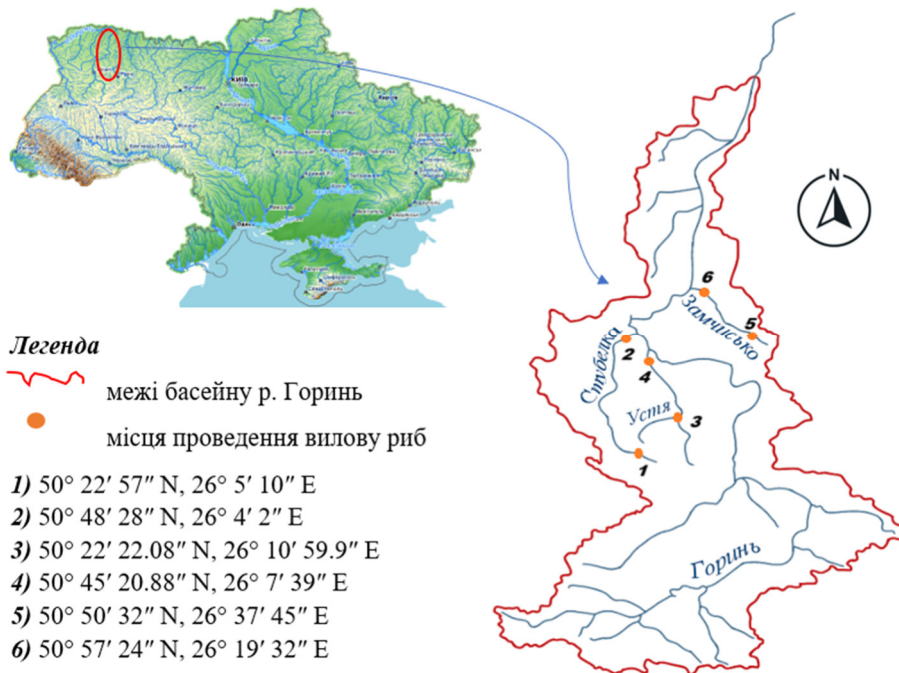


Рис. 1. Ситуаційна карто-схема місць проведення досліджень

Водозбори р. Устя, р. Замчисько і р. Стубелка є важливими елементами гідрографічної мережі басейну р. Горинь. Адміністративно їх території належать до Рівненської області. Згідно з фізико-географічним районуванням, усі три річки розташовані в межах Поліської фізико-географічної провінції (або Полісся) та частково Подільської височини. Зокрема, ліва притока р. Устя протікає в межах Мізоцького кряжу, що є частиною Волинської височини (межова зона між Поліссям і Поділлям). Права притока Горині – р. Замчисько розташована в Поліській низовині, у межах Рівненського Полісся, що належить до Західнополіського району. Ліва притока – р. Стубелка протікає через перехідну фізико-географічну зону між Лісостепом і Поліссям [16].

Контрольні вилови проводили впродовж 2022–2024 рр. у теплий період року (з травня по жовтень), що не збігався з нерестовим сезоном риб. Місця вилову знаходились у прибережній та мілководній зонах на ділянках русел поблизу витоку та гирла кожної досліджуваної річки (рис. 1). Для мінімізації травмування риб і дотримання етичних принципів досліджень застосовували візуально-

контрольовані садкові системи (пастки), які забезпечували репрезентативний відбір проб при мінімальному впливі на екосистему. Всі виловлені екземпляри підлягали видовому та таксономічному аналізу за їхніми зовнішніми морфологічними характеристиками [17] з подальшим поверненням до водного середовища.

Кількісну оцінку видового різноманіття для аналізу просторової структури популяцій риб проводили з використанням індексу Шеннона [18]:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i) , \quad (1)$$

де p_i – частка i -го виду в загальній чисельності; S – кількість видів.

Для відображення домінування найчисельнішого виду використовували індекс Бергера – Паркера:

$$d = \frac{N_{max}}{N} , \quad (2)$$

де N_{max} – чисельність найпоширенішого виду.

Рівномірність розподілу між чисельності між видами оцінювали за індексом Пієлу, що нормалізує значення індексу Шеннона, дозволяючи оцінити рівномірність незалежно від кількості видів:

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)} , \quad (3)$$

де H' – індекс Шеннона.

Математичну та графічну обробку результатів досліджень здійснювали з використанням прикладного пакету *Microsoft Exel*, що забезпечило обчислення кількісних показників різноманіття та візуалізацію отриманих даних у вигляді діаграм і графіків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Русла досліджуваних річок мають помірну звивистість, долини коритоподібної форми, подекуди з асиметричними схилами та заболоченими заплавами з ознаками акумулятивного рівнинного рельєфу. Переважають агроландшафти з елементами заплавно-лучних і лісових комплексів.

На гідроекосистеми річок значною мірою впливають антропогенні фактори, зумовлюючи як прямі, так і опосередковані зміни в їхньому гідрологічному та екологічному стані. Численні штучні ставки, меліоративні канали і греблі в долинах річок порушують природний режим паводків, сприяючи пересиханню окремих ділянок у межень та зниженню самоочисної здатності річок. Забудова і

урбанізація, що найбільш помітна для р. Устя та р. Замчисько в межах м. Рівне та м. Костопіль, спричиняє скид недостатньо очищених стічних вод, зміну русел, обміління та зниження водності. Домінуюча форма землекористування в регіоні – орне землеробство – призводить до погіршення якості води, евтрофікації та зміни структури біоценозів.

Зведені результати таксономічного та видового різноманіття риб у досліджуваних малих річках (табл. 1) свідчать, що іхтіофауна приток середньої течії р. Горинь представлена 16 видами, які належать до 9 родин і 5 рядів.

Найбільш репрезентативною за видовим складом є родина Leuciscidae (5 видів), що характерно для прісноводних водойм із різним ступенем антропогенного навантаження.

У структурі таксономічного різноманіття переважають представники ряду Cypriniformes (11 видів), що є типовими мешканцями стоячих або слабопроточних вод із розвиненим прибережним рослинним поясом. Крім того, при виловах виявлено поодиноких представників таких рядів, як Siluriformes, Esociformes, Perciformes та Gobiiformes, що відображує наявність як хижих, так і придонних видів, здатних існувати у різних трофічних нішах.

За охоронним статусом, більшість видів класифіковані як такі, що перебувають у категорії LC (Least Concern) – «найменше занепокоєння» за класифікацією Міжнародного союзу охорони природи (МСОП). Це вказує на їх поширеність та адаптивність до локальних умов. Винятків з охоронним статусом у виявленому складі не зафіксовано, що може свідчити про відсутність у досліджуваних річках рідкісних або зникаючих таксонів.

Таблиця 1

Зведені результати таксономічного та видового різноманіття риб у притоках середньої частини р. Горинь

№	Ряд	Родина	Вид	Українська назва	Англомова назва	Статус*
1	Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Carassius gibelio</i> Bloch, 1782	Карась сріблястий	Prussian carp	-
2			<i>Carassius carassius</i> Linnaeus, 1758	Карась звичайний	Crucian carp	LC
3		Leuciscidae	<i>Scardinius erythrophthalmus</i> Linnaeus, 1758	Краснопірка	Rudd	LC
4			<i>Alburnus alburnus</i> Linnaeus, 1758	Верховодка	Bleak	LC
5			<i>Rutilus rutilus</i> Linnaeus, 1758	Плітка	Roach	LC
6			<i>Abramis brama</i> Linnaeus, 1758	Лящ	Freshwater bream	LC
7			<i>Leuciscus leuciscus</i> Linnaeus, 1758	Ялець звичайний	Common dace	LC
8		Gobionidae	<i>Gobio gobio</i> Linnaeus, 1758	Пічкур звичайний	Gudgeon	LC
9		Tincidae	<i>Tinca tinca</i> Linnaeus, 1758	Лин	Tench	LC
10		Cobitidae	<i>Cobitis taenia</i> Linnaeus, 1758	Щиповка звичайна	Spined loach	LC
11			<i>Sabanejewia aurata</i> De Filippi, 1863	Щиповка золотиста	Golden spined loach	LC
12	Siluriformes	Siluridae	<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758	Сом європейський	Wels catfish	LC
13	Esociformes	Esocidae	<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758	Щука	Northern pike	LC
14	Perciformes	Percidae	<i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758	Окунь річковий	European perch	LC
15			<i>Gymnocephalus cernua</i> Linnaeus, 1758	Йорж звичайний	Ruffe	LC
16	Gobiiformes	Gobiidae	<i>Ponticola ratan</i> Nordmann, 1840	Бичок-ратан	Ratan goby	LC

*Примітка: статус видів наведено відповідно до Червоного листа [19] Міжнародного союзу охорони природи (МСОП), зокрема категорія LC (Least Concern) – «найменша занепокоєність».

У межах окремих річок слід відмітити, що р. Устя характеризувалася відносно низьким видовим багатством. Під час контрольних ловів тут було зафіксовано присутність 8 з 16 видів риби, а загальна кількість виявлених особин становила 158 екз. З них, найчисельнішими виявились: *Scardinius erythrophthalmus* – 45 екз. (28,5%), *Rutilus rutilus* – 31 екз. (19,6%), *Ponticola ratan* – 23 екз. (14,6%), *Perca fluviatilis* – 12 екз. (7,6%), *Carassius gibelio* – 22 екз. (13,9%). Інші види (*Carassius carassius*, *Alburnus alburnus*, *Abramis brama*, *Cobitis taenia*) були представлені у низьких кількостях (від 4 до 12 екземплярів), тоді як решта видів взагалі не траплялись (рис. 2).

Найбагатшою за видовим складом виявилася р. Замчисько. Тут було зафіксовано 15 із 16 видів, а загальна кількість виловлених особин склала 293.

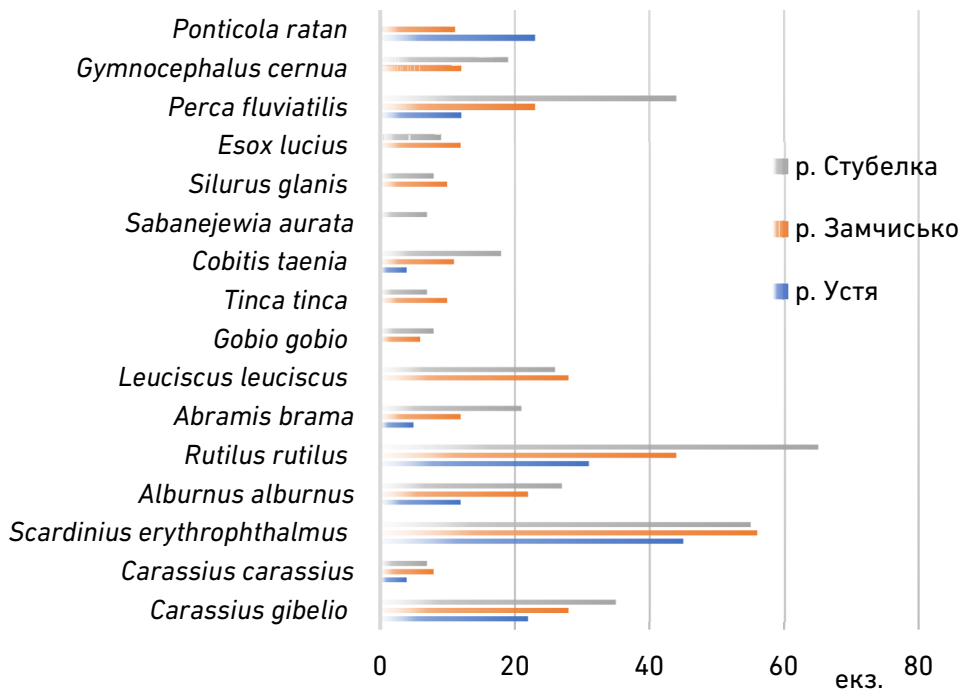


Рис. 2. Чисельність виявлених видів риби у притоках середньої течії р. Горинь

Найчисельнішими виявились: *Scardinius erythrophthalmus* – 56 екз. (19,1%), *Rutilus rutilus* – 44 екз. (15,0%), *Carassius gibelio* – 28 екз. (9,6%), *Perca fluviatilis* – 23 екз. (7,8%), *Alburnus alburnus* – 22 екз. (7,5%), *Leuciscus leuciscus* – 28 екз. (9,6%). Решта видів були

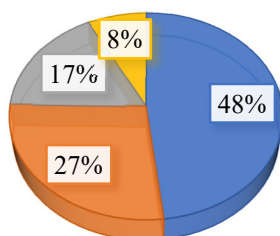
представлені в межах 6–12 екз., включаючи види, що рідко зустрічались у інших річках (*Silurus glanis*, *Tinca tinca*, *Gobio gobio*).

Відносну врівноваженість між видовим багатством і чисельністю демонструвала іхтіофауна р. Стубелка. Всього було виявлено 15 видів, а загальна кількість риб становила 381 особину. Найбільш представленими були види: *Rutilus rutilus* – 65 екз. (17,1%), *Scardinius erythrophthalmus* – 55 екз. (14,4%), *Perca fluviatilis* – 44 екз. (11,5%), *Carassius gibelio* – 35 екз. (9,2%), *Alburnus alburnus* – 27 екз. (7,1%), *Abramis brama* – 21 екз. (5,5%). Чисельний у річках Устя та Замчисько вид *Ponticola ratan* не був зафіксований. При цьому, були наявні унікальні для цієї річки представники: *Silurus glanis* – (8 екз.), *Sabanejewia aurata* – 7 екз. (2%), *Gymnocephalus cernua* – 19 екз. (5%).

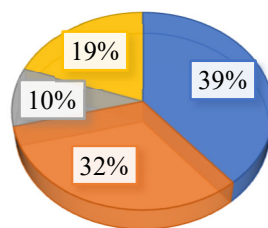
Групування представників іхтіофауни за критерієм життєвої стратегії (екологічним типом) виявило, що високою чисельністю в усіх досліджуваних малих річках відзначаються літоральні (прибережні) види *S. erythrophthalmus*, *C. gibelio*, *C. carassius*, *T. tinca*, *A. brama*. Зокрема, їх найбільша частка зафіксована в р. Устя, що становила 48% від решти видів риб даної гідроекосистеми.

Пелагічні (відкритоводні) види *A. alburnus*, *R. rutilus*, *L. leuciscus* також були достатньо представлені в усіх річках: із часткою 33%, 32% та 27%, відповідно в р. Стубелка, р. Замчисько, р. Устя. Бентопелагічні види *G. gobio*, *C. taenia*, *S. aurata*, *P. ratan* та еврибіонти *E. lucius*, *S. glanis*, *P. fluviatilis*, *G. cernua* входили до складу іхтіофауни малих річок у значно меншій кількості. Зокрема, бентопелагічні були найменш представлені в р. Устя (9%) та р. Замчисько (10%) і дещо більшою виявилась їх частка в р. Устя (17%). Частка еврибіонтів була найменшою в р. Устя (8%), найвищою в р. Стубелка (23%) і проміжне місце посіла частка еврибіонтів (19%) у складі іхтіофауни р. Замчисько (рис. 3).

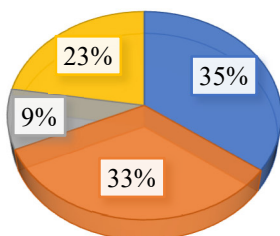
Розподіл риб за харчовими спектрами свідчив про наявність чотирьох трофічних груп (рис. 4). Найбільш представленими в усіх досліджуваних річках виявились планктофаги *S. erythrophthalmus*, *A. alburnus*, *R. rutilus*, *L. Leuciscus*. Їх частка була найбільшою в р. Устя (56%), найменшою в р. Стубелка (49%) та мала проміжне положення в р. Замчисько (51%). Як відомо, переважання планктофагів (зоо- та фітопланктофагів) свідчить про наявність у водоймі великої кількості первинної продукції, тобто про мезо- чи евтрофні умови.



р. Устя



р. Замчисько



р. Стубелка

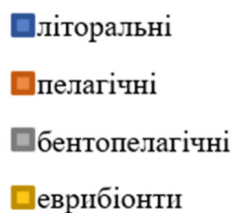
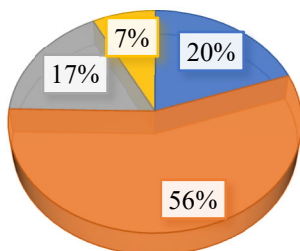
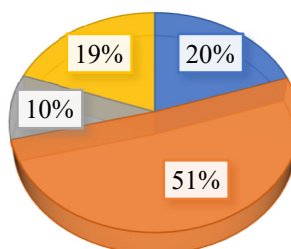


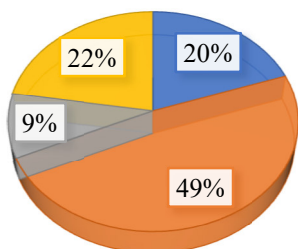
Рис. 3. Частка представників іхтіофауни різних життєвих стратегій у притоках середньої течії р. Горинь



р. Устя



р. Замчисько



р. Стубелка

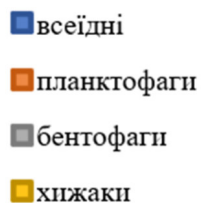


Рис. 4. Частка представників іхтіофауни різних трофічних груп у притоках середньої течії р. Горинь

На другому місці за чисельністю виявилась всеїдна трофічна група, представлена видами *C. gibelio*, *C. carassius*, *A. brama*, *T. tinca*, присутність яких у водоймах вказує на велику кількість детриту та водної рослинності. Для всіх досліджуваних річок, їх частка становила 20% від загальної кількості риб.

Бентофаги (*G. gobio*, *C. taenia*, *S. aurata*, *P. ratan*) в складі іхтіофауни річок були найбільш представлені в р. Устя (17%), а в р. Замчисько та р. Стубелка були майже на одному рівні – 10% та 9% відповідно. Як відомо, невисока чисельність бентофагів у складі іхтіофауни є ознакою одного або кількох несприятливих чинників водного середовища. Передусім, це свідчить про низьку чисельність макрзообентосу – основного корму бентофагів, що виникає внаслідок браку кисню (гіпоксії) у придонних шарах. Одночасно, при надмірному розмноженні планктофагів і всеїдних видів бентос може бути надто експлуатований, або не встигати відновлюватись. У деяких випадках витіснення автохтонних бентофагів відбувається через інвазії чужорідних видів.

Хижацьки види *P. fluviatilis*, *E. lucius*, *S. glanis*, *G. cernua* були найбільш представлені в р. Стубелка, де на їх частку припадало 22% від загальної чисельності видів. Очевидно, що це свідчить про екологічну стабільність екосистеми, наявність сформованої трофічної піраміди та достатню кількість кормових ресурсів. Наявність хижих видів риб у р. Замчисько на рівні 19%, що становить майже п'яту частину всього іхтіоценозу річки, також відображує відносну екологічну рівновагу, біорізноманіття та цілісність водної екосистеми. У той же час, їхня менша чисельність у р. Устя (7%) може розцінюватись як індикатор спрощеної трофічної структури внаслідок екологічного навантаження, або зміненого гідрологічного режиму.

Оцінені кількісні показники видового різноманіття свідчать про наявні особливості водних екосистем досліджуваних річок (табл. 2).

Таблиця 2

Результати оцінювання показників видового різноманіття іхтіофауни у притоках середньої течії р. Горинь

Назва притоки	Значення індексів видового різноманіття		
	індекс Шеннона	індекс Бергера – Паркера	індекс Пієлу
р. Устя	1,92	0,29	0,87
р. Замчисько	2,49	0,19	0,92
р. Стубелка	2,44	0,18	0,90

Результати розрахунку індексів Шеннона демонструють суттєві відмінності у рівнях біотичного різноманіття між річками. Найнижчий показник спостерігається в р. Устя ($H' = 1,92$), що свідчить про менш рівномірний розподіл чисельності між видами та домінування окремих таксонів. Це підтверджується емпіричними даними: *S. erythrophthalmus* (краснопірка) та *R. rutilus* (плітка) становлять значну частку загальної чисельності (45 і 31 особина відповідно зі 158 виловлених).

У р. Замчисько, навпаки, фіксується найвищий рівень видового різноманіття ($H' = 2,49$), що пов'язано як з великою кількістю представлених видів, так і відносно рівномірним розподілом чисельності між ними. Наприклад, достатню чисельність серед 293 особин мали як *S. erythrophthalmus* (краснопірка) – 56 особин і *R. rutilus* (плітка) – 44 особини, так і *C. gibelio* (карась звичайний) – 28 особин, *A. alburnus* (верховодка) – 22 особини, *L. leuciscus* (ялець звичайний) – 28 особин, *P. fluviatilis* (окунь річковий) – 23 особини. У жодного з видів не було абсолютної чисельної переваги, що і сприяло зростанню ентропійного показника.

Водна екосистема малої р. Стубелка також характеризувалася високим рівнем різноманіття ($H' = 2,44$), лише трохи поступаючись р. Замчисько. Найчисельнішими видами серед 365 виловлених особин тут були *R. rutilus* (плітка) – 65 особин та *S. erythrophthalmus* (краснопірка) – 55 особин, за ними йшли *P. fluviatilis* (окунь річковий) – 44 особини, *C. gibelio* (карась звичайний) – 35 особин та інші. Водночас, спостерігалось помітне зростання кількості видів, які в інших річках були відсутні або малочисельні (наприклад, *G. gobio* (пічкур звичайний), *S. aurata* (щиповка золотиста), *S. glanis* (сом європейський), *G. cernua* (йорж звичайний)).

Найвище значення індексу Бергера – Паркера спостерігалось у р. Устя ($d = 0,29$). Це означає, що майже 29% всієї чисельності становить один вид – *S. erythrophthalmus*. Така ситуація є типовою для екосистем зі спрощеною структурою, де один вид витісняє інших через стійкість до умов або змін у середовищі існування (наприклад, евтрофікація, забруднення, однорідність біотопів). У р. Замчисько ($d = 0,19$) домінантом також був вид *S. erythrophthalmus*. Оскільки на його частку припадало лише 19,1%, це вказує на більш рівномірний розподіл і менше домінування одного виду. Одночасно, відмічений тут найвищий індекс Шеннона свідчить про стабільну, багатокомпонентну структуру

іхтіофауни. У р. Стубелка значення індексу Бергера – Паркера було найнижчим серед трьох річок ($d=0,18$). Найчисельнішим видом тут був *R. rutilus*, але він становив лише 18,3% загальної чисельності риб. Разом це свідчить про найвищу еквітабельність, тобто найменше домінування та найкращу збалансованість угруповання за чисельністю.

Високі значення індексу Пієлу у всіх трьох річках свідчать про відносно сприятливі умови існування для більшості видів. Крім того, індекс Пієлу підтверджує, що найвищу стабільність та екосистемну збалансованість має іхтіофауна р. Замчисько ($J'=0,92$), а для р. Устя домінування знижує загальну еквітабельність ($J'=0,87$).

У цілому, найвищі значення індексу Шеннона ($H'=2,49$), та індексу рівномірності Пієлу ($J'=0,92$) зафіксовані в р. Замчисько, що вказує на найбільш збалансований та різноманітний видовий склад, без суттєвого домінування окремих таксонів. Це свідчить про стабільність водної екосистеми, різноманітність біотопів та наявність сприятливих умов для існування широкого спектра видів риб. У р. Стубелка також спостерігався високий рівень різноманіття ($H'=2,44$; $J'=0,90$), що вказує на структурну подібність до другої водойми, проте з дещо вищим домінуванням одного виду (плітки), що відображує значення індексу Бергера – Паркера ($d=0,18$). Річка Устя демонструє найнижчі показники індексу Шеннона ($H'=1,92$) та найвище значення індексу Бергера – Паркера ($d=0,29$), що вказує на значне домінування одного виду (краснопірки) та меншу екосистемну стійкість. Відносно високе значення індексу Пієлу ($J'=0,87$) зумовлене обмеженою кількістю виявлених видів і домінуванням кількох з них.

Висновки. Видовий склад риб у притоках середньої течії р. Горинь – р. Устя, р. Замчисько та р. Стубелка представлений 16 видами. Найбільш чисельними виявились популяції видів *Scardinius erythrophthalmus*, *Rutilus rutilus*, а дещо менш чисельними, але з помітною перевагою – *Carassius gibelio* та *Perca fluviatilis*.

Домінування планктофагів у видовому складі є ознакою високої продуктивності та стабільного трофічного режиму всіх трьох річок. Водночас, обмежена чисельність бентофагів, особливо в р. Устя, свідчить про погіршення стану донних біотопів. Частка хижих видів у р. Стубелка (21%) та р. Замчисько (19%), а особливо присутність чутливих до забруднення хижаків, таких як *E. lucius* та *S. glanis*

свідчить про сформовану трофічну ієрархію, достатню кормову базу та задовільний гідроекологічний режим.

Аналіз індексів біотичного різноманіття (Шеннона, Бергера – Паркера та Пієлу) підтверджує, що р. Замчисько та р. Стубелка характеризується вищою екологічною цінністю та стабільністю, тоді як іхтіофауна р. Устя характеризується зниженням різноманіття та деградації донних угруповань, що потребує подальшого дослідження та усунення причин погіршення умов розвитку рибних біоценозів.

1. Klymenko M. O., Biedunkova O. O., Statnyk I. I., et al. Influence of river water quality on homeostasis characteristics of Cypriniform and Perciform fish. *Biosystems Diversity*. 2018. Vol. 26, no. 1. URL: <https://doi.org/10.15421/011803>
2. Jiang X., Zheng P., Cao L., et al. Effects of long-term floodplain disconnection on multiple facets of lake fish biodiversity: Decline of alpha diversity leads to a regional differentiation through time. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 763. P. 144177. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144177>.
3. Trautwein C., Schinegger R., Schmutz S. Cumulative effects of land use on fish metrics in different types of running waters in Austria. *Aquatic Sciences*. 2011. Vol. 74, no. 2. P. 329–341. URL: <https://doi.org/10.1007/s00027-011-0224-5>.
4. Zhang Y., Zhao R., Kong W. Relationships between macroinvertebrate communities and land use types within different riparian widths in three headwater streams of Taizi River, China. *Journal of Freshwater Ecology*. 2013. Vol. 28, no. 3. P. 307–328. URL: <https://doi.org/10.1080/02705060.2013.779941>
5. Sedighkia M., Abdoli A. A fish biodiversity protection based approach for assessing environmental flow regime in rivers. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 449. P. 141834. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141834>
6. Miranda R., Bartrons M., Brucet S., et al. Colonization and Succession of Fish Assemblages in a New River Section: A Size Structure Approach. *Biol. Life Sci. Forum* 2022. Vol. 13. P. 42. URL: <https://doi.org/10.3390/blsf2022013042>.
7. Cooke S., Paukert C., Hogan Z. Endangered River fish: factors hindering conservation and restoration. *Endangered Species Research*. 2012. Vol. 17, no. 2. P. 179–191. URL: <https://doi.org/10.3354/esr00426>.
8. Arefin S., Kunda M., Islam M. J., et al. Status of fish and shellfish diversity and their decline factors in the Rupsa River of Khulna in Bangladesh. *Archives of Agriculture and Environmental Science*. 2018. Vol. 3, no. 3. P. 232–239. URL: <https://doi.org/10.26832/24566632.2018.030304>
9. Ferreira D. G., Souza-Shibatta L., Shibatta O. A., et al. Genetic structure and diversity of migratory freshwater fish in a fragmented Neotropical river system. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2016. Vol. 27, no. 1. P. 209–231. URL: <https://doi.org/10.1007/s11160-016-9441-2>
10. Erős T., Czeglédi I., Tóth R., et al. Multiple stressor effects on alpha, beta and zeta diversity of riverine fish.

Science of The Total Environment. 2020. Vol. 748. P. 141407. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141407>. **11.** Fox J. T., Magoulick D. D. Fish beta diversity associated with hydrologic and anthropogenic disturbance gradients in contrasting stream flow regimes. *Science of The Total Environment*. 2024. P. 173825. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173825>. **12.** Gu D., Zhang C., Li G., et al. Longitudinal reconfiguration of multifaceted fish α and β diversity triggered by non-native species invasion in tropic rivers of Hainan Island. *Journal of Environmental Management*. 2025. Vol. 380. P. 124902. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124902> **13.** Peluso L. M., Mateus L., Penha J., et al. Climate change may reduce suitable habitat for freshwater fish in a tropical watershed. *Climatic Change*. 2023. Vol. 176, no. 4. URL: <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03526-z>. **14.** Zhang D., Heng W., Chu L., et al. Taxonomic and functional diversity in a subtropical stream: A longitudinal pattern analysis. *Ecology of Freshwater Fish*. 2020. Vol. 29, no. 4. P. 752–763. URL: <https://doi.org/10.1111/eff.12551>. **15.** Cheng D., Zhao X., Song J., et al. Quantifying the Distribution and Diversity of Fish Species Along Elevational Gradients in the Weihe River Basin, Northwest China. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, no. 21. P. 6177. URL: <https://doi.org/10.3390/su11216177>. **16.** Гідроекологічний стан басейну Горині в районі Хмельницької АЕС / Хільчевський В. К., Ромась М. І., Чунар'єв О. В. та ін. ; за ред. В. К. Хільчевського. К. : Ніка-Центр, 2011. 176 с. **17.** Search FishBase. URL: <https://www.fishbase.us/> (дата звернення: 30.05.2025). **18.** Magurran A. E. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing : Oxford, UK, 2004. 256 p. **19.** IUCN Red List. IUCN Red List of Threatened Species. URL: <https://www.iucnredlist.org/> (дата звернення: 30.05.2025).

REFERENCES:

1. Klymenko M. O., Biedunkova O. O., Statnyk I. I., et al. Influence of river water quality on homeostasis characteristics of Cypriniform and Perciform fish. *Biosystems Diversity*. 2018. Vol. 26, no. 1. URL: <https://doi.org/10.15421/011803> **2.** Jiang X., Zheng P., Cao L., et al. Effects of long-term floodplain disconnection on multiple facets of lake fish biodiversity: Decline of alpha diversity leads to a regional differentiation through time. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 763. P. 144177. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144177>. **3.** Trautwein C., Schinegger R., Schmutz S. Cumulative effects of land use on fish metrics in different types of running waters in Austria. *Aquatic Sciences*. 2011. Vol. 74, no. 2. P. 329–341. URL: <https://doi.org/10.1007/s00027-011-0224-5>. **4.** Zhang Y., Zhao R., Kong W. Relationships between macroinvertebrate communities and land use types within different riparian widths in three headwater streams of Taizi River, China. *Journal of Freshwater Ecology*. 2013. Vol. 28, no. 3. P. 307–328. URL: <https://doi.org/10.1080/02705060.2013.779941>

5. Sedighkia M., Abdoli A. A fish biodiversity protection based approach for assessing environmental flow regime in rivers. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 449. P. 141834. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141834>
6. Miranda R., Bartrons M., Brucet S., et al. Colonization and Succession of Fish Assemblages in a New River Section: A Size Structure Approach. *Biol. Life Sci. Forum* 2022. Vol. 13. P. 42. URL: <https://doi.org/10.3390/blsf2022013042>.
7. Cooke S., Paukert C., Hogan Z. Endangered River fish: factors hindering conservation and restoration. *Endangered Species Research*. 2012. Vol. 17, no. 2. P. 179–191. URL: <https://doi.org/10.3354/esr00426>.
8. Arefin S., Kunda M., Islam M. J., et al. Status of fish and shellfish diversity and their decline factors in the Rupsa River of Khulna in Bangladesh. *Archives of Agriculture and Environmental Science*. 2018. Vol. 3, no. 3. P. 232–239. URL: <https://doi.org/10.26832/24566632.2018.030304>
9. Ferreira D. G., Souza-Shibatta L., Shibatta O. A., et al. Genetic structure and diversity of migratory freshwater fish in a fragmented Neotropical river system. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2016. Vol. 27, no. 1. P. 209–231. URL: <https://doi.org/10.1007/s11160-016-9441-2>.
10. Erős T., Czeglédi I., Tóth R., et al. Multiple stressor effects on alpha, beta and zeta diversity of riverine fish. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 748. P. 141407. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141407>.
11. Fox J. T., Magoulick D. D. Fish beta diversity associated with hydrologic and anthropogenic disturbance gradients in contrasting stream flow regimes. *Science of The Total Environment*. 2024. P. 173825. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173825>.
12. Gu D., Zhang C., Li G., et al. Longitudinal reconfiguration of multifaceted fish α and β diversity triggered by non-native species invasion in tropic rivers of Hainan Island. *Journal of Environmental Management*. 2025. Vol. 380. P. 124902. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124902>
13. Peluso L. M., Mateus L., Penha J., et al. Climate change may reduce suitable habitat for freshwater fish in a tropical watershed. *Climatic Change*. 2023. Vol. 176, no. 4. URL: <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03526-z>.
14. Zhang D., Heng W., Chu L., et al. Taxonomic and functional diversity in a subtropical stream: A longitudinal pattern analysis. *Ecology of Freshwater Fish*. 2020. Vol. 29, no. 4. P. 752–763. URL: <https://doi.org/10.1111/eff.12551>.
15. Cheng D., Zhao X., Song J., et al. Quantifying the Distribution and Diversity of Fish Species Along Elevational Gradients in the Weihe River Basin, Northwest China. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, no. 21. P. 6177. URL: <https://doi.org/10.3390/su11216177>.
16. Hidroekolohichniy stan baseinu Horyni v raioni Khmelnytskoi AES / Khilchevskiy V. K., Romas M. I., Chunarov O. V. ta in. ; za red. V. K. Khilchevskoho. K. : Nika-Tsentr, 2011. 176 s.
17. Search FishBase. URL: <https://www.fishbase.us/> (data zvernennia: 30.05.2025).
18. Magurran A. E. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing : Oxford, UK, 2004. 256 p.

19. IUCN Red List. IUCN Red List of Threatened Species. URL: <https://www.iucnredlist.org/> (data zvernennia: 30.05.2025).

Biedunkova O. O., Doctor of Biological Science, Professor, Statnyk I. I., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Levkivskiy R. V., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne); **Vechorka V. V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Mykhalko O. H., Ph.D., Associate Professor** (Sumy National Agrarian University, Sumy)

FISH BIODIVERSITY AS A REFLECTION OF ECOLOGICAL CONDITIONS IN TRIBUTORS OF THE MIDDLE COURSE OF THE HORYN RIVER

This study conducted a comprehensive analysis of fish biodiversity in three tributaries of the middle reaches of the Horyn River (Ustia, Zamchysko, Stubelka) to assess the ecological state of small river ecosystems. During 2022–2024, 16 fish species belonging to 9 families and 5 orders were detected during controlled fishing, with the most diverse group (11 species) being Cypriniformes. The Zamchysko River showed the greatest species richness (15 species), while the Ustia River had only 8 species. Biodiversity indices (Shannon, Berger – Parker, Pielou) revealed significant differences between the studied rivers. The Zamchysko River demonstrated the highest diversity indicators ($H'=2.49$), indicating a balanced ecosystem with diverse habitats. The Stubelka River showed similar levels of diversity ($H'=2.44$), but with a noticeable dominance of *Rutilus rutilus*. The lowest values in the Estuary ($H'=1.92$) and high Berger – Parker index ($d=0.29$) indicate the dominance of *Scardinius erythrophthalmus* and a simplified structure of the ichthyocenosis.

Analysis of fish life strategies revealed the predominance of coastal species (48% in Ustia) and pelagic taxa (33% in Stubelka). The trophic structure was characterised by a high proportion of planktivorous (49–56%) and omnivorous species (20%), which indicates mesoeutrophic conditions. The limited number of benthic animals, in particular in the Ustia River (17%), indicates the degradation of benthic biotopes. The presence of predators (7–22%) confirms the stability of trophic chains in the Zamchysko and Stubelka rivers.

The results emphasise significant anthropogenic impacts (urbanisation, land reclamation, agriculture) on fish communities. The decline in biodiversity in the Ustia River correlates with hydrological changes and pollution. These findings provide valuable data for developing strategies for the conservation and restoration of small river ecosystems in the Horyn River Basin.

***Keywords:* ichthyofauna; species richness; life strategies; trophic groups; aquatic ecosystem; small rivers.**

Веремєєнко С. І., д.с.-г.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, s.i.veremeienko@nuwm.edu.ua), **Ровна Г. Ф., с.н.с.** (Інститут сільського господарства Західного Полісся, с. Шубків, rivne_apv@ukr.net), **Швець М. М., аспірант** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, m.m.shvets@nuwm.edu.ua)

ДИНАМІКА ФОРМУВАННЯ ПЛОЩІ ЛИСТКОВОЇ ПОВЕРХНІ ПОСІВІВ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД ВАПНУВАННЯ І НОРМ ДОБРІВ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ

Однією з головних умов підвищення врожайності сільськогосподарських культур є збільшення продуктивності їх фотосинтезу, що насамперед досягається запровадженням інноваційних елементів технологій їх вирощування, які сприяють розвитку листового апарату та продовженню періоду його активного функціонування. За результатами проведених нами в умовах Західного Полісся на дерново-підзолистих зв'язнопіщаних ґрунтах встановлено, що застосування на фоні дії хімічних меліорантів мінеральних добрив сприяло активному наростанню площі листкової поверхні посіву кукурудзи на зерно. В середньому за 2023–2024 рр. найбільшу площу листків 45,4 тис. м² / га було сформовано у фазу цвітіння волоті за внесення N₂₀₀P₇₀K₁₅₀ на фоні CaMg(CO₃)₂ (1,0 Нг). Залежно від удобрення фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи у період 12 листків – цвітіння волоті порівняно з періодами сходи – 12 листків і цвітіння волоті – молочна стиглість зерна в розрізі варіантів був вищим відповідно на 13,6–50,6 та 16,6–26,6 відсотка.

Ключові слова: хімічна меліорація; норми добрив; дерново-підзолистий ґрунт; кукурудза; фотосинтетичний потенціал.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення продуктивності агрофітоценозів тісно пов'язане з покращенням використання фотосинтетично активної сонячної радіації шляхом

постійного селекційного вдосконалення сільськогосподарських культур та застосування новітніх технологій їх вирощування.

Встановлено кореляційний зв'язок між величиною врожаю і площею листової поверхні. У високопродуктивних агроценозах площа листової поверхні у 4–6 разів перевищує площу посіву. Шляхом оптимізації системи удобрення сільськогосподарських культур можна збільшити площу і продуктивність асиміляційної поверхні рослин [1; 2]. Прискорене нарощування площі листового апарату за рахунок чинників інтенсифікації ще на початку вегетації кукурудзи є ефективним способом покращення засвоєння фотосинтетично активної радіації [3; 4].

Новітні технології вирощування сільськогосподарських культур розглядають формування врожаю як фотосинтезуючої системи і тому обов'язково враховують біологічні особливості рослин і тип їх фотосинтезу [5; 6].

Кукурудза належить до культур з C_4 -типом фотосинтезу, тому порівняно з культурами з C_3 -типом значно ефективніше використовує сонячну радіацію та засвоює вуглекислий газ на синтез органічних сполук [7].

Установлено, що врожайність зерна гібридів кукурудзи є генетичною ознакою і залежить не тільки від загальної площі листків, а й від розташування їх у просторі [8]. Проте, не зважаючи на вирішальний вплив спадкових властивостей, завдяки оптимізації мінерального живлення та використання сучасних технологій вирощування кукурудзи можна істотно впливати як на величину врожаю, так і на якість зерна [9–12].

Методика досліджень. Дослідження проводилися у стаціонарному польовому досліді на землях Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН, який розташований у с. Шубків Рівненського району Рівненської області. Посівна площа дослідних ділянок – 99 м², облікова – 50 м², повторність дослідів – триразова. Ґрунт дослідної ділянки – дерново-підзолистий зв'язнопіщаний з такими агрохімічними показниками шару 0–20 см: вміст гумусу за Тюрнімом – 0,77%, вміст рухомих форм фосфору і калію за Кірсановим – відповідно 195,3 і 63,7 мг/кг ґрунту, рН_{KCl} – 4,16. Мінеральні добрива вносили у нормах, передбачених схемою дослідів у таких формах: аміачна селітра, амофос, калій хлористий. Фосфорні і калійні добрива вносили восени під оранку, азотні – весною до посіву. У фази 4–6 та 8–

10 листків проводили позакореневі підживлення мікродобривом Нутривант Плюс універсальний в дозі 2 кг/га.

Хімічні меліоранти вносили перед початком ротації сівозміни у формі доломітового борошна та вапна у дозах, встановлених за показником гідролітичної кислотності.

Попередник кукурудзи на зерно – соняшник. Технологія вирощування – загальноприйнята для зони Західного Полісся.

Площу листків визначали у двох несуміжних повтореннях у всіх варіантах дослідів лінійним методом за формулою:

$$S = k \times l \times n,$$

де S – площа листка, см^2 ; k – поправковий коефіцієнт, який дорівнює 0,75; l – довжина листка, см ; n – ширина листка у найширшому місці, см .

Фотосинтетичний потенціал посівів визначали відповідно формулі А. А. Ничипоровича (1961) за сумою площі листків та тривалістю її функціонування за певний період часу.

Результати досліджень та обговорення. Сприятливий вплив хімічних меліорантів і мінеральних добрив на збільшення площі асиміляції рослин кукурудзи уже спостерігався у фазу 12 листків. На фоні застосування доломітового борошна без мінеральних добрив площа листової поверхні в середньому за 2023–2024 роки становила 17,7 тис. $\text{м}^2/\text{га}$, а на контролі – 17,0 тис. $\text{м}^2/\text{га}$ (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка наростання площі листової поверхні посівів кукурудзи залежно від удобрення і вапнування, тис. $\text{м}^2 / \text{га}$

Варіант	Фенологічна фаза	2023 р.	2024 р.	Середнє за 2023–2024 рр.
Без добрив (контроль)	12 листків	16,2	17,8	17,0
	цвітіння волоті	21,1	25,3	23,2
	молочна стиглість	20,9	23,2	22,1
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (1,0 Н _г) – фон	12 листків	17,0	18,3	17,7
	цвітіння волоті	24,2	26,7	25,5
	молочна стиглість	23,8	24,9	24,4
Фон + $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$	12 листків	23,4	24,6	24,0
	цвітіння волоті	42,4	43,9	43,2
	молочна стиглість	40,5	42,3	41,4

продовження табл. 1

Фон + N ₁₆₅ P ₃₀ K ₅₀	12 листків	23,7	25,9	24,8
	цвітіння волоті	43,1	44,7	43,9
	молочна стиглість	41,3	43,1	42,2
Фон + N ₂₀₀ P ₇₀ K ₁₅₀	12 листків	24,1	26,7	25,4
	цвітіння волоті	44,5	46,2	45,4
	молочна стиглість	42,9	44,9	43,9
Фон + N ₁₆₅	12 листків	22,6	23,3	23,0
	цвітіння волоті	34,3	35,7	35,0
	молочна стиглість	32,1	33,9	33,0
CaMg(CO ₃) ₂ (1,5 Н _г) + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	12 листків	23,9	26,4	25,2
	цвітіння волоті	43,9	45,0	44,5
	молочна стиглість	42,7	44,5	43,6
CaCO ₃ (1,0 Н _г) + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	12 листків	23,1	24,4	23,8
	цвітіння волоті	42,0	43,3	42,7
	молочна стиглість	40,8	42,0	41,4

Мінеральні добрива у рекомендованій та встановлених нормативним методом за виносом основної та основної і побічної продукції дозах, які відповідно становили N₁₂₀P₉₀K₁₂₀, N₁₆₅P₃₀K₅₀ і N₂₀₀P₇₀K₁₅₀ забезпечили збільшення площі листків порівняно з провапнованим фоном відповідно на 35,6–69,7; 40,1–73,0; 43,5–79,9 відсотків. Порівняно з іншими фазами найбільша площа асимілятивної поверхні посівів кукурудзи була сформована у період цвітіння волоті. Проте спостерігалася істотна диференціація цього показника залежно від удобрення. Найбільша площа листків – 25,4–45,4 тис. м²/га, що відповідно на 8,4–21,8; 7,7–19,9 тис. м²/га більше порівняно з контролем і фоном CaMg(CO₃)₂, була сформована за внесення мінеральних добрив у нормі N₂₀₀P₇₀K₁₅₀, розрахованій за нормативами виносу елементів живлення основною і побічною продукцією кукурудзи.

Важливим показником пов'язаним із формуванням продуктивності посівів і оцінкою фотосинтетичної ефективності рослин вважається фотосинтетичний потенціал. Дослідження засвідчили, що фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи істотно залежав від їх удобрення, хімічних меліорантів та фаз розвитку (табл. 2).

Таблиця 2

Фотосинтетичний потенціал рослин кукурудзи залежно від
удобрення і застосування меліорантів, тис. м² доб. / га

Варіант	Періоди розвитку рослин	2023 р.	2024 р.	Середнє за 2023–2024 рр.
Без добрив (контроль)	сходи – 12 листків	680	712	696
	12 листків – цвітіння волоті	696	886	791
	цвітіння волоті – молочна стиглість	627	534	581
CaMg(CO ₃) ₂ (1,0 Н _г) – фон	сходи – 12 листків	748	732	740
	12 листків – цвітіння волоті	847	935	891
	цвітіння волоті – молочна стиглість	738	573	656
Фон + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	сходи – 12 листків	1053	1009	1031
	12 листків – цвітіння волоті	1526	1580	1553
	цвітіння волоті – молочна стиглість	1296	1184	1240
Фон + N ₁₆₅ P ₃₀ K ₅₀	сходи – 12 листків	1090	1088	1089
	12 листків – цвітіння волоті	1552	1654	1603
	цвітіння волоті – молочна стиглість	1363	1293	1328
Фон + N ₂₀₀ P ₇₀ K ₁₅₀	сходи – 12 листків	1109	1121	1115
	12 листків – цвітіння волоті	1602	1709	1656
	цвітіння волоті – молочна стиглість	1416	1347	1382
Фон + N ₁₆₅	сходи – 12 листків	1040	979	1010
	12 листків – цвітіння волоті	1235	1321	1278
	цвітіння волоті – молочна стиглість	1059	1017	1038
CaMg(CO ₃) ₂ (1,5 Н _г) + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	сходи – 12 листків	1076	1082	1079
	12 листків – цвітіння волоті	1580	1622	1601
	цвітіння волоті – молочна стиглість	1366	1272	1319

продовження табл. 2

CaCO ₃ (1,0 Нг) + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	сходи – 12 листків	1040	1001	1021
	12 листків – цвітіння волоті	1512	1559	1536
	цвітіння волоті – молочна стиглість	1306	1176	1241

Закономірно, що на всіх варіантах найнижчі значення показника відзначались у період сходи – 12 листків, що пов'язано з початковим періодом формування асиміляційної поверхні рослин. Проте і у цей період вже відзначалась значна його диференціація залежно від удобрення і вапнування. Якщо в середньому за роки досліджень на контролі фотосинтетичний потенціал у цей період становив 696 тис. м² доб. / га, то на фоні CaMg(CO₃)₂ (1,0 Нг) він зростав на 6,3 відсотка, а за внесення на фоні вапнування N₂₀₀P₇₀K₁₅₀ – на 60,2 відсотка.

У період 12 листків – цвітіння волоті фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи порівняно з попереднім у розрізі варіантів досліду зростав на 13,6–50,6 відсотка. Найбільше збільшення показника відзначалося у варіантах з внесенням на фоні хімічної меліорації ґрунту повного мінерального удобрення, а найменше – у варіантах без добрив та за внесення на фоні доломітового борошна тільки N₁₆₅.

У період цвітіння волоті – молочна стиглість зерна фотосинтетичний потенціал посівів у порівнянні з відрізком вегетації 12 листків – цвітіння волоті був нижчим на 16,6–26,6 відсотка, що насамперед пов'язане відмиранням нижніх листків і старінням асиміляційної поверхні рослин, особливо на варіантах без застосування добрив.

Висновки. Застосування на фоні вапнування ґрунту різних доз мінеральних добрив сприяло активному наростанню площі листової поверхні посіву кукурудзи на зерно. Найбільшу площу листків – 45,4 тис. м² / га, було сформовано у фазу цвітіння волоті за внесення N₂₀₀P₇₀K₁₅₀ на фоні CaMg(CO₃)₂ (1,0 Нг). Фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи у період 12 листків – цвітіння волоті порівняно з періодами сходи – 12 листків і цвітіння волоті – молочна стиглість зерна в розрізі варіантів був вищим відповідно на 13,6–50,6 та 16,6–26,6 відсотка.

1. Асанішвілі Н. М., Сербенюк Г. А., Бондарчук А. А. Фотосинтетична діяльність і продуктивність агрофітоценозів кукурудзи залежно від

елементів технології вирощування у Північному Лісостепу. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2012. Вип. 3/4. С. 75–81.

2. Говенько Р. В., Каленська С. М., Антал Т. В. Застосування різних видів рідких азотних добрив на посівах кукурудзи в умовах ФГ «Богатирівське» на темно-сірих опідзолених ґрунтах. *Органічне агровиробництво: освіта і наука* : зб. тез II Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Київ, 2019. С. 9–10.

3. Мазур В. А., Шевченко М. В. Формування площі листкової поверхні рослин гібридів кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. *Біоресурси і природокористування*. Київ, 2018. Т. 10. № 1/2. С. 108–114.

4. Циков В. С. Кукуруза: технология, гибриды, семена. Днепропетровск : Зоря, 2003. 296 с.

5. Заїка С. П. Скоростигла кукурудза (селекція, особливості насінництва та інтенсивної технології). К. : Урожай, 1987. 200 с.

6. Наукові основи ведення зернового господарства / Сайко В. Ф. та ін. К. : Урожай, 1994. 336 с.

7. Шпаар Д. Кукурудза: вирощування, зберігання та використання. К. : Альфа-Стевія, 2009. 390 с.

8. Johnson G. Relationships between yield and several yield components in a set of maize hybrids. *Crop Sci.* 1973. Vol. 13. P. 649–651. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060019x>.

9. Berzsényi Z. A N-műtrágyázás és az évjárat hatása a kukorica hibridek (*Zea mays* L.) szemtermésére és a N-műtrágya reakciójára tartamkísérletben az 1970–1991. években. *Növénytermelés.* 1993. Vol. 42 (1). P. 49–63. <https://doi.org/10.1556/novenyterm.60.2011.4.3>.

10. Johnson M., Williams R., Ayers J. Pennsylvania corn performance studies. *The Pennsylvania State University College of Agriculture, Agricultural Experiment Station University Park.* Pennsylvania, 1984. Vol. 1–43.

11. Ariningsih E., Rachman B., Sudaryanto T., Ariani M., Septanti K. S., Adawiyah C. R. Strategies for sustainable corn production: a case of South Lampung District, Lampung Province, Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2021. Vol. 892. P. 012075. DOI 10.1088/1755-1315/892/1/012075.

12. Янош Надь. Кукурудза. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2012. 580 с.

REFERENCES:

1. Asanishvili N. M., Serbeniuk H. A., Bondarchuk A. A. Fotosyntetychna diialnist i produktyvnist ahrofitotsenoziv kukurudzy zalezno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia u Pivnichnomu Lisostepu. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs «Instytut zemlerobstva NAAN»*. 2012. Vyp. 3/4. S. 75–81.

2. Hovenko R. V., Kalenska S. M., Antal T. V. Zastosuvannia riznykh vydiv ridkykh azotnykh dobryv na posivakh kukurudzy v umovakh FH «Bohatyryvske» na temno-sirykh opidzolenykh gruntakh. *Orhanichne ahrovyrobnytstvo: osvita i nauka* : zb. tez II Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii, m. Kyiv, 2019. S. 9–10.

3. Mazur V. A., Shevchenko M. V. Formuvannia ploschi lystkovoї poverkhni

28

roslyn hibrydiv kukurudzy zalezho vid tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannia. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*. Kyiv, 2018. T. 10. № 1/2. S. 108–114. **4.** Tsykov V. S. Kukuruz: tekhnolohyia, hybrydy, semena. Dnepropetrovsk : Zoria, 2003. 296 s. **5.** Zaika S. P. Skorostyhla kukurudza (selektsiia, osoblyvosti nasinnytstva ta intensyvnoi tekhnolohii). K. : Urozhai, 1987. 200 s. **6.** Naukovi osnovy vedennia zernovoho hospodarstva / Saiko V. F. ta in. K. : Urozhai, 1994. 336 s. **7.** Shpaar D. Kukurudza: vyroshchuvannia, zberihannia ta vykorystannia. K. : Alfa-Stevii, 2009. 390 s. **8.** Johnson G. Relationships between yield and several yield components in a set of maize hybrids. *Crop Sci.* 1973. Vol. 13. P. 649–651. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060019x>. **9.** Berzsényi Z. A N-műtrágyázás és az évjárat hatása a kukorica hibridek (*Zea mays* L.) szemtermésére és a N-műtrágya reakciójára tartamkísérletben az 1970–1991. években. *Növénytermelés.* 1993. Vol. 42 (1). P. 49–63. <https://doi.org/10.1556/novenyterm.60.2011.4.3>. **10.** Johnson M., Williams R., Ayers J. Pennsylvania corn performance studies. *The Pennsylvania State University College of Agriculture, Agricultural Experiment Station University Park.* Pennsylvania, 1984. Vol. 1–43. **11.** Ariningsih E., Rachman B., Sudaryanto T., Ariani M., Septanti K. S., Adawiyah C. R. Strategies for sustainable corn production: a case of South Lampung District, Lampung Province, Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2021. Vol. 892. P. 012075. DOI 10.1088/1755-1315/892/1/012075. **12.** Yanosh Nad. Kukurudza. Vinnytsia : FOP Korzun D. Iu., 2012. 580 s.

Veremeienko S. I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Rovna H. F., Senior Research Fellow** (Institute of Agriculture of Western Polissia of NAAS, Shubkiv), **Shvets M. M., Post-graduate Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

DYNAMICS OF LEAF AREA FORMATION IN MAIZE CROPS DEPENDING ON LIMING AND FERTILIZER RATES IN THE CONDITIONS OF WESTERN POLISSIA

Improving maize productivity is closely related to enhancing the efficiency of photosynthesis. One of the key factors in this process is the development and active functioning of the plant's leaf area. This study investigated how chemical soil amendments and different fertilizer rates affect the growth of leaf surface area and the photosynthetic

potential of maize under the conditions of Western Polissia, Ukraine. The research was carried out in 2023–2024 on sod-podzolic sandy loam soils.

The experiment included several treatments: an unfertilized control, liming with dolomitic or calcitic limestone at different doses, and mineral fertilizers applied at rates based on nutrient removal or general recommendations. Liming alone (with $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ at 1.0 Hh) slightly increased the leaf area at the 12-leaf stage (17.7 vs. 17.0 thousand m^2/ha) compared to the control. However, applying mineral fertilizers after liming had a much greater effect. The largest leaf area – 45.4 thousand m^2/ha – was recorded at the tasseling stage with a fertilizer rate of N200P70K150, calculated based on nutrient removal by both grain and by-products. This treatment increased leaf area by 21.8 thousand m^2/ha compared to the control.

The photosynthetic potential (PP) of maize was significantly influenced by fertilization, liming, and growth stage. The highest PP values were found during the 12-leaf to tasseling phase, ranging from 791 to 1656 thousand $\text{m}^2\cdot\text{day}/\text{ha}$. These values were 13.6–50.6% higher than those in the earlier phase (emergence to 12 leaves). During the tasseling to milk ripeness period, PP decreased by 16.6–26.6% due to the aging and death of lower leaves. The best results for both leaf area and photosynthetic potential were achieved with full mineral fertilization applied on limed soil.

***Keywords:* chemical amelioration; fertilizer rates; sod-podzolic soil; maize; photosynthetic potential.**

Герасимчук Г. В., аспірантка (Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, gal.herasumchyk@nltu.lviv.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7036-9653>)

САНІТАРНИЙ СТАН ДУБОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ КІВЕРЦІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ЦУМАНСЬКА ПУЩА»

Оцінено санітарний стан дубових лісостанів, з'ясовано його особливості залежно від лісівничо-таксаційних показників та визначено першопричини їх ослаблення та втрати біотичної стійкості. З'ясовано, що сучасні екологічні виклики, зокрема такі як глобальні зміни клімату, антропогенний тиск, напади шкідників та поширення збудників інфекційних хвороб, є факторами вразливості лісів, що призводять до порушення стратегій їхнього збереження і відновлення. Розраховано та проаналізовано середні значення показника санітарного стану за 2022 р. на підставі детального лісопатологічного обстеження 14 лісівничих постійних пробних площ, а також ідентифіковано видовий склад патологій інфекційного характеру у деревостанах Ківерцівського НПП «Цуманська пуща» (надалі – Парку). Встановлено, що за санітарним станом дубові деревостани Парку є ослабленими, а за ступенем деградації фотосинтетичного апарату – слабо пошкодженими. Зафіксовано наявність сухостійних стовбурів дуба звичайного V–VI категорій санітарного стану, осередки бактеріозу, мікозних хвороб і стовбурових шкідників. Збудниками хвороб уражено від 4 до 14% дерев дуба. З хвороб переважають опеньок осінній, несправжній дубовий трутовик, печіночниця звичайна, усихання гілок і пагонів дуба, якими уражено до 14% стовбурів дерев. Потрібно й надалі проводити моніторинг санітарного стану дубових насаджень Парку з метою проєктування більш чітких заходів боротьби на майбутнє. Відзначено, що врахування санітарного стану стає ключовим чинником під час розроблення наукових та практичних рішень для забезпечення стійкості та збереження корінних природних лісів Парку.

Ключові слова: збудники хвороб; стовбурові шкідники; деревна порода; індекс санітарного стану; дефоліація; пошкодження деревостану.

Постановка проблеми. Збереження біорізноманіття Землі є однією з найважливіших проблем сучасності. Зберегти генофонд і ценофонд лісів можливо лише у заповідних екосистемах. Україна є активним співучасником розбудови екомережі, на що має відповідну законодавчу базу, до складових структурних елементів якої залучають території та об'єкти природно-заповідного фонду [9, С. 8]. Природно-заповідний фонд України охороняється як її національне надбання, щодо якого встановлено особливий режим охорони, відтворення і використання. Приналежність до його складу природного об'єкта дає змогу певним чином регулювати антропогенний вплив на нього та сприяє охороні біорізноманітності ландшафтів [3, С. 4]. Встановлення сучасного стану насаджень в об'єктах природно-заповідного фонду, їхніх функціональних особливостей дає змогу розробляти ефективні заходи подальшої охорони та відкриває нові перспективи для розвитку. Одним з таких об'єктів в умовах Західно Полісся України є Ківерцівський національний природний парк «Цуманська пуща» (НПП, Парк). Основним завданням Парку є збереження та відтворення унікальних сосново-дубових деревостанів, що складають генетичний фонд живої природи Волинського Полісся, включаючи підтримання та забезпечення екологічної природної рівноваги в регіоні.

Ріст і розвиток деревостанів значною мірою залежить від природних та антропогенних чинників. Одним з нових, загрозливих для стабільного існування лісових екосистем чинників є глобальне потепління клімату планети. Внаслідок посиленого антропогенного впливу на довкілля в умовах зміни погодних умов відбуваються значні зміни основних компонентів лісів [14, С. 35]. Тому проблема оцінки загального стану лісових насаджень та підтримання їх життєвості є особливо актуальною.

Лісові екосистеми Парку представлені переважно широколистяними лісами. Рослинні угруповання з домінуванням дуба звичайного (*Quercus robur* L.), зокрема унікальні високопродуктивні сосново-дубові та грабово-дубові деревостани у Волинському Поліссі сьогодні збереглися на окремих ділянках Парку і потребують охорони

та відновлення. Деревостани за участю дуба звичайного представлені такими типами лісу, як вологий грабово-дубовососновий сугруд, свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд, волога грабова судіброва та свіжа грабова діброва [2, С. 13]. Вивчення санітарного стану дубових деревостанів парку є передумовою розроблення ефективних заходів подальшої їх охорони, збереження, раціонального використання і відтворення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Деградація дубових насаджень, погіршення їх стану та навіть всихання в межах всього ареалу дуба звичайного є складною комплексною проблемою, яка потребує постійного контролю та вивчення. Прослідковується цілий ряд причин виникнення та розвитку таких негативних процесів у дубових лісах. Дослідниками розроблені критерії оцінки деградуючих (всихаючих) насаджень дуба звичайного, проаналізовано причини всихання та фактори, які це можуть обумовлювати [8, С. 63; 10, С. 292; 15, С. 81]. До таких факторів належать: природні аномалії (суворі зими, посухи, зростання температури повітря, рівень опадів тощо); зміни у гідрологічному режимі ґрунтів; погіршення ґрунтових умов та ін.; виникнення масових осередків шкідливих комах; розвиток грибних, вірусних і бактеріальних хвороб деревних рослин; забруднення атмосфери викидами шкідливих речовин та інші антропогенні чинники [10, С. 292].

Дані щодо всихання дубових лісів Полісся у різні роки приводилися та узагальнювалися В. Л. Мешковою та І. М. Усцьким. Головними причинами всихання дубових лісів автори вважають несприятливі погодні умови, зміну гідрологічного режиму місцезростань, грибні хвороби [4, С. 79; 7, С. 65].

Дослідниками відмічений зв'язок між продуктивністю та біологічною стійкістю насаджень. Прийнято вважати, що найбільш продуктивними будуть здорові, біологічно стійкі деревостани, хоча в деяких випадках це не так. Водночас, у складному біогеоценозі, яким і є ліс, як його складові частини існують мікроорганізми, гриби, бактерії, шкідники, що можуть суттєво впливати на патологічні процеси у деревостанах. Поряд з тим, інфекційні хвороби (наприклад, поперечний рак дуба) та шкідливі комахи значною мірою самі можуть понизити біологічну стійкість та продуктивність дубових насаджень. Поширення бактеріальних хвороб та шкодочинний вплив комах на дубові деревостани, які відбувалися періодично, у багатьох випадках

призводило до всихання лісів, що локально носили масовий характер. У такій ситуації очевидним є потреба у вирішенні питання збереження та відтворення дубових деревостанів, підвищення їх продуктивності і стійкості [8, С. 65; 10, С. 291].

Науковцями в останні роки виявлено зростання площ осередків поперечного раку дуба, яке спостерігається у лісах Західного Полісся та зменшення осередків хвороби у дубових насадженнях Центрального Полісся. Фрагментарно, у лісах Західного Полісся, зустрічаються осередки трутовиків дуба звичайного, у дубових лісах Правобережного Полісся зустрічаються осередки трахеомікозу (судинного мікозу). Епізодично виявляються осередки борошнистої роси [4, С. 83].

Процеси деградації лісових насаджень дуба звичайного на Поліссі, зокрема і всихання, як відзначають окремі автори, відбуваються в результаті дії комплексу еколого-кліматичних факторів. Головними причинами всихання називають несприятливі погодні умови, коливання у гідрологічному режимі територій та хвороби дуба, викликані їх збудниками – грибами та бактеріями [7, С. 65].

Процеси деградації, серед яких і всихання, у дубових деревостанах різних країнах Європи та України є важливою проблемою, вирішення якої потребує всебічного комплексного підходу. Причини всихання дубових деревостанів в Україні та Європі досліджені фрагментарно, за рідким виключенням, без застосування комплексного підходу з огляду на важливість збереження біорізноманіття, стійкості та підвищення продуктивності насаджень. Для більшості публікацій із цієї проблеми характерним є досить односторонній підхід, водночас комплексний підхід до вивчення причинно-наслідкових зв'язків при пошкодженні дубових деревостанів був використаний у невеликій кількості публікацій.

Вирощування та збереження продуктивних і стійких насаджень дуба звичайного потребує безумовного контролю над їх санітарним станом та своєчасного якісного реагування на ті чи інші загрози. Локалізація патологічних процесів у дубових лісостанах та недопущення їх розвитку, можлива лише при своєчасному плануванні і проведенні санітарно-оздоровчих заходів відповідно до лісопатологічного стану насаджень, яке неможливе без поглибленого вивчення шкодочинного впливу осередків шкідників та хвороб лісу на

цілісні екологічні системи. Такі підходи дадуть змогу прогнозувати і попереджати можливі пошкодження насаджень та сприяти формуванню високопродуктивних деревостанів як основи збереження лісових ресурсів.

Постанова Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України щодо здійснення рубок в лісах України» № 1239 від 25 жовтня 2024 р. передбачає проведення рубок формування та оздоровлення лісів для запобігання розповсюдженню шкідників і покращення санітарного стану насаджень, які проводяться з урахуванням вимог, визначених Законом України «Про природно-заповідний фонд України» [3, С. 7]. Рекомендується видаляти ослаблені дерева та проводити санітарні рубки в молодняках і середньовікових соснових деревостанах для зменшення ризиків поширення хвороб і шкідників. Останні дослідження підтверджують, що фітосанітарний стан дубових насаджень в Україні погіршується через зміни клімату, поширення шкідників та антропогенні фактори, включаючи наслідки війни. Для збереження лісів необхідно впроваджувати комплексні заходи моніторингу, адаптації та оздоровлення насаджень, а також сучасні методи селекції, генетичної інженерії, своєчасні санітарні рубки та адаптацію лісового господарства до змін клімату [1, С. 29; 4, С. 84].

Мета і завдання дослідження – оцінити санітарний стан дубових деревостанів та з'ясувати причини зниження життєвості лісонасаджень на території Ківерцівського НПП «Цуманська пуща» (Луцький район, Волинська обл.).

Об'єктом дослідження були вибрані лісостани з участю дуба звичайного, що ростуть у різних типах лісу на території Парку. Вивчення лісівничо-таксаційних показників проводили шляхом закладання лісівничих постійних пробних площ (ЛППП, ПП) [12, С. 33]. Оцінку санітарного стану деревостанів здійснювали шляхом їх детального обстеження на лісівничих постійних і тимчасових пробних площах, закладених у 60–185-річних дубових насадженнях. Під час обстеження деревостанів здійснювали суцільний переоблік дерев та оцінювали категорію стану всіх дерев на пробних площах [8, С. 65]. Поділ на категорії санітарного стану дерев встановлювали відповідно до Санітарних правил в лісах України [11, С. 10] за шістьма категоріями – здорові, ослаблені, дуже ослаблені, відмираючі, свіжий і старий сухостій. Оцінювання впливу шкідливих організмів на стан насаджень

та заселеність дерев збудниками хвороб та ентомошкідниками здійснювали за методикою В. Л. Мешкової та ін. [6, С. 42]. Середній зважений індекс санітарного стану насадження обраховували за формулою:

$$I_c = \frac{K_1 \cdot n_1 + K_2 \cdot n_2 + \dots + K_6 \cdot n_6}{N},$$

де I_c – індекс стану деревостану; $K_1 \dots K_6$ – категорії стану дерев; $n_1 \dots n_6$ – кількість дерев у кожній категорії стану; N – загальна кількість дерев на пробній площі.

Санітарний стан деревостанів встановлювали за такими величинами індексу санітарного стану: 1,0–1,50 – здорові; 1,51–2,50 – послаблені; 2,51–3,50 – дуже послаблені; 3,51–4,50 – всихаючі; 4,51–6,00 – сухостійні. Для оцінки дефоліації використано атлас втрати асиміляційного апарату лісових дерев [13, С. 23]. За дефоліацією дерев на пробних площах визначали середню величину ознаки для деревної породи та деревостану загалом, і встановлювали ступінь ушкодження за шкалою: без ушкоджень (0) – дефоліація $\leq 10\%$; слабоушкоджені (1) – дефоліація 11–25%, середньоушкоджені (3) – 26–60%; сильноушкоджені (3) – 61–100%.

Статистичне опрацювання, графічне моделювання залежностей виконували з використанням комп'ютерних програм MS Excel 2003 і Statistica 5.0.

Виклад основного матеріалу дослідження. У фітоценозах Ківерцівського НПП «Цуманська пуща» за відсутності антропогенного впливу відбуваються природні закономірні процеси формування деревостанів, які обумовленні виключно внутрішньовидовими та міжвидовими конкурентними взаємовідносинами рослин. Результати проведених досліджень показали, що дубові деревостани, які ростуть в лісових екосистемах Парку характеризуються різним санітарним станом залежно від типу лісу, складу, віку та повноти деревостану (табл. 1). Середньозважений показник санітарного стану на пробних площах, який не перевищує 2.5 од., ($I_c = 2,49$) дає змогу характеризувати ступінь пошкодження дубових деревостанів на більшості пробних площ як слабкий, а узагальнений санітарний стан – ослаблений. Індекс санітарного стану дуба коливається в межах 1,59–2,54 од.

Однак, процеси всихання дуба звичайного сильніше проявляються у деревостанах старшого віку. Так, у старовікових дубняках віком 165 років і старше (ПП-1, 2, 10,11), індекс стану дуба звичайного у першому ярусі становить 1,72–2,54 од. Кількість здорових дерев дуба є найнижчою у 180–185-річних перестійних деревостанах (ПП-2, 10,11), де змінюється від 1 до 13%. У стиглому мішаному деревостані (ПП-12) та середньовіковому 60-річному деревостані (ПП-4) частка здорових дерев дуба зростає до 42%.

Найбільш інтенсивне ослаблення стиглих дубових деревостанів спостерігається в Сокиричівському лісництві (ПП-5, 8). У деревостанах лісництва наявна велика кількість ослаблених дерев дуба (63 та 50%), а індекс санітарного стану дуба у деревостанах складає 2.09 та 2.30 од. Всихання стовбурів дерев дуба має поодинокий характер. Сосна звичайна, яка росте у домішці з дубом, характеризується за санітарним станом як здорова. Показник санітарного стану сосни не перевищує 1,49 од.

У деревостані дуба віком 60 років (ПП- 4) індекс стану дуба становить 1,62 од., а сухостійні дерева відсутні. Ступінь пошкодження деревостану – слабкий. Зі зростанням віку деревостанів їх стан погіршується. Так, у віці 115 років (ПП – 5) індекс стану зростає до 2.09 од., в деревостані наявні сухостійні та всихаючі стовбури дерев дуба. На деревах IV, V і VI категорії стану виявлено збудник поперечного раку, ураження несправжнім дубовим трутовиком та наслідки життєдіяльності стовбурових шкідників (див. табл. 2).

Мішані та складні за формою деревостани, які мають два і більше ярусів, характеризуються кращим санітарним станом порівняно з чистими [5]. Відтак дерева дуба подібних вікових категорій з перевагою у першому ярусі мають приблизно однаковий санітарний стан, але інші деревні породи (як першого, так і другого ярусу) характеризуються кращою життєвістю. Індекс стану сосни у домішці деревостанів складає 1.1–1.49, граба звичайного – 1.19–2.48, клена гостролистого – 1.14–1.50, ялини – 1.56–1.75, берези повислої – 1.25–2.00 од., вільхи чорної – 1.31–2.28. Найкращий стан мають липа та ясен звичайний, які ростуть у домішці з дубом.

Дерева дуба характеризуються найвищою дефоліацією крон (30–59%). За ступенем втрати фотосинтетичного апарату дубові деревостани доцільно вважати середньоушкодженими, а інші деревні породи, що формують мішані деревостани у НПП, є слабо ушкоджені.

Таблиця 1

Характеристика санітарного стану деревостанів на пробних площах (2022 р.)

№ ЛППП	Квартал/ виділ	Площа, га	Індекс типу лісу	Вік, Років	Повн-ота	Порода	Розподіл дерев за категоріями стану, %						Індекс стану, од.	Дефолі-ція, %
							I	II	III	IV	V	VI		
Горинське лісництво														
1	23/22	1,0	С ₂ ГДС	165	0,72	10Дз	32	60	5	1	1	1	1,72	37,7
						+Гз	44	44	12	0	0	0	1,68	18,3
Партизанське лісництво														
2	26/3	1,0	Д ₂₋₃ ГД	180	0,75	10Дз	3	50	41	4	0	2	2,54	45,1
3	34/17	0,2	С ₃ ГДС	155	0,71	4Дз	24	41	29	6	0	0	2,17	42,5
						4Сз	63	25	12	0	0	0	1,49	29,8
						1Бп	12	75	13	0	0	0	2,00	40,0
						1Ялє	50	25	25	0	0	0	1,75	37,7
Другий ярус						3Дз	16	22	39	16	0	7	2,47	42,2
						3Ялє	61	22	17	0	0	0	1,56	27,7
						4Гз	81	19	0	0	0	0	1,19	25,0
Муравищенське лісництво														
4	56/14	0,70	С ₃ ГДС	60	0,73	3Дз	42	49	9	0	0	0	1,62	30,8
						4Влч	85	9	6	0	0	0	1,21	20,1
						2Гз	63	32	5	0	0	0	1,42	19,1
						1Бп	69	23	0	0	0	8	1,63	27,7
Сокиричівське лісництво														
5	136/22	1,0	С ₃ ГД	115	0,66	9Дз	17	63	17	1	1	1	2,09	30,6
						1Влч	77	15	8	0	0	0	1,31	16,5

продовження табл. 1

Цуманське лісництво																				
7	10/36	1,0	С ₃ ГДС	145	0,62	8Дз	40	51	7	1	0	1	1,73	38,2						
						1Сз	90	10	0	0	0	0	1,10	17,5						
						10с	86	0	0	0	0	14	1,70	34,3						
						+Бп	75	25	0	0	0	0	1,25	17,5						
Сокиричівське лісництво																				
8	136/46	1,0	С ₃ ГД	125	0,61	5Дз	10	50	36	4	0	0	2,30	36,01						
						2Гз	35	54	11	0	0	0	1,77	24,03						
						3Влч	17	50	22	9	2	0	2,28	28,02						
Партизанське лісництво																				
9	23/3	0,5	С ₃ ГД	155	0,45	3Дз	30	50	15	0	0	5	2,05	36,75						
						2Влч	91	0	0	0	0	9	1,45	26,36						
						5Гз	26	30	41	0	0	3	1,70	18,70						
						Другий ярус						7Гз	62	35	3	0	0	0	1,42	20,67
												2Клг	86	14	0	0	0	0	1,14	17,86
						1Лпд	100	0	0	0	0	0	0	1,00	18,57					
Горинське лісництво																				
10	1/7	0,5	С ₃ ГД	185	0,63	2Дз	12	44	33	11	0	0	2,44	27,22						
						8Гз	17	47	31	5	0	0	2,24	19,64						
						+Влч	50	50	0	0	0	0	1,50	15,00						
						+Яз	100	0	0	0	0	0	1,00	15,00						
						Другий ярус						6Гз	55	23	18	4	0	0	1,73	15,00
												3Клг	50	50	0	0	0	0	1,50	15,00
												1Лпд	4	0	0	0	0	0	1,00	15,00

продовження табл. 2

4.	4Влч3Бп 1Сз1Дз 1Гз +Яз	60	3Дз	39,6	-	-	-	1	-	1	-	1	5	-
			4Влч	42,5	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
			2Гз	30,7	8	-	1	-	-	-	-	-	-	-
			1Бп	38,7	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
			+Сз	48,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.	9Дз1Влч +Гз+Сз	115	9Дз	61,3	-	1	-	1	2	-	-	-	13	-
			1Влч	44,6	-	3	1	-	1	-	-	-	-	-
6.	8Дз 1Сз 1Влч	115	2Дз	54,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			1Сз	51,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			7Влч	42,3	4	1	1	4	-	-	-	-	-	-
7.	7Дз 1Сз 1Бп 1Гз	145	8Дз	50,8	-	-	5	3	1	-	-	1	12	-
			1Сз	76,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			10с	45,0	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
			+Бп	41,5	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
8.	7Дз 1Гз 1Сз 1Влч +Бп+0с	125	5Дз	56,8	-	-	1	7	3	-	1	1	6	-
			2Гз	42,1	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-
			3Влч	34,3	2	4	3	2	-	-	-	-	-	1
			+Сз	50,4	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
			+Бп	28,0	-	-	1	1	-	-	-	1	-	1
9.	7Дз 1Влч 2Гз	155	3Дз	68,4	-	1	2	-	-	-	-	-	1	-
			2Влч	50,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			5Гз	37,0	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-
10	3Дз3Гз 4Влч +Яз	185	2Дз	72,1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
			8Гз	43,6	-	-	1	9	-	-	-	-	2	-
			+Влч	44,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

продовження табл. 2

11	8Дз 1Гз 10с	185	7Дз	63,0	-	5	11	4	1	-	-	-	6	-
			3Гз	39,1	-	2	5	2	-	-	-	-	1	1
			+Бп	39,5	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1
12	9Дз 1Влч	100	4Дз	55,8	-	3	-	5	-	-	-	2	3	-
			3Лпд	35,8	-	-	2	4	1	1	-	-	-	-
			2Гз	26,3	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
			1Влч	41,6	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-
13	3Дз3Влч 2Бп2Гз +Яз +Ос	65	1Дз	46,5	-	2	1	1	1	4	-	-	-	-
			4Влч	31,6	-	9	2	-	-	-	-	11	1	-
			1Бп	44,1	-	3	-	-	-	-	-	-	1	3
			4Гз	19,6	-	6	-	-	1	-	-	-	-	-
14	3Дз3Бп 3Влч1Гз +Яз +Сз	65	2Дз	41,3	-	-	-	2	-	1	-	3	-	-
			2Бп	36,0	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
			2Влч	37,0	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-
			4Гз	27,0	-	-	4	5	-	-	-	7	-	-

Зазначимо, що ослаблення та всихання лісових насаджень НПП «Цуманська пуща» на цей час стосується переважно стиглих і перестійних вікових категорій, хоча в окремі роки патологічні процеси спостерігалися й у середньовікових деревостанах. Наразі пошкодження та ураження мають локальний, проте динамічний, характер. Також під час оцінки фітосанітарного стану дубових деревостанів виявлено пошкодження окремих дерев (III–IV категорій стану) збудниками хвороб. Зареєстровано також наявність вітровальних та буреломних дерев, стовбурів дуба з пошкодженою кореневою системою та кореневих лап, з механічними пошкодженнями стовбурів, дерев зі зламаними вершинами, дерев із численними ознаками пошкодження стовбурів низькими температурами, морозобійними тріщинами (див. табл. 2).

Найбільш уражені старовікові деревостани внаслідок механічного пошкодження, заселення дереворуйнівними грибами відмічені в Берестянському (ПП-11) та Партизанському лісництвах (ПП – 2). На живих деревах виявлено плодові тіла сірчано-жовтого трутовика (*Laetiporus sulphureus*), несправжнього дубового трутовика (*Phellinum igniarius*) та печіночниці звичайної (*Fistulina hepatica*). У перестійному деревостані на окремих деревах після відпадання плодових тіл трутовиків також утворились дупла (5%). Частка дерев дуба та інших порід з наявністю дупел, які здебільшого є оселищами дуплогніздових птахів, у цих деревостанах становить 5–11%. Частка дерев з водяними пагонами незначна. У деревостанах Парку на стовбурах дерев дуба виявлено механічні пошкодження, які утворились у попередні роки внаслідок рубок формування та оздоровлення лісів. Найбільша кількість дерев дуба з механічними ранами (18%) та заселених стовбуровими шкідниками (5%) виявлена у 180-річному дубовому деревостані (ПП-2). Зі стовбурових шкідників на дубі виявлено – дубовий заболонник (*Scolytus intricatus* Rats.), златка двоцяткова (*Argilus biguttatus* F.), златка дубова вузькотіла (*Argilus angustulus* Ill.), ксифідрія дубова (*Xiphydria longicollis* Geoffr.), вусач мармуровий (*Monochamus marmorator* Kirb).

Ослаблені деревостани внаслідок антропогенного впливу та наслідків погодних змін (посушливі явища, пониження рівня ґрунтових вод, різке коливання температур у зимово-весняні періоди) заселяються патогенними організмами та комахами-шкідниками. Так, збудниками хвороб уражено від 4 до 14% дерев дуба. З хвороб

переважають опеньок осінній, несправжній дубовий трутовик, печіночниця звичайна та усихання гілок і пагонів дуба. Ураження деревостанів дуба поперечним раком не перевищує 4%.

За наявності у деревостанах патологічного відпаду (сухостою) в них здійснюють вибіркові санітарні рубки. Так, відсутність сухостійних стовбурів дуба на окремих пробних площах (ПП – 4, 8, 10) свідчить про здійснення в них відповідних санітарно-оздоровчих заходів – вибіркових рубок.

Висновки. Проаналізовано санітарний стан деревостанів з участю дуба звичайного в умовах НПП «Цуманська пуща» та визначено основні причини, які спричиняють його ослаблення, деградацію та відмирання.

Унаслідок впливу комплексу негативних чинників навколишнього середовища, зокрема чинників біотичного походження, в лісових насадженнях Парку відмічено загальне зниження біологічної стійкості корінних дубових деревостанів. На всіх обстежених ділянках дубових деревостанів нагромаджується патологічний відпад (сухостійні дерева V–VI категорій стану), які заселені та вже відпрацьовані комплексом стовбурових шкідників. Середньовікові і старші дубові деревостани НПП за санітарним станом є послабленими, а за рівнем дефоліації крон дерев – середньо ушкодженими. Вони характеризуються низьким рівнем ураження за пошкодженням шкідливими організмами. Індекс санітарного стану дубових насаджень Парку знаходиться в межах від 1,59 до 2,54 одиниці. Збудниками хвороб уражено від 4 до 14% дерев дуба. Мішані та складні дубові деревостани у порівнянні з чистими та простими мають кращий санітарний стан та менше заселяються збудниками хвороб і шкідниками.

Для своєчасного виявлення можливого всихання та ранньої діагностики порушення біотичної стійкості насаджень, зокрема внаслідок впливу різних видів фітопатогенних організмів та чинників абіотичного походження, у насадженнях Парку доцільно впровадити на постійній основі фітосанітарний моніторинг стану корінних деревостанів за участю дуба звичайного. Для покращення санітарного стану та попередження патологічного відпаду в ушкоджених дубових деревостанах необхідно своєчасно здійснювати санітарно-оздоровчі заходи та рубки догляду. Лісогосподарські заходи в дубових

деревостанах повинні бути спрямовані на формування мішаних і складних багаторусних насаджень.

1. Букша І. Ф., Банік М. В. Методичні рекомендації з моніторингу лісів України І рівня. Харків : УкрНДІЛГА, 2002. 33 с. **2.** Герасимчук Г. В. Типологічна структура лісів Ківерцівського Національного природного парку «Цуманська пуца». *Матеріали 71-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2020–2021 роках* / ред. С. І. Миклуш (відп. ред.) та ін. Львів : РВВ НЛТУ України, 2021. С. 12–14. **3.** Про природно-заповідний фонд України : Закон України, 1992 зі змінами 2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 27.06.2025). **4.** Іванюк І. Д., Іванюк Т. М. Хвороби дуба звичайного у системі факторів, які знижують продуктивність деревостанів. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*. 2017. № 43. С. 79–85. **5.** Криницький Г. Т., Криницька О. Г., Мазепа В. Г. Відтворення корінних деревостанів у грабово-соснових судібровах природним шляхом. *Науковий вісник НУБіП України* : зб. наук. праць. 2010. Вип. 152. Ч. 2. С. 36–43. **6.** Методичні вказівки з нагляду, обліку та прогнозування поширення шкідників і хвороб лісу для рівнинної частини України / за ред. В. Л. Мешкової. Харків : ТОВ Планета-Прінт. 2020. 92 с. **7.** Мешкова В. Л., Усцький І. М. Характер та головні причини всихання лісів Полісся. *Лісівництво та агролісомеліорація*. 1999. Вип. 95. С. 64–67. **8.** Олещенко В., Мовчан Я., Парчук Г. Нормативно-правові підстави для розбудови екомережі України. *Розбудова екомережі України*. К., 1999. С. 7–12. **9.** Орлов О. О., Іванюк Т. М. Причини та динаміка поточної хвилі всихання дубових насаджень у Житомирській області. *Науковий вісник НАУ*. 2007. Вип. 113. С. 289–296. **10.** Санітарні правила в лісах України : затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 26.10.2016 р. № 756. 31 с. **11.** СОУ 02.02-37-476.2006. Пробні площі лісовпорядні. Метод закладання. К. : Мінагрополітики України, 2006. 32 с. **12.** Borecki T., Keczynski A. Atlas ubytku aparatu asymilacyjnego drzew lesnych. Warszawa : Wyd.: Agencja Reklamowa «ATUT», 1992. 49 s. **13.** Kowalski M. Zmiany skladu gatunkowego lasow na tle zmian klimatu w ostatnich dwóch stuleciach. *Sylwan*. 1994. № 9. S. 33–43. **14.** Sierota Z. Kryteria i metody oceny stanu zdrowotnego drzew i drzewostanow. *Prace inst. Bad. Les.* 1997. Serii A. Iss. 854. S. 75–102.

REFERENCES:

1. Buksha I. F., Banik M. V. Metodychni rekomendatsii z monitorynhu lisiv Ukrainy I rivnia. Kharkiv : UkrNDILHA, 2002. 33 s. **2.** Herasymchuk H. V. Typolohichna struktura lisiv Kivertsivskoho Natsionalnoho pryrodnoho parku «Tsumanska

pushcha». *Materialy 71-i naukovo-tekhnichnoi konferentsii profesorsko-vykladatskoho skladu, naukovykh pratsivnykiv, doktorantiv ta aspirantiv za pidsumkamy naukovoї diialnosti u 2020–2021 rokakh* / red. S. I. Myklush (vidp. red.) ta in. Lviv : RVV NLTU Ukrainy, 2021. S. 12–14. **3.** Pro pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy : Zakon Ukrainy, 1992 zi zminamy 2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (data zvernennia: 27.06.2025). **4.** Ivaniuk I. D., Ivaniuk T. M. Khvoroby duba zvychainoho u systemi faktoriv, yaki znyzhuiut produktyvnist derevostaniv. *Lisove hospodarstvo, lisova, paperova i derevoobrobna promyslovist*. 2017. № 43. S. 79–85. **5.** Krynytskyi H. T., Krynytska O. H., Mazepa V. H. Vidtvorennia korinnykh derevostaniv u hrabovo-sosnovykh sudibrovakh pryrodnykh shliakhom. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy* : zb. nauk. prats. 2010. Vyp. 152. Ch. 2. S. 36–43. **6.** Metodychni vказivky z nahliadu, obliku ta prohnouzuvannia poshyrennia shkidnykiv i khvorob lisu dla rivnynoi chastyiny Ukrainy / za red. V. L. Mieshkovoї. Kharkiv : TOV Planeta-Print. 2020. 92 s. **7.** Mieshkova V. L., Ustskyi I. M. Kharakter ta holovni prychny vsykhannia lisiv Polissia. *Lisivnytstvo ta ahrolisomeliioratsiia*. 1999. Vyp. 95. S. 64–67. **8.** Oleshchenko V., Movchan Ya., Parchuk H. Normatyvno-pravovi pidstavy dla rozbudovy ekomerezhii Ukrainy. *Rozbudova ekomerezhii Ukrainy*. K., 1999. S. 7–12. **9.** Orlov O. O., Ivaniuk T. M. Prychny ta dynamika potochnoi khvyli vsykhannia dubovykh nasadzhzen u Zhytomyrskii oblasti. *Naukovyi visnyk NAU*. 2007. Vyp. 113. S. 289–296. **10.** Sanitarni pravyla v lisakh Ukrainy : zatv. Postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 26.10.2016 r. № 756. 31 s. **11.** SOU 02.02-37-476.2006. Probnii ploshchi lisovporiadni. Metod zakladannia. K. : Minahropolityky Ukrainy, 2006. 32 s. **12.** Borecki T., Keczynski A. Atlas ubytku aparatu asimilacyjnego drzew lesnych. Warszawa : Wyd.: Agencja Reklamowa «ATUT», 1992. 49 s. **13.** Kowalski M. Zmiany skladu gatunkowego lasow na tle zmian klimatu w ostatnich dwuch stuleciach. *Sylwan*. 1994. № 9. S. 33–43. **14.** Sierota Z. Kryteria i metody oceny stanu zdrowotnego drzew i drzewostanow. *Prace inst. Bad. Les*. 1997. Seri A. Iss. 854. S. 75–102.

Herasymchuk H. V., Post-graduate Student (National Forestry University of Ukraine, Lviv, Ukraine)

SANITARY CONDITION OF THE OAK FOREST STANDS IN TSUMANSKA PUSHCHA KIVERTSI NATIONAL NATURE PARK

The current sanitary condition of English oak (*Quercus robur* L.) in Tsumanska Pushcha Kivertsii National Nature Park (NNP) was investigated and the root causes of their weakening, loss of biotic stability and productivity were identified. It has been found that modern

environmental challenges, such as global climate change, anthropogenic pressure, pest attacks, and the epiphytic spread of infectious diseases, are predictors of forest vulnerability, which leads to disruption of forest conservation and restoration strategies. The average values of the sanitary condition index for 2022 were calculated and analyzed on the basis of a detailed forest pathology survey of 14 sample areas, and the species composition of infectious pathologies in the stands of the NNP was also identified. While examining the forest stands, the category status of all trees in the sample plots, loss of assimilation system and disease manifestation were assessed. It was established that the general sanitary condition of the forest with the participation of oak in the conditions of the NNP should currently be considered as weakened. The presence of trees of V and VI condition categories, foci of bacteriosis, mycotic diseases, and stem pasts were recorded. From 4 to 14% of oak trees are affected by disease pathogens. The most common diseases are *Armillaria mellea*, *Phellinum igniarius* and *Fistulina hepatica* drying of oak branches and shoots, which affect up to 14% of tree trunks. It is necessary to continue to monitor the sanitary condition of the oak NPP in order to design more precise control measures for the future. It was noted that considering the sanitary condition becomes a key factor during the development of scientific and practical solutions to ensure the stability and preservation of indigenous natural forests of Tsumanska Pushcha Kiverts National Nature Park.

Keywords: pathogens; stem pests; tree species; sanitary state index; defoliation, damage to the tree stand.

УДК 574.5(477)

<https://doi.org/10.31713/vs220254>

Гриб Й. В., д.б.н., професор, Сорока В. С., к.с.-г.н., доцент, Троцюк В. С., к.с.-г.н., доцент, Войтишина Д. Й., здобувач, Роменський М. М., Ногачевський Ю. В., студенти 3 курсу (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, y.v.hryb@nuwm.edu.ua, v.s.soroka@nuwm.edu.ua, v.s.trotskyuk@nuwm.edu.ua)

АКВАПАРКИ У КОМПЛЕКСНІЙ СИСТЕМІ ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ ВОДООХОРОННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МІСЦЕВИХ ГРОМАД

Чиста вода є одним з провідних чинників формування демографічної ситуації, вагомість якої з роками зростатиме через потепління клімату, остепніння природного середовища і значне випаровування. Внаслідок цього весняний період поповнення запасів ґрунтових і підземних вод атмосферними опадами знизився майже на порядок. Необхідно врахувати, що для виживання людини потрібно близько 300 дм³/добу. Для вирощування пшениці за сезон вегетації необхідно 700 м³/га прісної води, однак це становить лише 12% від спожитої води у сільському господарстві та комунальному секторі. Відсутність весняної повені різко скоротило масу води у рибництві та відтворення аборигенної іхтіофауни. Це становить значну проблему у водопостачанні та водовідведенні, яка повинна вирішуватись не тільки на державному рівні, але й на рівні місцевих громад.

Водне середовище і якість води є основною базою для розвитку довкілля і суспільства. На сьогодні використання водних ресурсів досягло певного розвитку, однак через чисельність джерел забруднення та необхідності витрат значних коштів потрібна переорієнтація природокористування і водокористування, бо вся річкова мережа України значно трансформована, а якість водного середовища вимагає покращення. Тому з метою збереження природного середовища необхідно переорієнтовувати системи урбанізації, особливо сільських населених пунктів, з переведенням від хутірської забудови до централізованих поселень радіального типу з системою водоочищення, утилізації відходів та повторного використання води в народному господарстві. Це орієнтовний

напряма на перспективу природокористування у XXI столітті, однак на сучасний період проблему водокористування й охорони водних ресурсів необхідно вирішувати на рівні сільських громад або місцевих органів самоуправління. У роботі подані напрямки природокористування і водокористування у басейнах річок та розв'язання цього питання на рівні громад шляхом організації аквапарків.

Ключові слова: водне середовище; трансформація річкових басейнів; сільські громади; урбанізація; утилізація; аквапарки.

Вступ. Водні ресурси та їх якість і природні запаси на сьогодні є чинником, що лімітує розвиток суспільства і збереження здоров'я населення. Характер урбанізації території (розосередженість житлової забудови та розміщення підсобних будівель), демографічна ситуація (старіння населення), стан використання земель обумовлює необхідність перегляду системи природокористування і водокористування, зменшення антропогенного навантаження на водне середовище [2; 3].

На сьогодні гідрографічна мережа України значно трансформована, більшість малих річок включені у меліоративні системи як магістральні канали, а якість водного середовища в більшості не відповідає вимогам побутового та рибогосподарського використання [4].

Знизилась питома вага вилову аборигенних видів риби через знищення природних нерестовищ та зимувальних ям, погіршення кормової бази та якості води.

Державні органи не в змозі вирішити всі виникаючі проблеми попередження деградації довкілля, тому у зв'язку зі зміною характеру землекористування та водокористування основна частина порушень має бути ліквідована місцевими органами самоврядування сільських громад [1; 3].

З цією метою пропонується створення аквапарків, метою яких є впровадження безстічних систем водокористування та повторного використання стічних вод у рільництві, як органічних добрив, ліквідація наявних порушень у веденні комунального господарства.

Оптимальною стратегією на 50–60 роки XXI ст. є зміна характеру урбанізації сільських населених пунктів з метою централізації

водопостачання та каналізації, очищення стічних вод та створення оптимальних умов життєдіяльності для населення (навчання дітей, медичне обслуговування, адміністративна допомога тощо).

Наш варіант сільської урбанізації представлений на рис. 1.

Вивченість проблеми. Стан малих річок в межах впливу урбанізованих територій і оптимізації природокористування вивчались Грибом Й. В., Чернявською А. П., Яциком А. В. та іншими вченими [2; 5]. Інститутом Укрводпроект разом з провідними інститутами НАН України, зокрема Інститутом гідробіології (Мережко А. І., Гриб Й. В.), було паспортизовано 2000 малих річок України, а Інститутом географії НАН України видана карта екологічної ситуації річкової мережі з визначенням створів забруднень (гарячих точок). Однак, конкретних заходів з вирішення проблем попередження забруднень річкової мережі не було вжито. Вирішення проблеми поліпшення ситуації вимагає залучення місцевих громад для ліквідації першоджерел забруднень.

Постановка проблеми. За часи радянської влади була вирішена проблема каналізації урбанізованих територій і очищення стічних вод на біофільтрах та аеротенках, що давали знезараження стоків до 80%, однак на водне середовище значно впливали біогенні домішки (органічний вуглець, мінеральні форми азоту та фосфору, токсичні домішки, зависі, бактеріальні та гельмінти забруднення). Заболочені території Західного Полісся були осушені з включенням випрямлених малих річок у меліоративні канали. Був налагоджений державний контроль за роботою очисних споруд та якістю поверхневих вод, однак заходи з поліпшення екологічної ситуації не приймалися за результатами аналізів.

За відсутності значних державних коштів не було вирішено чимало екологічних проблем з охорони довкілля:

а) очищенню піддавалися тільки побутові комунальні стоки, а зливові води з урбанізованих територій, які за рівнем забруднення були рівнозначні побутовим, скидалися без очищення у річкову мережу;

б) рівень очищення стічних вод складав близько 75–80%, решта домішок скидалось у поверхневі води для подальшого доочищення, не було вирішене питання утилізації активного мулу від споруд очищення, який разом із біогенними елементами складав основну масу забруднень;

в) при меліоративних роботах у проєктах не передбачались заходи з охорони флори та фауни річок, що призводило до знищення природних об'єктів – природних нерестищ, зимувальних ям, кормової бази та погіршення якості води.

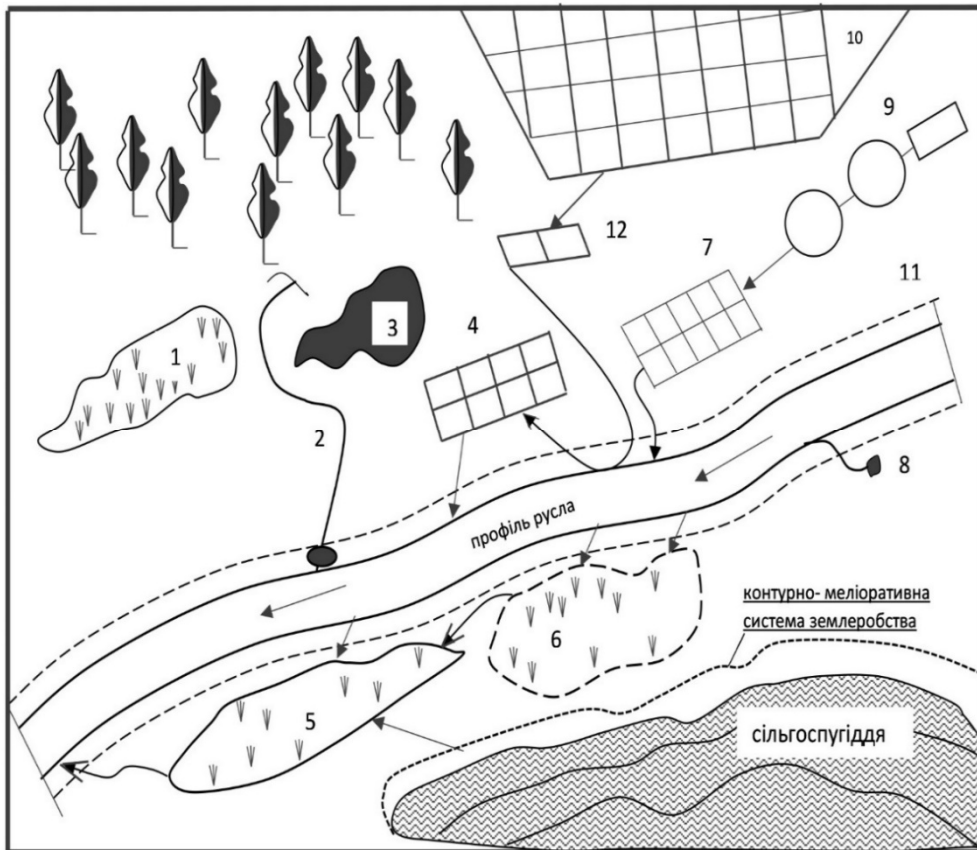


Рис. 1. Заплавні екотони русла річки в межах впливу урбанізованих територій

Умовні позначення: 1 – стариця; 2 – притока першого порядку з зимувальною ямою; 3 – озеро; 4 – рибоводний став; 5 – ветленд; 6 – заплавні луки; 7 – літній польдер; 8 – джерело; 9 – очисні споруди комунальних стоків; 10 – урбанізовані території; 11 – прибережна захисна смуга; 12 – відстійник зливових вод

Внаслідок цього були порушені умови формування якості води, відтворення аборигенної іхтіофауни, спостерігалися замулення

річища і припинення стоку води, заростання фітомасою вищої водної рослинності руслових водосховищ.

Із-за цих порушень якість води річок України віднесена до 3 і 4 класу якості, а в межах урбанізованих територій була ще гіршою.

У природокористуванні сформувалась кризова ситуація, яку держава самотужки вирішити не мала змоги. Необхідний був перехід на ліквідацію джерел забруднення місцевими громадами, як природокористувачами першої ланки. При цьому підвищувалась би рентабельність: сільського господарства – за рахунок отримання безкоштовних органо-мінеральних добрив (донних мулів та фітомаси вищої водної рослинності); рибопродуктивності – за рахунок розвитку фермерського рибного господарства на відновлених водоймах.

Мета роботи. Метою даної роботи є реабілітація екологічної ситуації в межах території місцевих громад і розробка та реалізація заходів з реабілітації стану водного середовища.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження є територія місцевих громад, зокрема с. Зозів Шпанівської селищної громади, щодо проблем водоохоронної діяльності та стан р. Устя в межах населеного пункту та нижче м. Рівне. Предметом дослідження є виявлення чинників впливу на екологічну ситуацію та їх ліквідацію коштом місцевих громад через створення аквапарків.

Наукова новизна. Новизною є оптимізація стану середовища населеного пункту та розробка заходів зі зниження впливу господарської діяльності на водне середовище, впровадження маловідходних і безстічних технологій, утилізація відходів та газифікація населених пунктів за допомогою газогенераторів, як систем утилізації відходів та отримання добрив.

Аквапарки – це система, що об'єднує зусилля фізичних осіб з метою вирішення назрілих проблем довкілля, базованих на приватній власності на землю, водні ресурси, технічному забезпеченні у вирішенні соціальних, матеріальних, економічних та екологічних проблем.

Аквапарк включає представників ради старійшин і органів місцевого самоврядування – спеціалістів сільського, водного, лісового господарства, рибництва, бджільництва, птахівництва, механізаторів, будівельників і наукових співробітників.

В юридичному плані – це самостійна громадська або госпрозрахункова організація, або відомчі підрозділи місцевих

органів самоврядування, що планують свою виробничу або суспільно корисну роботу під контролем або у складі рад місцевих депутатів.

Функції аквапарків місцевих органів самоврядування. У зв'язку із зміною порядку землевпорядкування, змінюється система водокористування, яка переходить в підпорядкування місцевих громад і органів місцевого самоврядування, тобто місцеві громади відповідають за стан охорони водних ресурсів, боротьбу із місцевим сміттям та його утилізацію, впорядкування прибережних смуг, використання запущених водойм у рибництві, запобігання замуленню струмків і малих річок твердим стоком від агрокомплексів.

Крім контролю за станом навколишнього середовища в межах населених пунктів, в системі місцевих органів самоврядування необхідно створити виробничі підрозділи з наступних напрямів:

а) влаштування піщано-гравійних фільтрів для очищення стоків індивідуальної забудови;

б) створення біоплато для доочищення стоків;

в) встановлення аеробіофільтрів на штучній волокнистій насадці для локальних очисних споруд індивідуальної та громадської забудови;

г) створення локальних і селищних газогенераторів для утилізації сміття і відходів сільськогосподарського виробництва з метою отримання газу для індивідуальної та селищної забудови та ферментованих відходів як добрив для сільського господарства;

д) впорядкування прибережних захисних смуг водоохоронних зон з метою попередження замулення русел річок і струмків (за рахунок землекористувачів прибережних домогосподарств);

є) впорядкування джерел;

ж) використання кар'єрів, руслових водосховищ на малих річках для рибництва.

Результати досліджень. Приклад екологізації природокористування у басейні р. Устя нижче м. Рівне (в створі с. Зозів).

Річка Устя нижче м. Рівне належить до помірно забруднених із співвідношенням річкового стоку та умовно очищених комунальних і стічних вод – 1,0 (стічних) : 7,0 (річкових). Однак, підперта русловою греблею, вона акумулює стік (в т. ч. поверхневий з території міста), формуючи відклади мулу та зарослі вищої водної рослинності,

залишаючи 50% чистого водного дзеркала. Висота донних відкладів у пригребельній смузі складає 2,5–3,0 м.

Внаслідок застійних явищ та темного дихання вищої водної рослинності у водному середовищі спостерігається дефіцит розчиненого кисню, що створює умови виживання тільки для лімнофільних видів риб (дрібний карась) та адаптованого до забруднення води ротаня.

З метою екологізації ситуації пропонується:

а) використання водорослево-рачкових ставків для третинного доочищення річкової води і отримання живого корму для риб [5];

б) поліпшення очистки комунальних стічних вод м. Рівне до регламентних характеристик [2];

в) викошування фітомаси вищої водної рослинності технічного ставка з її компостуванням для удобрення сільськогосподарських угідь та корму для риб;

г) використання карт полів фільтрації бувшого цукрозаводу (20 га) з подачею води із р. Устя та її нейтралізацією 10% розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ до $\text{pH} < 8,5$ і осадженням зависів у водоймі-відстійнику з подальшою інокуляцією у мікробіодорості хлорелли. Мета – поліпшення екологічної ситуації у технічному ставку та отримання рибопродукції [6];

д) при відсутності реабілітації водосховища і його подальшого замулення необхідно реалізувати два варіанти:

- організація біоплато для очищення руслового стоку;

- створення заплавних лиманних рибоводних господарств і відновлення русла р. Устя в межах ставка.

Русло розглянутої умовної річки, як протічна система, характеризується дрифтом домішок у гирлову частину і по суті є гідроекологічним коридором для відведення води. Основою життя у руслі є її заплава з проміжними екотонами, тобто стійкість річкових екосистем може бути виражена формулою:

$$St = \sum N_{\text{екотон}} / \sum n_{\text{стрес}} . \quad (1)$$

У розглянутому випадку екотони формують 12 факторів (див. рис. 1). Стресові ситуації формують: а) стоки комунальних вод; б) зливи води урботериторій; в) поверхневий стік; г) кисневий режим; д) поверхневий сільськогосподарський стік. Тобто стійкість водної екосистеми складає:

$$St = 12/4 = 3,0.$$

За отриманими даними екосистему річки можна віднести до II класу якості води.

Однак, це лише приклад оптимізації екологічної ситуації. Фактично цією проблемою ніхто не займається і стійкість екосистеми менше 1,0.

Отримані дослідні матеріали. Просторове планування населених пунктів на 50-ті роки 21 століття, як безстічних урбоекосистем (рис. 2).

Оптимальною стратегією розвитку сільських населених пунктів у 50-х роках XXI століття та в подальшому є зміна характеру їх забудови з метою централізації водопостачання і каналізації, очищення стічних вод та створення сприятливих умов життєдіяльності населення. Впровадження радіальної системи забудови сприятиме не лише покращенню мікрокліматичних умов, а й оптимізації адміністративного управління, розвитку торгівлі, медичного обслуговування, освіти та підвищенню якості життя населення.

За даними космічного зондування, подібні радіальні структури фіксуються й на території Антарктиди, що може свідчити про природне або геоморфологічне походження таких форм організації простору

Планування водоохоронної діяльності індивідуальних фермерських господарств. За аналогом ведення сільського господарства у Канаді об'єктом господарювання є ділянки землі площею 500 гектарів та утриманням у стійловому режимі 500 голів великої рогатої худоби.

Відходи від ферми збираються у бетонній ємності, звідки вивозяться на сільськогосподарські угіддя для внесення під оранку при вирощуванні кормових культур (рис. 3).

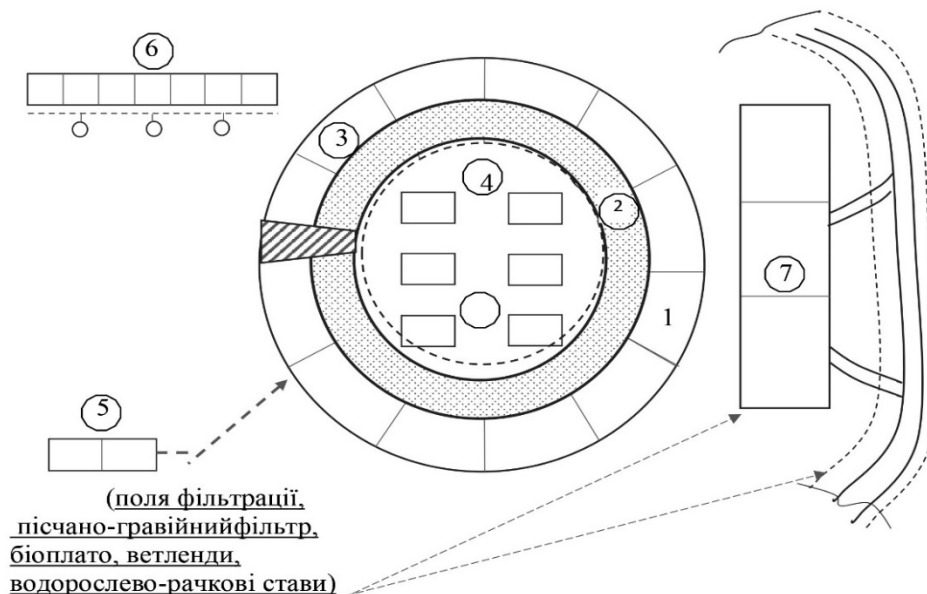


Рис. 2. Просторове планування структури населених пунктів 50-х років XXI ст.

Умовні позначення: 1 – адміністанови (школи, дитячі садочки, будинки культури, медичні заклади, магазини); 2 – житлова забудова; 3 – присадибні ділянки; 4 – каналізація; 5 – очисні споруди; 6 – господарські споруди; 7 – рибницькі стави

Деталізація функцій аквапарків місцевих органів самоврядування.

У зв'язку зі зміною порядку землекористування міняється система водокористування, яка переходить в управління місцевих громад і органів самоврядування (рис. 4). Тобто місцеві громади відповідають за стан використання та охорону водних ресурсів, боротьбу із накопичення побутового сміття, впорядкування прибережних смуг водоохоронних зон, використання запущених водних об'єктів у рибництві.

Крім контролю за станом середовища в межах населених пунктів, в системі місцевих органів самоврядування необхідно створити виробничі підрозділи з наступних напрямів:

- а) очищення і доочищення стічних вод від індивідуальної забудови на піщано-гравійних фільтрах;
- б) створення біоплато на перезволожених територіях для очищення зливових і стічних вод;
- в) виготовлення і встановлення аерофільтрів на волокнистій насадці на локальних спорудах та очищення стоків від індивідуальної та

громадської забудови;

г) створення локальних і селищних газогенераторних установок для утилізації сміття, відходів сільськогосподарського виробництва та тваринницьких ферм з метою отримання газу для індивідуальної та селищної забудови з одноразовим використанням ферментованих відходів, як добрив для сільського господарства;

д) впорядкування прибережних захисних смуг водоохоронних зон з метою запобігати замуленню річищ річок і струмків;

є) впорядкування використання природних джерел підземних вод;

ж) використання кар'єрів річкових водосховищ на малих річках та запущених ставків у рибористві.

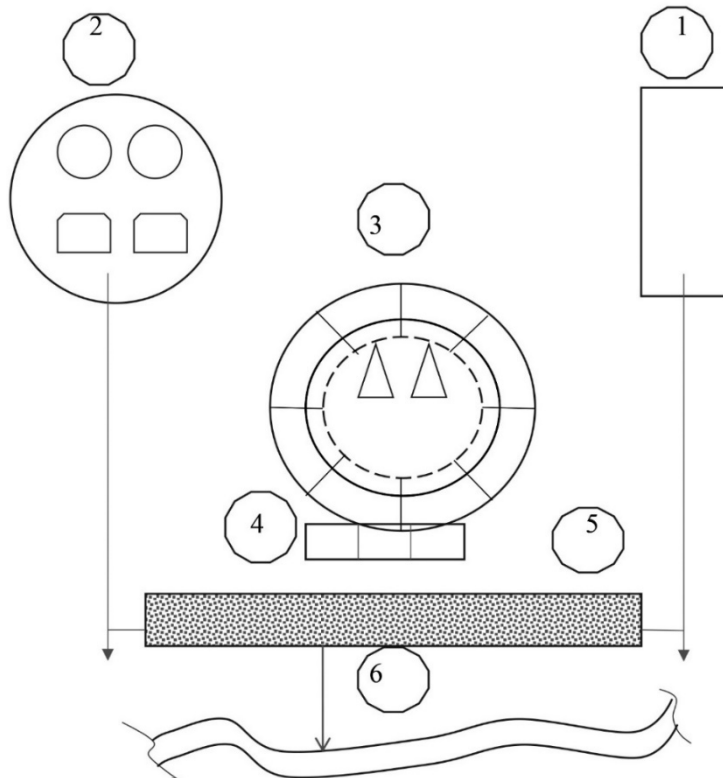


Рис. 3. Структура водоохоронної діяльності індивідуальних фермерських господарств

Умовні позначення: 1 – індивідуальна забудова; 2 – господарчий двір;
3 – тваринницький комплекс на 500 голів ВРХ; 4 – відстійник відходів для внесення під рілля; 5 – біоплато; 6 – русло річки

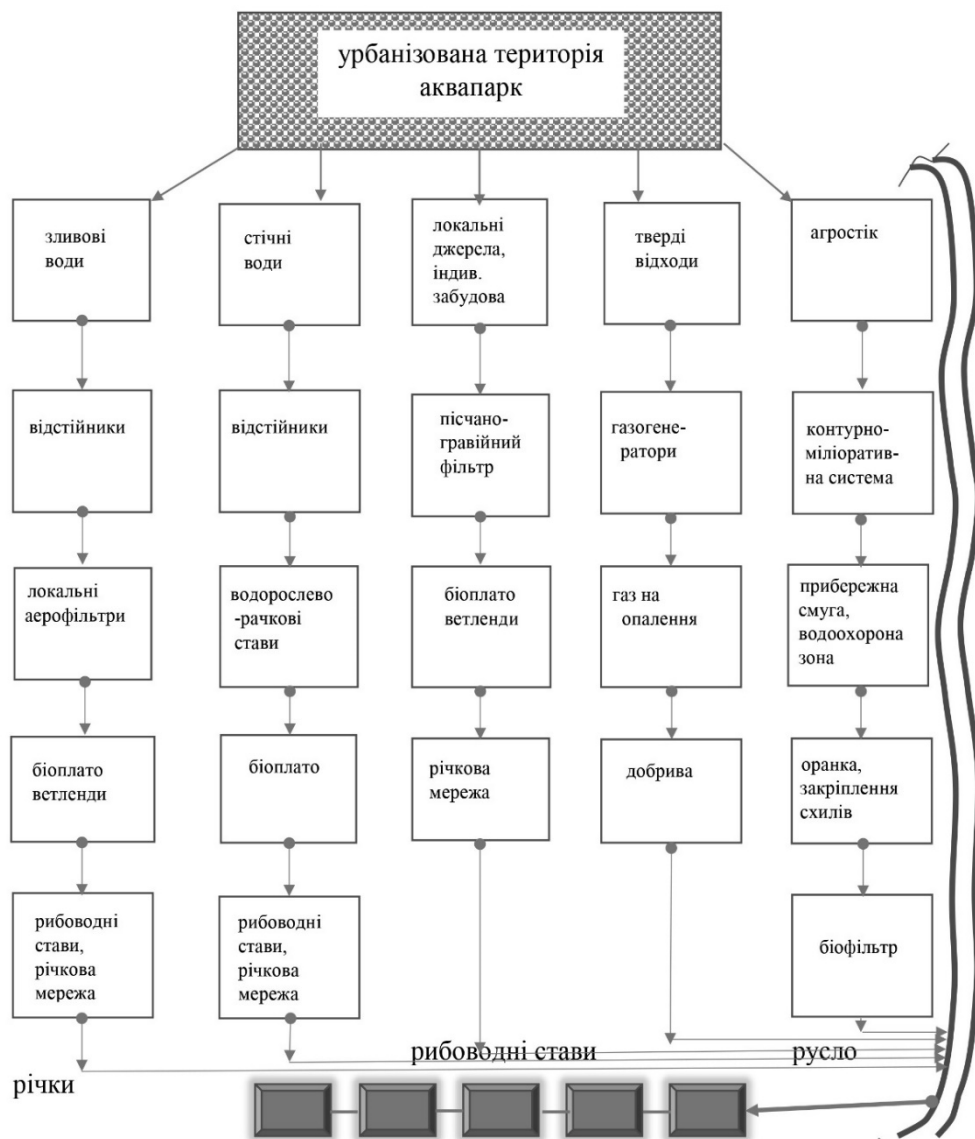


Рис. 4. Структура водоохоронної діяльності місцевих органів самоврядування (аквапарків)

Приклад екологізації природокористування в басейні р. Устя нижче міста Рівне (створ с. Зозів) наведено на рис. 5.

Річка Устя нижче м. Рівне належить до помірно забруднених зі співвідношенням річкового стоку та недоочищених комунальних стічних вод як 1:7.

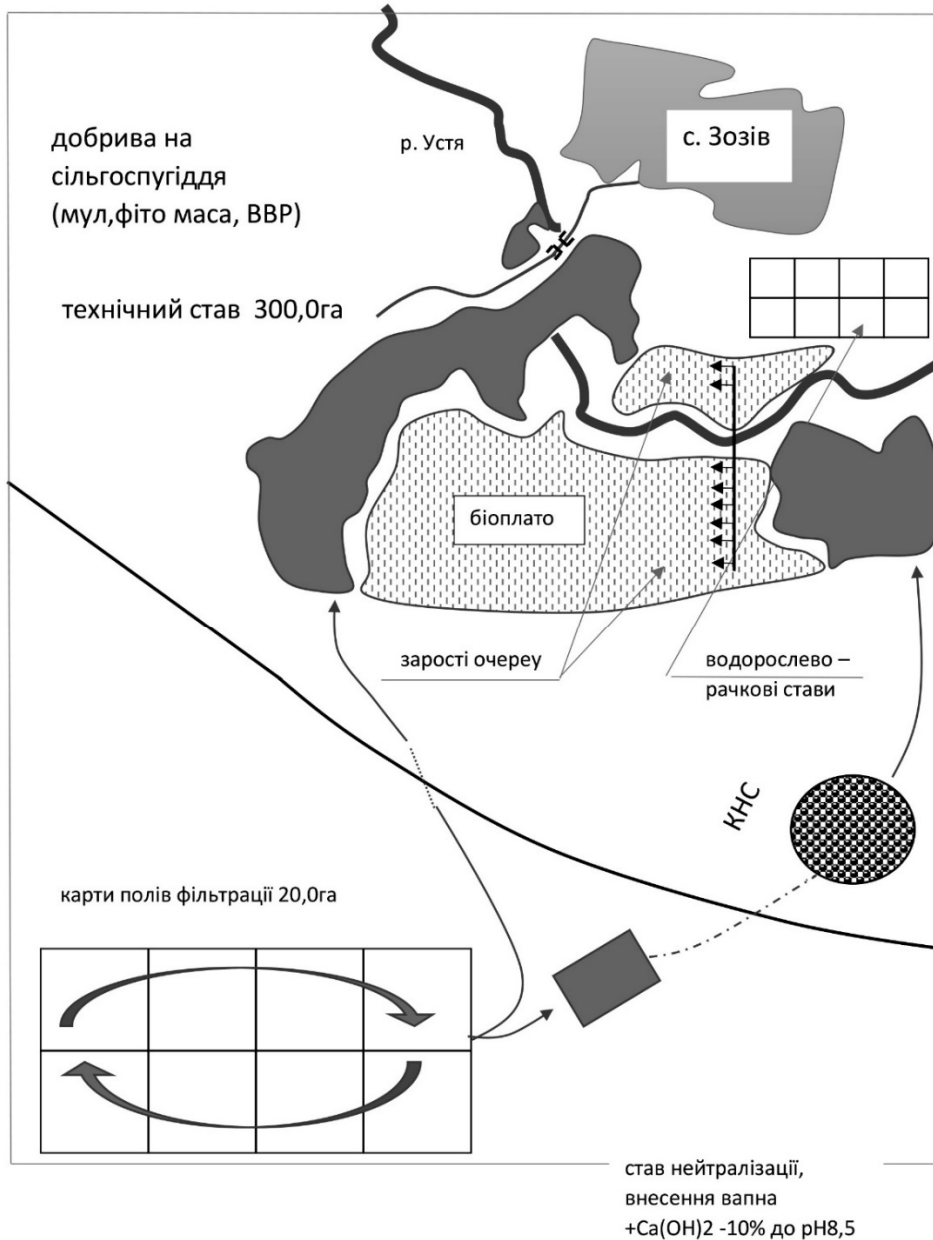


Рис. 5. Перспективна схема оптимізації іхтіоекологічної ситуації у технічному ставку та картах полів фільтрації нижче урбанізованих територій

Стік річки, підпертої русловою греблею, накопичує забруднення комунального і зливого стоку міста, формує відклади мулу та сприяє

заростанню вищою водною рослинністю, залишаючи лише 50% чистої водної поверхні із загальної площі ставка 300 га.

Внаслідок застійних явищ та темного дихання вищої водної рослинності у водному середовищі ставка відмічається дефіцит розчиненого кисню, що створює умови виживання тільки лімнофільних видів риб (карась) та адаптованого до забруднення вселеного ротаня.

З метою екологізації пропонується:

а) використання водорослево-рачкових ставків для глибокого доочищення річкової води та отримання природного живого корму для риб;

б) поліпшення очищення комунальних і стічних зливових вод м. Рівне до регламентних характеристик;

в) викошування фітомаси вищої водної рослинності ставка з її компостуванням для удобрення сільськогосподарських культур та корму для риб;

г) використання карт полів фільтрації колишнього цукрового заводу (площею 20 га) для риборозведення з подачею води зі ставка та її нейтралізацією 10% розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ до pH 8,5 та інтродукції мікрководоростями хлорелли. При подальшій експлуатації технічного ставка як руслового водосховища, необхідно реалізувати 2 варіанти:

- організація біоплато для очищення річкового стоку сумісно зі стічними водами;

- створення заплавних рибогосподарських господарств з відновленням річища р. Устя в межах ставка.

Кластерний аналіз впливу урбанізованих територій на водні екосистеми.

Результати кластерного аналізу впливу чинників джерел забруднення на водну екосистему представлені на рис. 6.

До біологічної складової річкової екосистеми віднесені: джерела, водойми, якість води, локальні очисні споруди, рибопродуктивність і повторне використання очищеної води.

До косної складової річкової екосистеми віднесені: розораність басейну, впорядковані прибережні смуги, утилізація побутових відходів, стан лучної заплави, контурна агроеліоративна система землеробства і вплив стічних вод. За бальною оцінкою всі враховані складові знаходяться поза оптимальним станом і належать до

погіршеної та до кризової ситуації, тобто екосистема значно перевантажена і необхідно терміново займатися впорядкуванням ситуації.

А. Біологічна складова

Характеристики	Бали
Джерела	25
Водойма використання	40
Якість води річок	25
Локальні очисні споруди	40
Рибопродуктивність	40
Повторне використання очищених вод	40

Оптимальний стан
 $I_e=30,0$

Б. Косна складова

Характеристики	Бали
Розораність басейну	40
Прибережні смуги	40
Побутові відходи утилізації	40
Лучна заплава стан	40
Контурно міліративна землеробства	40
Стічні води	40

Оптимальний стан
 $I_e=30,0$

Умовні позначення:

	Стан добрий, бал 5,0
	Помірно забруднений, бал 10,0
	Поганий стан, бал 15,0
	Незадовільний стан, бал 25,0
	Незадовільний стан 40,0
	Незадовільний стан 40,0

Рис. 6. Кластерний аналіз впливу урбанізованих територій на водні екосистеми

Оцінка екологічної ситуації за біологічною складовою становить 210 балів проти оптимальних 30 балів, що потребує корінної реабілітації. За косною складовою оцінка екологічної ситуації становить 240 балів проти оптимальних 30 балів. В цілому екологічна ситуація вкрай напружена і потребує корінної реабілітації.

У розглянутому випадку стан екосистеми формують 12 чинників. Серед них: а) стічні комунальні води; б) зливовий стік з урбанізованих території; в) поверхневий стік з водозбірної площі; г) кисневий режим; д) невпорядкований сільськогосподарський стік. За відношенням чисельності межових екотонів до чисельності стресових ситуацій стійкість екосистеми менше 1.

Динаміка гідрохімічних характеристик якості води р. Устя в межах впливу території с. Зозів нижче м. Рівне. Теперішня система самоочищення р. Усті на базі технічного ставка може розглядатися як відстійник сумісно з біоплато. Спостерігається зниження вмісту зависів від 80 до 25 мг/дм³, поліпшується кисневий режим (таблиця).

Разом з тим відмічається значне забруднення органічними домішками за перманганатною окисненістю. Відмічається пригнічення процесів нітрифікації. Причиною такої низької водоочисної здатності ставка є його замулення, поглинання розчиненого кисню вищою водною рослинністю та мулами і накопичення токсичних домішок.

Таблиця

Гідрохімічна характеристика р. Устя в межах впливу стоків м. Рівне та Зозівського технічного ставка

Характеристики	Розмірність	Створ нижче міста Рівного та верхів'я Зозівського ставка	Нижній б'єф технічного ставка
рН	одиниць	7,2	7,0
Зависі *	мг/дм ³	80	25,0
Прозорість	см	20	20,0
Колірність	градуси	30	25,0
Органічні забруднення і газовий режим			
Розчинений кисень	мг О ₂ /дм ³	[3,6]	12,0

продовження таблиці

Насичення	%	40,0	150,0
Окисненість перманганатна	мг О/дм ³	[16,0]	[15,0]
БСК ₅	мг О ₂ /дм ³	[8,0]	[9,2]
Сольовий режим і трофосапробність			
НСО ₃ ³⁻	мг/дм ³	402,0	330,0
СL ⁻	мг/дм ³	100,0	78,0
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	140,0	120,0
Ca ²⁺	мг/дм ³	90,0	92,0
Mg ²⁺	мг/дм ³	49,0	41,0
K+ Na	мг/дм ³	96,0	28,0
Мінералізація	мг/дм ³	882,0	690,0
Сухий залишок	мг/дм ³	670,0	435,0
Біогенні елементи			
NH ₄ ⁺	мг N/дм ³	[10,0]	[14,0]
NO ₃ ⁻	мг N/дм ³	1,0	2,0
NO ₂ ⁻	мг N/дм ³	[0,4]	[0,4]
PO ₄ ³⁻	мг P/дм ³	[1,0]	[0,9]
Токсикологія			
F	мг/дм ³	0,50	0,1
Cu	мг/дм ³	[0,4]	0,05
СПАР	мг/дм ³	0,10	0,03

*- в період повені вміст зависів зростає на порядок

Щоб перевести режим технічного ставка у біоплато, необхідно видалити мул (при товщині мулових відкладень близько 3 метрів) з використанням його у сільськогосподарському виробництві як добрив, на вході до ставка поставити переливну буну з метою розширення потоку до 20 метрів та зниження швидкості течії до 0,05 м/с. Орієнтовний об'єм мулових відкладів ставка складає більше 6·10⁶ м³ (без врахування фітомаси вищої водної рослинності).

Напрями екологізації природокористування в басейні р. Усті в створі с. Зозів. Лімітуючим чинником у формуванні екологічної ситуації на території с. Зозів є водний фактор, який діє через тривале надходження забрудненої води р. Устя у став із річковим стоком, який формується за рахунок недоочищених комунальних вод м. Рівне, а

також зливових вод та локальних джерел забруднення від населених пунктів Великий Олексин та Шпанів. За 20 років експлуатації ставка після його зарегулювання товщина мулових відкладів склала від 2 до 3 метрів, формуючи сплавини вищої водної рослинності на мілководдях. Разом з тим, надходження зависів та біогенних елементів сприяли інтенсивному росту вищої водної рослинності (очерету, рогозу), що вкрило суцільним килимом водне дзеркало.

Погіршення екологічної ситуації через надходження забруднень викликало загибель аборигенної іхтіофауни, крім карася та ротаня.

Штучне зариблення водойми коропом, амуром та товстолобом не дало позитивних результатів. Відродження ситуації може забезпечити поєднання зусиль міської ради м. Рівне, громади с. Зозів та Шпанівської сільської ради.

Тобто оптимізація екологічної ситуації в цьому населеному пункті вимагає значних зусиль та капіталовкладень.

Висновки. 1. У населеному пункті (с. Зозів) щодо водокористування створилась кризова ситуація, яка вимагає термінових конкретних дій у верхів'ї річки Усті (як зі боку міста Рівного, так і з боку місцевих органів самоврядування населених пунктів). Насамперед необхідна організація аквапарків, які мають планувати та реалізовувати заходи з охорони ґрунтів, поверхневих вод та раціонального використання природних ресурсів – кар'єрів, річищ та русел водосховищ, запущених ставків і малих річок та проблем їх використання. 2. Місцеві органи самоуправління проблемами водокористування та водних біоресурсів не займаються, відбуваються процеси старіння і самозабруднення, водночас вони можуть стати джерелом постачання білка для харчування населення. 3. Необхідні конкретні кроки з розв'язання проблем якості поверхневих вод, зокрема з боку міської ради м. Рівне та сільських населених пунктів нижче міста за течією річки, вирішення проблем глибокого очищення комунальних стічних і зливових вод та повторного використання їх у сільському господарстві, оскільки якість води нижче м. Рівне не відповідає вимогам природокористування. 4. Відсутній контроль зі сторони місцевих органів самоврядування та екологічних служб за дотриманням регламентів очищення стічних вод, внаслідок чого якість води викликає загрозу для здоров'я населення, що є порушенням Конституції України та Водного Кодексу. 5. Необхідна організація спеціальних служб місцевих громад (аквапарків), які

повинні взяти на себе функції відповідальності за водокористування та охорону поверхневих вод і раціональне використання природних ресурсів.

1. Клименко М. О., Янковська А. Ю. Обґрунтування концепції сталого розвитку Городоцької сільської ради. *Вісник НУВГП. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2023. Вип. 1(101). С. 138–149. **2.** Гриб Й. В., Михальчук М. А., Войтишина Д. Й. Актуальні проблеми сталого розвитку та природокористування у період потепління клімату. *Вісник НУВГП. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2020. Вип. 4(96). С. 28–37. **3.** Про концепцію сталого розвитку населених пунктів : Постанова Верховної Ради України від 24.12.1999 р., № 1359-XIV. **4.** Стратегія сталого розвитку : підручник / колектив авторів за ред. Боголюбова В. М. Херсон : ОЛДІ – ПЛЮС, 2012. 444 с. **5.** Моніторинг природокористування та стратегія реабілітації порушених річкових та озерних систем / Гриб Й. В., Клименко М. О., Сондак В. В., Гуцол А. В., Мушик С. О., Войтишина Д. Й. Рівне-Вінниця, 2015. 486 с. **6.** Гриб Й. В. Екологічна оцінка стану екосистем річкових басейнів рівнинної частини території України (охорона, відновлення, управління). Київ, 2001. 407 с.

REFERENCES:

1. Klymenko M. O., Yankovska A. Yu. Obhruntuvannia kontseptsii staloho rozvytku Horodotskoi silskoi rady. *Visnyk NUVHP. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2023. Vyp. 1(101). S. 138–149. **2.** Hryb Y. V., Mykhalchuk M. A., Voityshyna D. Y. Aktualni problemy staloho rozvytku ta pryrodokorystuvannia u period poteplinnia klimatu. *Visnyk NUVHP. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2020. Vyp. 4(96). C. 28–37. **3.** Pro kontseptsiiu staloho rozvytku naselenykh punktiv : Postanova Verkhovnoi Rady Ukrainy vid 24.12.1999 r., № 1359-XIV. **4.** Stratehiia staloho rozvytku : pidruchnyk / kolektyv avtoriv za red. Boholiubova V. M. Kherson : OLDI – PLUUS, 2012. 444 s. **5.** Monitorynh pryrodokorystuvannia ta stratehiia rehabilitatsii porushenykh richkovykh ta ozernykh system / Hryb Y. V., Klymenko M. O., Sondak V. V., Hutsol A. V., Mushyk S. O., Voityshyna D. Y. Rivne-Vinnytsia, 2015. 486 s. **6.** Hryb Y. V. Ekolohichna otsinka stanu ekosystem richkovykh baseiniv rivnynnoi chastyny terytorii Ukrainy (okhorona, vidnovlennia, upravlinnia). Kyiv, 2001. 407 s.

Hryb Y. V., Doctor of Biological Sciences, Professor, Soroka V. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D), Associate Professor, Trotsiuk V. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D) Associate Professor, Voityshyna D. Y. Applicant, Romenskyi M. M., Nogachevskyi Yu. V., Senior Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

WATER PARKS IN THE COMPREHENSIVE SYSTEM OF SPATIAL PLANNING OF WATER PROTECTION ACTIVITIES OF LOCAL COMMUNITIES

Clean water is one of the leading factors in the formation of the demographic situation, the importance of which will increase over the years due to climate warming, steppe formation of the natural environment, and significant evaporation. As a result, the spring period of replenishment of ground and underground water reserves by atmospheric precipitation has decreased by almost an order of magnitude. It should be noted that about 300 l/day is required for human survival. To grow wheat during the growing season, 700 m³/ha of fresh water is required. However, this is only 12% of the water consumed in agriculture and the municipal sector. The absence of spring floods has sharply reduced the mass of water in fish farming and the reproduction of aboriginal ichthyofauna. This is a significant problem in water supply and drainage, which must be solved not only at the state level, but also at the level of local communities.

The aquatic environment and water quality are the main basis for the development of the environment and society. In the modern period, the use of water resources has reached a certain level of development, however, due to the large number of sources of pollution and the need to spend significant funds, a reorientation of nature management and water use is required, since the entire river network of Ukraine has been significantly transformed, and the quality of the aquatic environment requires improvement. Therefore, in order to preserve the natural environment, it is necessary to reorient the urbanization system, especially of rural settlements, with a transfer from farm buildings to centralized radial settlements with a system of water treatment, waste disposal and water reuse in the national economy. This is an indicative direction for the prospects of nature management

in the 21st century, however, in the modern period, the problem of water use and protection of water resources must be solved at the level of rural communities or local self-government bodies. The paper presents the directions of nature management and water use in river basins and the solution of this issue at the community level by organizing water parks.

***Keywords:* aquatic environment; river basin transformation; rural communities; urbanization; recycling; water parks.**

Гриб Й. В., д.б.н., професор, Троцюк В. С., к.с.-г.н., доцент, Войтишина Д. Й., здобувач (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, y.v.hryb@nuwm.edu.ua, v.s.trotsyuk@nuwm.edu.ua)

АКТИВАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПРОТИДІЇ НЕЗВОРОТНОСТІ ЕВОЛЮЦІЇ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Антропогенна трансформація басейнів водних об'єктів у сучасний період антропоцену призвела до корінної перебудови екосистем водного середовища річок і озер, складу аборигенної іхтіофауни і рибопродуктивності поверхневих вод, їх якості. Виникає проблема оцінки змін екологічної ситуації у довкіллі як наслідок об'єктивного процесу розвитку суспільства і побудови планети розуму, чи як результат недопрацювання людства у формуванні півки життя (за В. І. Вернадським).

Очевидно, що тут діє переважно геокліматичний чинник. Так, на вертикалі стратиграфії геологічних порід відслонень Мізоцького кряжу, чітко прослідковуються тисячолітні шари відкладів дрібних радіолярій із подальшою заміною їх шаром мохів при зміні клімату та знову з відновленням шару більш крупніших форм радіолярій з переходом до потужніших шарів глинисто-піщаних відкладів четвертинного періоду, тобто діють часові геокліматичні чинники та тривалість формування сукцесійних змін складу флори і фауни.

В кінці XIX ст. бельгійським палеонтологом Луї Долло було сформульовано емпіричне правило щодо відтворення біологічних видів: «Біологічний вид, якщо в ході еволюції зник з органічного світу Землі, ніколи більше не з'явиться». Однак, органічне життя не зникає раптово, воно зберігається в екологічних нішах. Геологічний чинник доповнюється антропогенним в часовому вимірі. Сучасний розвиток суспільства пов'язаний з корінним перетворенням русел річок, поверхні суходолу, якості середовища, формуванням гарячих точок забруднень у руслах річок після урбанізованих та переосушених територій на заторфованих низинах і заплавах,

розорюванням степів, тобто нині формується багатоступенева ситуація із зміною стану середовища.

Знищення окремих видів живої природи, таких представників водного середовища, як тритон, золотий карась, сазан, форель, можна оцінити як перехідну стадію при активізації процесів формування незворотності еволюції органічного світу у окремих регіонах, які піддаються антропогенним змінам, тобто виникає можливість збереження виду.

Ключові слова: органічний світ; еволюція; антропоцен; водне середовище; аборигенна іхтіофауна.

Вступ. За сучасними світовими нормативами, співвідношення порушених і непорушених територій у Європі має складати 50:50. При цьому водне прісноводне середовище займає 3% земної поверхні. Збалансованість співіснування водного середовища та суходолу має забезпечувати залісненість (лісистість), залугованість та заболоченість. В Україні взято мету заліснити до 60% території, а 6% мали займати болота та перезволожені землі. Водночас саме розораність території України складає 56,7% при деградації лучної заплави і відсутності захисних прибережних смуг. Таким чином, річкова мережа, як судинна система біокосної системи довкілля, не має природного захисту, що веде до замулення русел та старіння річок. Недарма в Україні оголошена Президентська програма заліснення угідь з висадженням 1 млн дерев.

На формування якості водного середовища накладається вплив демографічного навантаження, що зосереджується на урбанізованих територіях і вносить у водне середовище більше 70% шкідливих домішок (скидні комунальні води – 67%, зливові води урбанізованих територій – 17%), що впливає на видовий склад живого трофічного ланцюга – аборигенну іхтіофауну та якість води.

Вагомим чинником впливу на формування якості поверхневих вод і складу живої речовини є вплив глобальних (в тому числі регіональних) осушувальних меліорацій, що веде до обміління малих річок і озер, забруднення продуктами розкладу торфів, зникнення лімнофільних видів риб, зокрема таких аборигенних видів, як в'юн і карась. Виведена зворотна залежність зниження рибопродуктивності поверхневих вод із зростанням площ меліорованих земель. Ще одним чинником впливу на систему органічного світу водного середовища є

літологія підстилаючих порід, зокрема вплив залягання покладів поліметалічних руд та уранових порід, особливо в районах Прип'ятської низовини. Хоча розчинені закисні форми важких металів окислюючись на денній поверхні переходять у окисні, відновні умови на межі водного середовища та мулів формують їх розчинні форми, перевищуючи ГДК на порядки, що особливо відмічається, крім русел річок, у слабо проточних озерах, особливо у оз. Світязь, де водообмін відмічається один раз у вісім років.

Таким чином, сукупність емерджентних наслідків впливів на органічний світ поверхневих вод призвела до деградації складу аборигенної іхтіофауни. Так, раніше лосось із басейну Чорного моря мігрував до середньої течії Десни, а чисельність риби, що йшла на нерест у поліському басейні, була такою, що можна було в зграю риб ставити весло. Також можна було побачити хід риб на нерест з р. Прип'ять до озер у руслі річки Льви, однак він був зупинений русловим шлюзом та слабким русловим стоком.

Очевидно, необхідно зупинитись на концепції екологічних ніш в бічних екотонах річкової мережі – заплавних озерах, старицях, болотах, притоках, заплавних луках як нерестовищах, шляхах міграції, зимувальних ямах і руслових водосховищах. Саме вони і є місцями життєдіяльності аборигенної іхтіофауни і збереження видового різноманіття [1; 2; 3; 7].

Виникає питання: чи на сучасному періоді розвитку суспільства ми ще маємо можливість реабілітації стану еволюції органічного світу, зокрема водного середовища, чи такої можливості немає.

Тобто, поверхня суходолу з урбанізованими територіями є основним джерелом міграції домішок, що впливає на життя органічного світу водного середовища. Таким чином, зважаючи на значну чисельність чинників впливу на живу природу, можливість нашого впливу на стан водного середовища дуже обмежена.

В ситуації, що складається у природному водному об'єкті, лімітуючими чинниками, що впливають на живу органічну речовину, є розчинений кисень, присутність іонів важких металів (Cu^{2+}), механічні домішки (зависі) та мінеральний фосфор, а також органічний вуглець. Однак, функціональними показниками є розчинений кисень та токсичність.

Вивченість проблеми. Інститутом географії НАН України була видана карта якості поверхневих вод. Також вченими

Чернявською А. П., Грибом Й. В., Барановським В. А. та Шищенком П. Г. розроблено мапу стійкості водного середовища до технічних навантажень. Виявляється, що формування «планети розуму», або ноосфери (за Вернадським В. І.), вимагає значних додаткових заходів та досліджень за зниженням навантажень на річково-озерну мережу за стічними водами та поверхневим стоком з метою збереження якості води, як основної складової частини плівки життя. Колективом вчених НУВГП були розроблені рекомендації до методики оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) та видана монографія «Відродження екосистем трансформованих басейнів річок та озер» [7].



Рис. 1. Схема міграції речовин та енергії у врівноваженій екосистемі малої річки

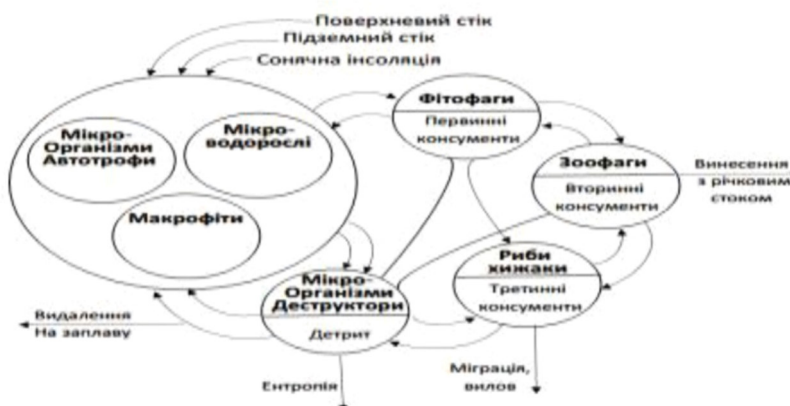


Рис. 2. Схема міграції речовин та енергії в порушеній екосистемі малої річки (надходження стічних вод, зарегулювання)

Мета досліджень. Суспільство у своєму розвитку дійшло до межі незворотності. Реалізація компенсаційних заходів з відтворення аборигенної іхтіофауни, збереженої у природних локалітетах річково-озерної мережі, створює передумови для відновлення синергетичних умов формування біорізноманіття та підвищення рибопродуктивності водних екосистем.

Об'єкти досліджень. Малі річки та озера півночі України – водне середовище природних і штучних водних екосистем.

Методика досліджень. Стан екосистем водних басейнів території України вивчали за методикою д.б.н. Гриба Й.В. із співавторами [1; 6]. Додатково запроваджено з блоку фізико-хімічних характеристик вміст механічних домішок, враховуючи зростаючу замуленість поверхневого стоку з урбанізованих територій та сільськогосподарських угідь. Іхтіологічну ситуацію в річковій мережі вивчали під час літніх експедиційних досліджень та за матеріалами рибінспекції.

Процеси незворотної еволюції органічного світу водного середовища вивчали за обмілінням річково-озерної мережі, процесами деградації болотних масивів природного та антропогенного походження, трансформацією русел малих річок, зниженням видового різноманіття та рибопродуктивності аборигенної іхтіофауни. Старіння озер вивчали за приростом дна, а осушених торфових масивів – за зниженням рівня денної поверхні.

Наукова новизна. Вперше досліджено співвідношення впливів антропогенних чинників на буферну ємність підсистем водного середовища України та формування плівки життя у сучасний період. Показана необхідність співіснування водного середовища та суспільства, а також необхідність збереження і реабілітації порушених водних екосистем.

Результати досліджень. Основною причиною деградації складу аборигенної іхтіофауни є порушення стану та умов зони мешкання: вміст розчиненого кисню, порушення кормової бази, умов відтворення та зниження чисельності популяцій, якості води.

Річкова мережа є зоною ризику через невідповідність якості води рибоводним нормативам, що не дає можливості відтворення популяцій. Це замулення зимувальних ям – основи для збереження маточного поголів'я, та порушення екосистеми «русло – заплава», де

заплава є природним нерестовищем, місцем для очищення поверхневого стоку води та формування живого корму.

Умовою виживання виду є наявність екологічних ніш, в основному руслових ям в гирлах приток, русла яких не піддаються антропогенним впливам. Найбільш відомі збережені екотони – це гирло нетрансформованої річки Чакви (притоки р. Горинь), природне нерестовище в створі смт Деражне, заплавно-озерна система в створах населених пунктів Дубровиця – Висоцьк, гирло і заплава річки Случ в створах сіл Колки і Заслуччя.

В процесі розвитку суспільства на водне середовище зверталось мало уваги, що призвело до його деградації та зниження видового різноманіття іхтіофауни та рибопродуктивності (з 20–30 видів до 4–5 видів смітної риби).

Людство повинно зупинитись у своєму наступі на природу, визначити червону лінію, за якою настане незворотність відродження біосфери, а принцип ноосфери – планети розуму, не протирічить основам еволюції органічного світу.

Планета розуму – це гармонія природного середовища людства. Чисті ріки, рибні ресурси, збережені в процесі еволюції, проміжні водні екотони на суходолі. Необхідно вчитись у природи і дотримуватись правил співіснування. За порушення правил співжиття з водним середовищем необхідно буде платити – за чисту воду, за середовище мешкання.

Якщо розглядати водну екосистему у чотиривимірному просторі: за профілем, за заплавою, за вертикальною складовою (поверхня – дно) та часом існування, то перший і третій вимір сьогодні відіграє від'ємну роль, працює другий вимір (за заплавами екотонами), часовий вимір вказує на тривалість виживання чутливих до кисневого режиму видів у дикій природі. У планеті розуму залишається прийняти надзвичайні заходи зі збереження залишків видового різноманіття аборигенної іхтіофауни. Для постачання людству тваринного білка необхідно розширити штучні локалітети відтворення у верхів'ях приток річок за рахунок фермерських та рибоводних господарств, адже для отримання тваринного білка витрачається біля третини валового збору зерна.

Сучасна екологічна ситуація на території України створює несприятливе співвідношення порушених і непорушених територій, а

також зростаючу питому вагу домішок у поверхневих водах, що обумовлює погіршення якості води (рис. 3).

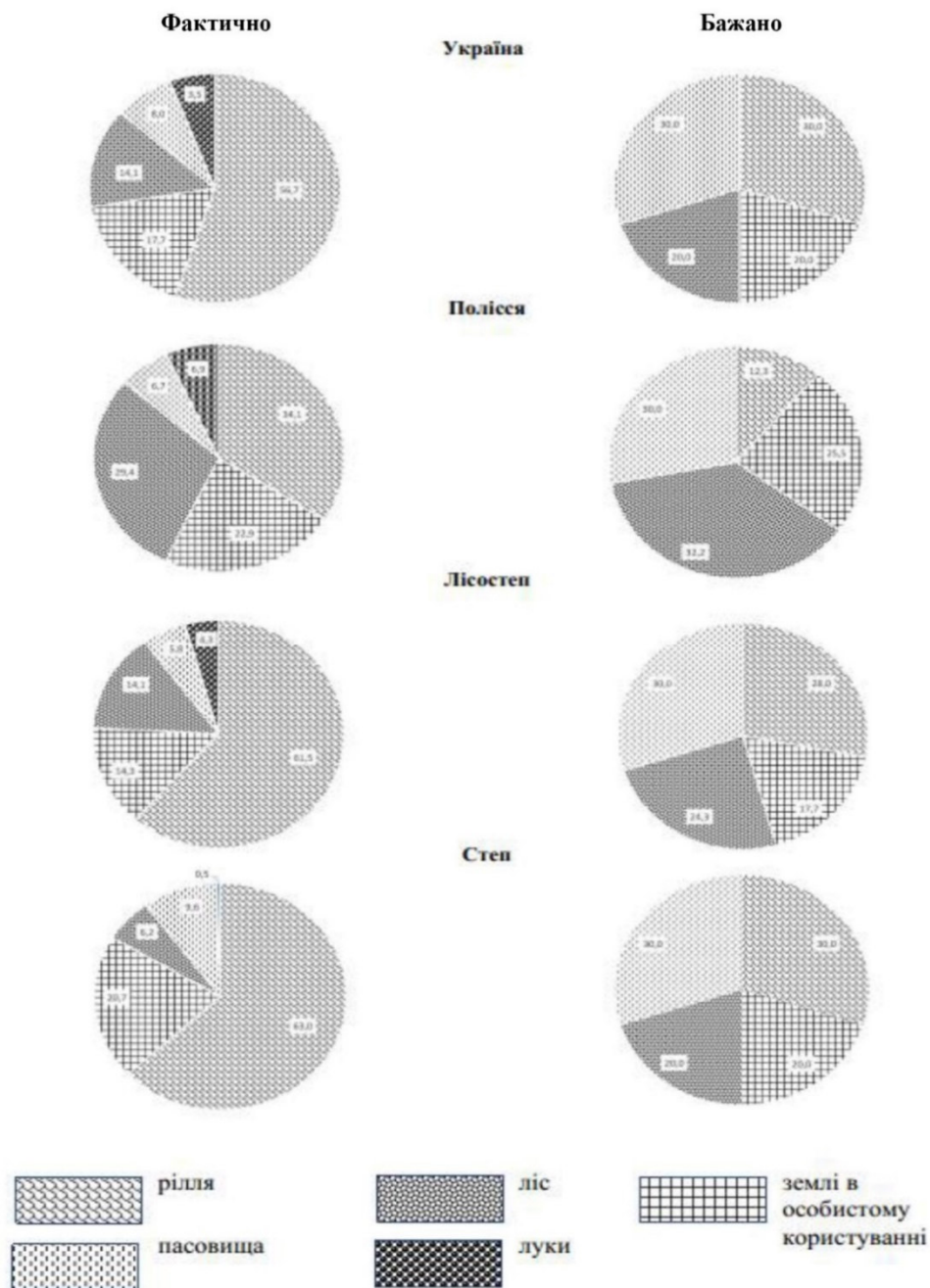


Рис. 3. Формування поверхні водозбору території України

Ще гіршу ситуацію формує питома вага домішок, що впливають на стан поверхневих вод, тобто необхідна корінна перебудова у системі охорони поверхневих вод і збереженні якості водного середовища (таблиця).

Таблиця

Питома вага складових компонентів забруднень річкового стоку на території України

Компоненти річкового стоку	Питома вага за елементами забруднення						Середні значення
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	
Стічні води	0,810	0,540	0,470	0,500	0,070	0,335	0,466
Поверхнево-схилловий стік з непорушених територій	0,007	0,005	0,010	0,040	0,009	0,100	0,028
Поверхнево-схилловий стік з сільськогосподарських угідь	0,118	0,435	0,480	0,220	0,169	0,380	0,300
Зливовий стік з урбанізованих територій	0,065	0,020	0,040	0,240	0,751	0,185	0,216

Примітка: α_1 – внесення азоту амонійного; α_2 – внесення азоту загального; α_3 – внесення фосфору мінерального; α_4 – внесення органічного вуглецю; α_5 – внесення завислих речовин; α_6 – внесення токсичних домішок.

Старіння водного середовища річок та озер як ознака циклічності змін стану довкілля. Старіння водних об'єктів спостерігається в результаті наступних процесів:

- а) дренавання річкової та озерної води у переосушену торфову заплаву;
- б) випаровування;
- в) забір води вище екологічної ємності для зрошення;
- г) транспірація вологи фітомасою вищої водної рослинності;
- д) непередбачувані наслідки впливу господарської діяльності людини (емерджентні наслідки).

Як наслідок маємо:

а) обміління озер, спрацювання болотної заплави, її повторне заболочування;

б) зниження водності річок або відсутність річкового стоку, поширення заростання водного дзеркала вищою водною рослинністю – лататтям, рогозом, очеретом, тілорізом та ін.;

в) зниження чисельності або відсутність аборигенних видів риб, каналізування русел.

Нами виділені наступні фази старіння річкових русел:

1. Фаза стагнації течії – швидкість води нижче швидкості осідання зважених речовин ($< 0,1$ м/с) – спостерігається розвиток макрофітів: елодеї канадської, куширу зануреного, очерету та рясок у заплаві;

2. Фаза заболочування прибережної зони – утворення сплавин за рахунок вовчого тіла болотного, бобівника трилистого, очерету, рогозу; підняття рівня дна до 3 см в рік;

3. Фаза перекриття поверхні водного дзеркала суцільним шаром рослинності, локально – верболозом;

4. Фаза локального заліснення, поява ділянок карликової берези, сосни, розростання журавлини на купинах, залишки плес болотної води, тобто спостерігається перехід сукцесій рослинності від болотно-лучної до лісової та суходолу.

Особливо проявляються процеси старіння при включенні річок у системи регулювання стоку. Так, через протікання верхів'я річки Прип'ять через руслове оз. Любязь, зарегулювання р. Трубіж та русла р. Льви, їх водне середовище знаходиться у третій фазі старіння.

Старіння озер басейну р. Прип'ять та Шацьких озер обумовлені історичним процесом обміління за рахунок випаровування, а також пониженням рівня ґрунтових вод внаслідок осушувальних меліорацій [3; 9].

У дев'яти озерах Шацької групи середня глибина не перевищує 1 м, вони поступово заростають, повільно перетворюючись у болото, яким стануть через 30–40 років. Озеро Линовець за останні роки зменшило площу водного дзеркала вдвічі [2; 3].

Крім існуючих процесів формування і старіння озер за Тутковським А.П. [9], всі заплавні польодовикові озера приречені на вимирання. Цей процес прискорює людська діяльність.

Висновки. 1. Заплавні мілководні озера в процесі старіння в історичному плані перетворюються на заболочені території та болота

з деградацією складу іхтіофауни. Їх можна використовувати як кормові території для аборигенної іхтіофауни з влаштуванням штучних фантомних озер (за аналогом з оз. Скорень), або запровадити механічне видалення мулів та омолодження екосистеми. 2. Відродження річкових екосистем країни можливе при забезпеченні третинного доочищення комунальних та зливових вод з урбанізованих територій та припинення замулення русел. 3. Замулення водних артерій можливо попередити через влаштування прибережних захисних смуг водоохоронних зон, відродження заплавних луків та запровадження контурно-меліоративної системи землеробства. 4. Необхідно відновити заплавні проміжні екотони річкової мережі та сполучення їх з основним руслом, як основної можливості відтворення генетичної бази аборигенних видів риб, та очищення русел від мулу під час повені. 5. В кожному басейні річки потрібно запровадити еталонну природну притоку, як основу відродження іхтіофауни дикої природи. 6. В кожній громаді в системі аквапарків запровадити професію русловика по нагляду за водними об'єктами місцевого значення. 7. За ознаками деградації природного середовища ми проглядаємо «скіфський синдром», тобто збіднення степової рослинності, зменшення продуктивності водного середовища та чисельності населення. 8. За відсутності заходів з реабілітації стану водного середовища ми спостерігатимемо прискорення процесів його трансформації, зростання впливу потепління клімату планети та активізацію циклічних геологічних процесів. 9. В сучасний період розвитку людство має змогу призупинити можливість реалізації закону незворотності еволюції органічного світу водного середовища, зупинити процес активізації проходження незворотних змін, включитись в реалізацію світової програми охорони природи.

1. Гриб Й. В., Клименко М. О., Сондак В. В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем. Рівне : Волинські обереги, 1999. Т. 1. 347 с. 2. Шевчук М. Й., Юрчук П. В., Горун А. А. Екологічний стан озерних екосистем Волині та основні напрямки його покращення. *Науковий вісник Волинського НУ ім. Л. Українки*. Луцьк, 2009. № 1. С. 188–191. 3. Колошко Л. К., Зузук Д. В. Меліоративне осушення в межах Шацького НПП та охорона водно-болотних угідь. *Науковий вісник Волинського НУ ім. Л. Українки*. Луцьк, 2009. № 1. С. 191–195. 4. Практична стратиграфія. Л. : Надра, 1984. 286 с. 5. Протасов О. О. Екосистеми світу в структурі біосфери. К. : Академперіодика, 2017. 382 с. 6. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Романенко В. Д. та ін. К. : Символ-Т, 1998. 28 с. 7. Гриб Й. В.,

Клименко М. О., Сондак В. В., Гринюк В. І., Войтишина Д. Й. Відродження екосистем трансформованих басейнів річок та озер (Рекомендації до розробки ОВНС) : монографія / за ред. д.б.н., професора Й. В. Гриба. Рівне : НУВГП, 2012. 246 с. **8.** Малі річки України : довідник (за редакцією А. В. Яцика). К., 1999. 250 с. **9.** Тутковський П. А. Послетретичные озера в северном Полесье Волынской губернии. *Труды общества исследователей Волыни*. Житомир, 1912. Т. 10.

REFERENCES:

1. Hryb Y. V., Klymenko M. O., Sondak V. V. Vidnovna hidroekolohiia porushenykh richkovykh ta ozernykh system. Rivne : Volynski oberehy, 1999. T. 1. 347 s.
2. Shevchuk M. Y., Yurchuk P. V., Horun A. A. Ekolohichniy stan ozernykh ekosystem Volyni ta osnovni napriamky yoho pokrashchennia. *Naukovyi visnyk Volynskoho NU im. L. Ukrainky*. Lutsk, 2009. № 1. S. 188–191.
3. Koloshko L. K., Zuzuk D. V. Melioratyvne osushennia v mezhakh Shatskoho NPP ta okhrona vodno-bolotnykh uhid. *Naukovyi visnyk Volynskoho NU im. L. Ukrainky*. Lutsk, 2009. № 1. S. 191–195.
4. Praktychna stratyhrafiiia. L. : Nadra, 1984. 286 s.
5. Protasov O. O. Ekosystemy svitu v strukturi biosfery. K. : Akadempriodyka, 2017. 382 s.
6. Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnymy katehoriiami / Romanenko V. D. ta in. K. : Symvol-T, 1998. 28 s.
7. Hryb Y. V., Klymenko M. O., Sondak V. V., Hryniuk V. I., Voityshyna D. Y. Vidrodzhennia ekosystem transformovanykh basiniv richok ta ozer (Rekomendatsii do rozrobky OVNS) : monohrafiia / za red. d.b.n., profesora Y. V. Hryba. Rivne : NUVHP, 2012. 246 s.
8. Mali richky Ukrainy : dovidnyk (za redaktsiieiu A. V. Yatsyka). K., 1999. 250 s.
9. Tutkovskiy P. A. Posletretychnye ozera v severnom Polese Volynskoi hubernyy. *Trudy obshchestva yssledovatelei Volyny*. Zhytomyr, 1912. T. 10.

Hryb Y. V., Doctor of Biological Sciences, Professor, Trotsiuk V. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D), Associate Professor, Voityshyna D. Y., Applicant (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ACTIVATION OF COUNTERACTION PROCESSES AGAINST THE IRREVERSIBILITY OF EVOLUTION OF THE ORGANIC WORLD IN THE AQUATIC ENVIRONMENT OF WESTERN POLISSIA, UKRAINE

Anthropogenic transformation of water bodies basins in the

modern period of the Anthropocene has led to a radical restructuring of the ecosystems of the aquatic environment of rivers and lakes, the composition of the aboriginal ichthyofauna and fish productivity of surface waters, their quality. The problem arises of assessing changes in the ecological situation in the environment as a consequence of the objective process of development of society and the construction of the planet of reason, or as a result of the imperfection of humanity in the formation of the film of life (according to V. I. Vernadskyi).

It is obvious that the geoclimatic factor is mainly at work here. Thus, on the vertical stratigraphy of geological rocks of the Mizoch ridge outcrops, millennial layers of small radiolarian deposits are clearly traced, with their subsequent replacement by a layer of mosses during climate change and again with the restoration of a layer of larger radiolarian forms with the transition to thicker layers of clayey-sandy deposits of the Quaternary period, i.e. temporal geoclimatic factors and the duration of the formation of successional changes in the composition of flora and fauna are at work.

At the end of the 19th century, the Belgian paleontologist Louis Dollo formulated an empirical rule regarding the reproduction of biological species: "A biological species, if it has disappeared from the organic world of the Earth in the course of evolution, will never appear again". However, organic life does not disappear suddenly, it is preserved in ecological niches. The geological factor is supplemented by the anthropogenic factor in time. The modern development of society is associated with the radical transformation of river beds, the land surface, and the quality of the environment, the formation of pollution hotspots in river beds after urbanized and over-drained territories in peaty lowlands and floodplains, and the plowing of steppes, i.e. a multi-stage situation with a change in the state of the environment is being formed.

The destruction of certain species of wildlife, such representatives of the aquatic environment as newt, golden crucian carp, carp, trout, can be assessed as a transitional stage in the activation of the processes of forming the irreversibility of the evolution of the organic world in certain regions that are subject to anthropogenic changes, that is, the possibility of preserving the species arises.

Keywords: organic world; evolution; Anthropocene; aquatic environment; aboriginal ichthyofauna.

УДК 631.423

<https://doi.org/10.31713/vs220256>

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), **Пасічняк В. І., директор** (Південно-Західний міжрегіональний центр державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», с. Агрономічне Вінницької обл., ORCID: 0000-0002-4144-261X), **Грищенко О. М., к.с.-г.н., учений секретар** (Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, ORCID: 0000-0002-1241-7183), **Колесник Т. М., к.с.-г.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, t.m.kolesnyk@nuwm.edu.ua)

СТАН РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОНИ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Наведено основні показники родючості ґрунту за результатами проведення агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення Лісостепової зони Чернівецької області у XI турі (2016–2020 рр.). Встановлено, що за кислотністю ґрунтового розчину в Лісостеповій зоні області переважають землі близькі до нейтральних (32,9%) та нейтральні (49,9%). Середньозважений показник рН сольове – 6,1. За рівнем забезпечення гумусу переважають ґрунти з середнім його вмістом (67,6%), а середньозважений уміст гумусу по Лісостеповій зоні області становить 2,6%. За вмістом азоту, що легко гідролізується найбільше земель мають дуже низький (61,3%) та низький його вміст (35,8%). Середньозважений показник умісту азоту, що легко гідролізується становить 102,4 мг/кг ґрунту. В Лісостеповій зоні Чернівецької області переважають землі з підвищеним вмістом рухомих сполук фосфору (35,8%), а середньозважений показник умісту рухомих сполук фосфору становить 130,7 мг/кг. За вмістом рухомих сполук калію переважають землі з дуже високим його вмістом (63,3%), за середньозваженого показника 197,9 мг/кг ґрунту. Встановлено, що в районах Лісостепової зони Чернівецької області найбільшу площу займають ґрунти середньої якості (67,7%), а середньозважена оцінка якості становить 56. Здійснено порівняння якісної оцінки ґрунтів Лісостепової зони Чернівецької

області за X (2011–2015 рр.) та XI тури (2016–2020 рр.) агрохімічних обстежень. Результатами встановлено, що якісна оцінка стану ґрунтів Лісостепової зони покращилася.

Ключові слова: моніторинг; агроекологічне обстеження; кислотність; бал бонітету; якісна оцінка ґрунтів.

Постановка проблеми. Важливою проблемою в агросекторі нашої держави є раціональне використання і охорона ґрунтів, адже внаслідок недостатнього внесення мінеральних та органічних добрив, недотримання науково-обґрунтованих сівозмін відбувається виснаження та деградація ґрунтів [1]. Для здійснення державного контролю за зміною показників еколого-агрохімічного стану ґрунтів, збереження та відтворення родючості ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення відповідно до Закону України «Про охорону земель» [2] в Україні здійснюється еколого-агрохімічна паспортизація земель сільськогосподарського призначення з періодичністю один раз на 5 років. За результатами досліджень XI туру досліджень (2016–2020 рр.) встановлено агрохімічну та еколого-агрохімічну оцінки ґрунтів Лісостепової зони Чернівецької області.

Дані про еколого-агрохімічний стан ґрунтів та якісну оцінку їх стану дозволяють оцінити їх потенційну родючість, розробити заходи щодо раціонального їх використання та запобігти виснаженню та деградації ґрунтів [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Балюк С. А. зі співавторами зазначають, що ґрунтові ресурси є основою розвитку аграрного сектору економіки нашої держави. Україна володіє унікальними ґрунтовими ресурсами, адже близько 60% ріллі зайнято чорноземними ґрунтами [4]. На сьогодні більшість рослинницької продукції в Україні одержують за рахунок інтенсивного використання родючості ґрунтів, насамперед чорноземів. Якщо не змінити підходи до ведення землеробства, то відбудеться поступова деградація родючих ґрунтів. Тому необхідно запроваджувати ґрунтозберігаючі технології, адже після певної межі погіршення показників ґрунти можуть стати неродючими [5].

Яцук І. П. зі співавторами зазначають, що в Україні існує реальна загроза виснаження ґрунтового покриву та посилення деградаційних процесів, зокрема дегуміфікації, підкислення, водної ерозії і дефляції,

переушільнення, що відбуваються внаслідок недотримання або спрощення технологій обробітку ґрунту [6].

Для розв'язання проблеми відтворення родючості ґрунтів необхідна інформація про оцінку якості земель. Показники еколого-агрохімічної оцінки ґрунтів використовуються для прогнозу і своєчасного запобігання деградаційним процесам, охорони й раціонального використання земель [7–8].

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень було обстеження земель сільськогосподарського призначення та здійснення комплексної якісної оцінки агроекологічного стану ґрунтів Лісостепової зони Чернівецької області за XI тур досліджень (2016–2020 роки).

Чернівецьким регіональним центром державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» проведено дослідження ґрунтів Лісостепової зони Чернівецької області по визначенню реакції ґрунтового розчину, вмісту гумусу, азоту, що легко гідролізується, рухомих сполук фосфору та калію [9–13]. Дослідження проводилися за методами, визначеними Методикою проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [14].

За період з 2016 до 2020 років Чернівецьким регіональним центром державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» було обстежено 117,74 тис. гектарів земель сільськогосподарського призначення Лісостепової зони Буковини у Кіцманському, Заставнівському, Хотинському, Новоселицькому, Сокирянському та Кельменецькому районах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Реакція ґрунтового розчину відіграє важливу роль в розвитку рослин, ґрунтових мікроорганізмів та впливає на хімічні та біохімічні процеси у ґрунті. Тому важливим є отримання достовірної інформації про ступінь кислотності ґрунту [3].

За результатами досліджень кислотності ґрунтового розчину (рН сольове) обстежені землі Лісостепової зони Чернівецької області розподіляються наступним чином (рис. 1): дуже сильно кислі ґрунти з рН менше 4,0 відсутні, сильно кислих земель з рН 4,1–4,5 – 0,007 тис. га, що складає 0,01% від обстеженої площі земель, середньо-кислих (рН 4,6–5,0) – 2,96 тис. га (2,5%), слабо-кислих (рН 5,1–5,5) – 13,35 тис. га (11,3%), близьких до нейтральних (рН 5,6–6,0) – 38,75 тис. га (32,9%), нейтральних (рН 6,1–7,0) – 58,72 тис. га (49,9%), слаболужних (рН 7,1–

7,5) – 3,85 тис. га (3,3%) та середньо-лужних (pH 7,6–8,0) – 0,10 тис. га (0,1%). Середньозважений показник pH сольове у XI турі обстежень (2016–2020 рр.) – 6,1, що відповідає нейтральній реакції ґрунтового розчину.

В порівнянні із попереднім туром обстеження середньозважений показник pH зріс на 0,15 одиниць. Сильнокислі землі було виявлено у Новоселицькому районі, а середньолужні – у Кіцманському районі.

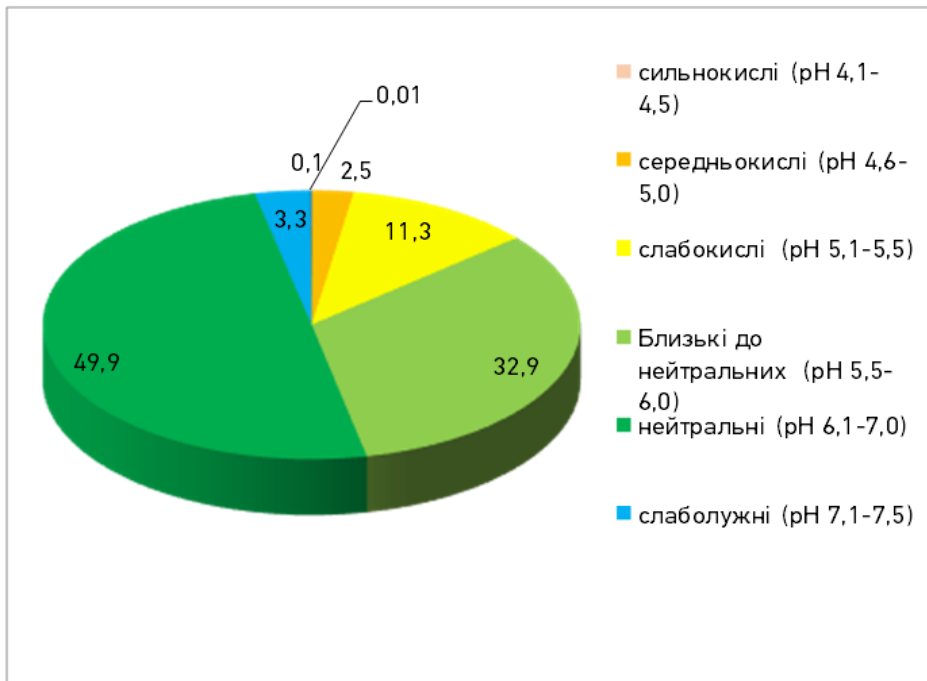


Рис. 1. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Лісостепової зони Чернівецької області за реакцією ґрунтового розчину, %

Вміст гумусу є одним з основних параметрів родючості ґрунтів. Значення гумусу полягає в тому, що він є основою вологоємності ґрунту, активізує біохімічні та фізіологічні процеси, посилює обмін речовин, а також сприяє посиленому надходженню елементів живлення [3].

За досліджуваний період обстежені землі Лісостепової зони Чернівецької області за умістом гумусу розподілилися наступним чином: з дуже низьким умістом гумусу – відсутні, із низьким – 13,10 тис. га (11,1%), з середнім – 79,54 тис. га (67,6%), із підвищеним – 18,10 тис. га (15,4%), з високим – 5,30 тис. га (4,5%) та з дуже високим

– 1,70 тис. га (1,4%). Таким чином переважають ґрунти із середнім умістом гумусу (рис. 2).



Рис. 2. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Лісостепової зони Чернівецької області за умістом гумусу, %

Середньозважений уміст гумусу по районах Лісостепової зони Чернівецької області становить 2,59%. В порівнянні з попереднім туром обстеження середньозважений уміст гумусу зменшився на 0,04%. Незначне зменшення умісту гумусу може бути пов'язане з зменшенням обсягів застосування органічних добрив.

Азот є важливим елементом живлення рослин, який визначає темпи росту й розвитку рослин та врожайність культур. Азот є складовою частиною амінокислот, білків, хлорофілу та ферментів, без яких неможливе утворення нових клітин, а відповідно продуктивний ріст та розвиток рослин [3].

За умістом азоту, що легко гідролізується площа обстежених земель Лісостепової зони Чернівецької області розподіляється наступним чином: земель з дуже низьким умістом азоту – 72,19 тис. га (61,3%), із низьким – 42,07 тис. га (35,8%), із середнім – 0,01 тис. га (0,01%) та з підвищеним – 3,47 тис. га (2,9%) (рис. 3). Середньозважений показник умісту азоту, що легко гідролізується за звітний період становить 102,4 мг/кг ґрунту. При порівнянні з попереднім туром обстеження середньозважений показник умісту

азоту, що легко гідролізується за звітний період збільшився на 2,8 мг/кг.



Рис. 3. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Лісостепової зони Чернівецької області за умістом азоту, що легко гідролізується, %

Фосфор у ґрунті є одним з головних макроелементів, які необхідні для нормального росту та розвитку рослин. Від рівня засвоєння цього елемента живлення залежать всі енергетичні та обмінні процеси у клітинах, а також фосфор забезпечує розвиток кореневої системи, що сприяє ефективному засвоєнню води та поживних речовин [3].

За результатами агрохімічного обстеження землі сільськогосподарського призначення Лісостепової зони Чернівецької області за умістом рухомих сполук фосфору розподіляються наступним чином: з дуже низьким умістом – 0,40 тис. га (0,3%), із низьким умістом – 2,92 тис. га (2,5%), із середнім – 32,85 тис. га (27,9%), з підвищеним – 42,16 тис. га (35,8%), з високим – 27,77 тис. га (23,6%) та з дуже високим – 11,65 тис. га (9,9%) (рис. 4). Середньозважений показник умісту рухомих сполук фосфору становить 130,7 мг/кг. В порівнянні з попереднім туром обстеження середньозважений показник умісту рухомих сполук фосфору збільшився на 8,0 мг/кг, що зумовлено збільшенням норм внесення фосфорних добрив.

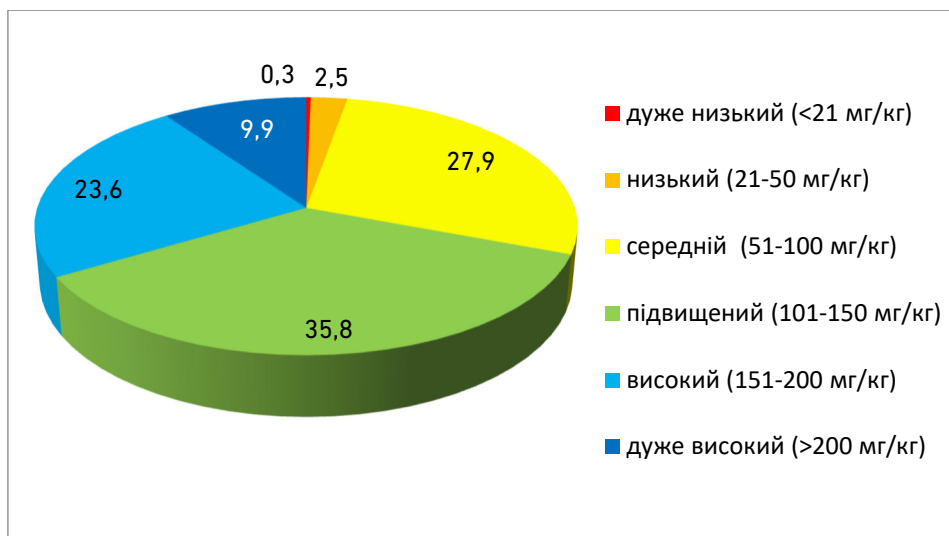


Рис. 4. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Лісостепової зони Чернівецької області за умістом рухомих сполук фосфору, %

Калій є одним з ключових елементів живлення рослин. Він відіграє надзвичайно важливу роль у фізіологічних процесах та формуванні високоякісного врожаю, адже калій регулює водний баланс рослини, підвищує стійкість до посухи, морозів та хвороб, а також сприяє синтезу білків і вуглеводів [3].

За результатами агрохімічного обстеження землі сільськогосподарського призначення Лісостепової зони Чернівецької області за умістом рухомих сполук калію розподіляються наступним чином: з дуже низьким умістом та низьким умістом – відсутні. Із середнім умістом – 0,50 тис. га (0,4%), з підвищеним – 10,87 тис. га (9,2%), з високим – 31,84 тис. га (27,0%), з дуже високим – 74,51 тис. га (63,3%) (рис. 5). Середньозважений показник умісту рухомих сполук калію становить 197,9 мг/кг. В порівнянні з попереднім туром обстеження середньозважений показник умісту рухомих сполук калію збільшився на 18,3 мг/кг, що зумовлено збільшенням норм внесення калійних добрив.

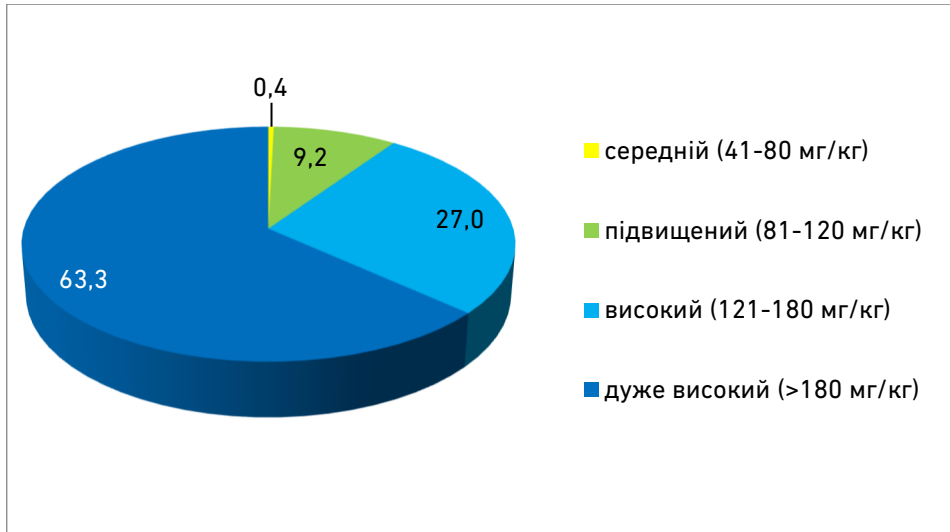


Рис. 5. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Лісостепової зони Чернівецької області за умістом рухомих сполук калію, %

Інформація про еколого-агрохімічний стан ґрунтів має важливе значення при виборі культур для вирощування, при визначенні норм внесення добрив та необхідності проведення заходів меліорації ґрунту, через що є основою для раціонального природокористування та екологічної безпеки. Тому було встановлено агрохімічну та еколого-агрохімічну оцінку ґрунтів Лісостепової зони Чернівецької області за XI тур досліджень (2016–2020 рр.).

Згідно з розподілом за шкалою якості (рис. 6) лише 0,35 тис. га (0,3%) обстежених земель сільськогосподарського призначення Лісостепової зони Чернівецької області належать до III класу земель високої якості, 31,00 тис. га (26,3%) – до IV класу земель високої якості. Найбільшу площу займають ґрунти середньої якості: до V класу якості належать 57,50 тис. га (48,8%) та до VI класу якості – 22,20 тис. га (18,9%). До VII класу низької якості ґрунтів належать 6,70 тис. га (5,7%) земель. Середній бал по районах Лісостепової зони Чернівецької області 56, що відповідає V класу земель середньої якості. В порівнянні з попереднім туром еколого-агрохімічного обстеження середній бал по районах Лісостепової зони області збільшився з 51 до 56, що пов'язано зі збільшенням норм внесення фосфорних та калійних добрив та зростанням обсягів застосування елементів біологізації землеробства.

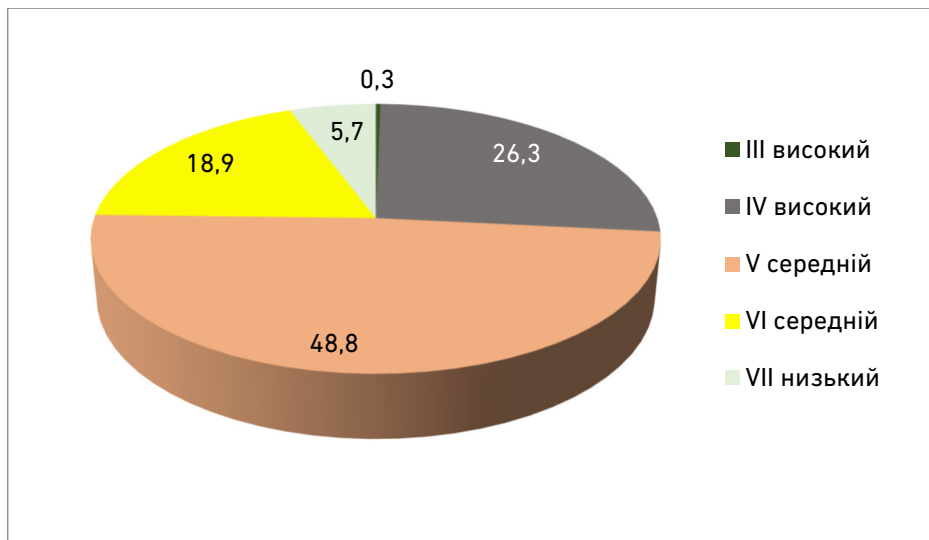


Рис. 6. Розподіл площ обстежених сільськогосподарських угідь Лісостепової зони Чернівецької області за агроекологічними балами якості, %

Згідно з шкалою агроекологічної оцінки якості сільськогосподарських земель за розрізом районів Лісостепової зони Чернівецької області ґрунти Сокирянського району розподілились таким чином: 0,4 тис. га (1,8%) належать до VII групи низької якості; 5,5 тис. га (25,3%) – до VI класу середньої якості та 15,5 тис. га (71,4%) – до V класу середньої якості. Середній бал по району – 53.

Землі Хотинського району розподілились таким чином: 0,5 тис. га (3,5%) належать до VII класу низької якості; 2,5 тис. га (17,5%) – до VI класу середньої якості; 7,1 тис. га (49,6%) – до V класу середньої якості й 4,2 тис. га (29,4%) – до IV класу високої якості земель. Середній бал по району – 56.

Ґрунти Новоселицького району розподілились наступним чином: 0,2 тис. га (0,7%) належать до VI класу середньої якості; 15,3 тис. га (55,2%) – до V класу середньої якості; 11,9 тис. га (43,0%) – до IV класу високої якості земель та 0,3 тис. га (1,1%) – до III класу земель високої якості. Середній бал по району – 59.

Землі Заставнівського району розподілились так: 3,8 тис. га (17,2%) належать до VI класу середньої якості; 10,3 тис. га (46,6%) – до V класу середньої якості; 8,0 тис. га (36,2%) – до IV класу високої якості. Середній бал по району – 55.

Серед обстежених земель Кіцманського району 0,3 тис. га (2,5%) належать до VI класу середньої якості, 5,4 тис. га (45,1%) – до V класу середньої якості; 6,2 тис. га (51,9%) – до IV класу високої якості та 0,05 тис. га (0,4%) – до III класу високої якості земель. Середній бал по району – 57.

У Кельменецькому районі 5,8 тис. га (29%) належать до VII класу ґрунтів низької якості; 9,9 тис. га (4,5%) – до VI класу середньої якості; 3,9 тис. га (19,5%) – до V класу середньої якості та 0,4 тис. га (2,0%) належать до IV класу високої якості. Середній бал по району – 53.

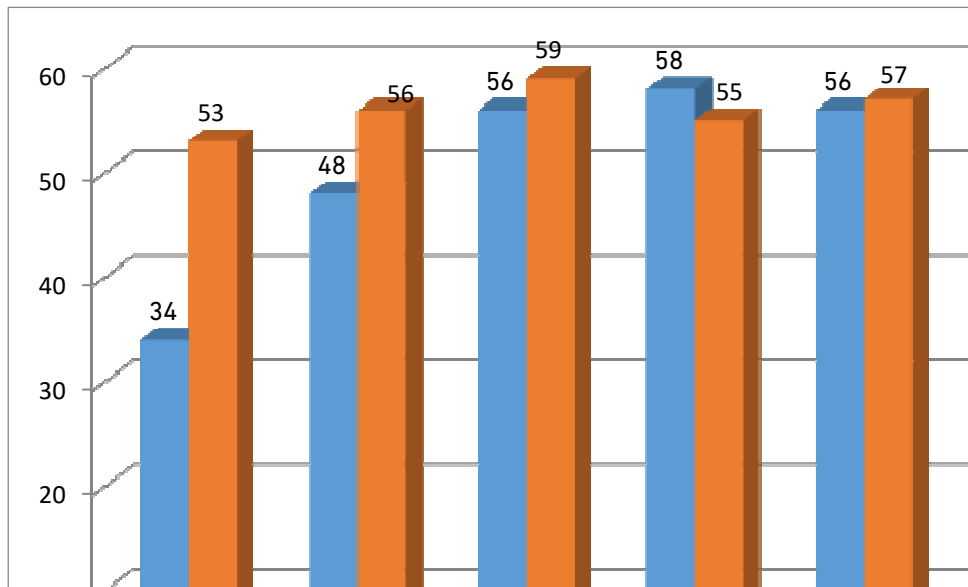


Рис. 7. Динаміка якісної оцінки сільськогосподарських угідь Лісостепової зони Чернівецької області за X та XI тури агрохімічних обстежень

Результати порівняння якісної оцінки ґрунтів Лісостепової зони Чернівецької області за X (2011–2015 рр.) та XI тури (2016–2020 рр.) агрохімічних обстежень свідчать (рис. 7), що у Кельменецькому та Кіцманському районах якість ґрунтів майже не змінилась (+1 бал). На 3 бали покращилася якісна оцінка ґрунтів Новоселицького району. Суттєво покращилася якісна оцінка стану ґрунтів Хотинського (+8 балів) та Сокирянського (+19 балів) районів. Зниження показників якості ґрунтів зафіксовано у Заставнівському районі (-3 бали).

Висновки. Результатами агрохімічних обстежень земель сільськогосподарського призначення Лісостепової зони Чернівецької області встановлено, що за кислотністю ґрунтового розчину

переважають землі близькі до нейтральних (32,9%) та нейтральні (49,9%). За рівнем забезпечення гумусу переважають ґрунти з середнім його вмістом (67,6%) за середньозваженого показника 2,6%. За вмістом азоту, що легко гідролізується найбільше земель мають дуже низький (61,3%) та низький його вміст (35,8%), а середньозважений показник забезпеченості азотом становить 102,4 мг/кг. В Лісостеповій зоні Чернівецької області переважають землі з підвищеним вмістом рухомих сполук фосфору (35,8%), а середньозважений вміст даного елемента складає 130,7 мг/кг ґрунту. За вмістом рухомих сполук калію переважають землі з дуже високим його вмістом (63,3%) за середньозваженого показника 197,9 мг/кг ґрунту. Встановлено, що в Лісостеповій зоні Чернівецькій області найбільшу площу займають ґрунти середньої якості: землі V класу якості (48,8%) та VI класу якості (18,9%). В середньому сільськогосподарські угіддя Лісостепової зони Чернівецької області за шкалою агроекологічної оцінки мають 56 балів, що відповідає V класу земель середньої якості. Результати порівняння якісної оцінки ґрунтів Лісостепової зони Чернівецької області свідчать, що стан ґрунтів в порівнянні з попереднім туром агрохімічних обстежень покращився.

1. Грищенко О. М., Запасний В. С., Ярмоленко Є. В., Шило Л. Г. Динаміка родючості ґрунтів Переяслав-Хмельницького району Київської області. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 3. С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2019.183469>. 2. Про охорону земель : Закон України від 19.06.2003 р. № 962-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>. (дата звернення: 10.05.2025). 3. Зайцев Ю. О., Гунчак М. В., Романова С. А. Стан родючості ґрунтів Чернівецької області. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 4. С. 66–75. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273250>. 4. Балюк С. А., Мірошніченко М. М., Медведєв В. В. Наукові засади сталого управління ґрунтовими ресурсами України. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 11. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-01>. 5. Балаєв А. Д., Ковальчук О. П., Гаврилюк М. В., Стопа В. П. Родючість ґрунтів Лісостепу України за різної інтенсивності їх використання. *Наукові праці*. 2011. № 140 (152). С. 63–65. DOI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue_2011_152_140_16. 6. Яцук І. П., Моклячук Л. І., Ліщук А. М., Романова С. А. Інноваційний розвиток сільського господарства за використання індикаторів «зеленого зростання». *Агроекологічний журнал*. 2019. № 2. С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174011>. 7. Булигін С. Ю., Вітвіцький С. В., Кучер Л. І., Вітвіцька О. І. Концепція оцінки якості та охорони

земель в Україні. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. № 11(2). С. 30–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.02.030>. **8.** Балюк С. А., Медведєв В. В., Воротинцева Л. І., Шимель В. В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>. **9.** ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005–07–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 10 с. **10.** ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. [Чинний від 2005–07–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 9 с. **11.** ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (62879). [Чинний від 2009–10–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 8 с. **12.** ДСТУ 7863:2015. Визначення легкогідролізованого азоту методом Корнфілда. Якість ґрунту. [Чинний від 2016–07–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2015. 12 с. **13.** ДСТУ 4115:2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. [Чинний від 2003–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 9 с. **14.** Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення : керівний нормативний документ / за ред. Яцука І. П., Балюка С. А. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с.

REFERENCES:

1. Hryshchenko O. M., Zapasnyi V. S., Yarmolenko Ye. V., Shylo L. H. Dynamika rodiuchosti gruntiv Pereiaslav-Khmelnytskoho raionu Kyivskoi oblasti. *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2019. № 3. S. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2019.183469>. **2.** Pro okhoronu zemel : Zakon Ukrainy vid 19.06.2003 r. № 962-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>. (data zvernennia: 10iu05.2025). **3.** Zaitsev Yu. O., Hunchak M. V., Romanova S. A. Stan rodiuchosti gruntiv Chernivetskoï oblasti. *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2022. № 4. S. 66–75. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273250>. **4.** Baliuk S. A., Miroshnychenko M. M., Medvediev V. V. Naukovi zasady staloho upravlinnia gruntovymy resursamy Ukrainy. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2018. № 11. S. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-01>. **5.** Balaiev A. D., Kovalchuk O. P., Havryliuk M. V., Stopa V. P. Rodiuchist gruntiv Lisostepu Ukrainy za riznoi intensyvnosti yikh vykorystannia. *Naukovi pratsi*. 2011. № 140 (152). S. 63–65. DOI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue_2011_152_140_16. **6.** Yatsuk I. P., Mokliachuk L. I., Lishchuk A. M., Romanova S. A. Innovatsiyni rozvytok silskoho hospodarstva za vykorystannia indyikatoriv «zelenoho zrostannia». *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2019. № 2. S. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174011>. **7.** Bulyhin S. Yu., Vitvitskyi S. V., Kucher L. I., Vitvitska O. I. Kontsepsiia otsinky yakosti ta okhorony zemel v

Ukraini. *Roslynnytstvo ta gruntoznavstvo*. 2020. № 11(2). S. 30–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.02.030>. **8.** Baliuk C. A., Medvediev V. V., Vorotyntseva L. I., Shymel V. V. Suchasni problemy dehradatsii gruntiv i zakhody shchodo dosiahnennia neitralnoho yii rivnia. *Visnyk ahrarynoi nauky*. 2017. № 8. S. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>. **9.** DSTU 4287:2004. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. [Chynnyi vid 2005–07–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 10 s. **10.** DSTU 4289:2004. Yakist gruntu. Metody vyznachannia orhanichnoi rehovyny. [Chynnyi vid 2005–07–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 9 s. **11.** DSTU ISO 10390:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia rN (62879). [Chynnyi vid 2009–10–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007. 8 s. **12.** DSTU 7863:2015. Vyznachennia lehkohidrolizovanoho azotu metodom Kornfilda. Yakist gruntu. [Chynnyi vid 2016–07–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2015. 12 s. **13.** DSTU 4115:2002. Grunty. Vyznachennia rukhomykh spoluk fosforu i kaliu za modyfikovanyim metodom Chyrykova. [Chynnyi vid 2003–01–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2002. 9 s. **14.** Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia : kerivnyi normatyvnyi dokument / za red. Yatsuka I. P., Baliuka S. A. 2-he vyd., dopov. Kyiv, 2019. 108 s.

Hunchak M. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Director (Chernivtsi regional center of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Chernivtsi), **Pasichnyak V. I., Director** (South-Western Interregional Center of the State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Agronomichne village, Vinnytsia region), **Hryshchenko O. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Scientific Secretary** (State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Kyiv), **Kolesnyk T. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

SOIL FERTILITY STATE OF THE FOREST-STEP ZONE OF CHERNIVTSI REGION

The main indicators of soil fertility are presented based on the results of an agrochemical survey of agricultural lands in the Forest-Steppe zone of Chernivtsi region in the XI round (2016–2020). It was found that in terms of soil acidity in the Forest-Steppe zone of the region, lands close to neutral (32.9%) and neutral (49.9%) prevail. The

average weighted saline pH is 6.1, which corresponds to a neutral reaction of the soil solution. In terms of humus content, soils with an average content of humus prevail (67.6%), and the average weighted humus content in the Forest-Steppe zone of the region is 2.6%. In terms of easily hydrolyzable nitrogen content, the most lands have very low (61.3%) and low (35.8%) content. The weighted average content of easily hydrolyzed nitrogen for the reporting period is 102.4 mg/kg of soil, which corresponds to a low supply of this element. In the Forest-Steppe zone of Chernivtsi region, lands with a high content of mobile phosphorus compounds (35.8%) prevail, and the weighted average content of mobile phosphorus compounds is 130.7 mg/kg, which corresponds to a high supply. In terms of the content of mobile potassium compounds, lands with a very high content (63.3%) prevail, with a weighted average of 197.9 mg/kg of soil, which corresponds to a very high supply of this element. It was found that in the areas of the Forest-Steppe zone of Chernivtsi region, the largest area is occupied by soils of average quality (67.7%), and the weighted average assessment of agricultural lands of the Forest-Steppe zone of Chernivtsi region is 56. A comparison of the qualitative assessment of soils of the Forest-Steppe zone of Chernivtsi region was carried out for the X (2011–2015) and XI rounds (2016–2020) of agrochemical surveys. The results showed that the qualitative assessment of the state of the lands of Khotyn and Sokyriany districts significantly improved (+8 and + 19 points), and the qualitative assessment of the soils of Kelmenetsi, Kitsman and Novoselytsia districts increased by 1–3 points. A decrease in land quality indicators was recorded in Zastavna district (-3 points).

Keywords: monitoring; agroecological survey; acidity; soil quality score; qualitative assessment of soils.

УДК 631.45:631.8

<https://doi.org/10.31713/vs220257>

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор, Колесник Т. М., к.с.-г.н., доцент, Сорока В. С., 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; v.s.soroka@nuwm.edu.ua; o.o.nalobina@nuwm.edu.ua; n.s.kovalchuk@nuwm.edu.ua; m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua)

МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ ПІД ВПЛИВОМ БАГАТОРІЧНОГО ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

У статті розглянуто раціональне використання ґрунтових ресурсів, що є одним із ключових чинників забезпечення сталого розвитку аграрного сектору. Багаторічне вирощування пшениці озимої супроводжується змінами фізико-хімічних та біологічних властивостей ґрунту, що впливає на його родючість. В умовах інтенсивного землеробства особливого значення набуває математичне моделювання процесів, що відбуваються у ґрунті, для розробки ефективних заходів його збереження та підвищення продуктивності агроєкосистем. Зміна родючості ґрунту під впливом багаторічного вирощування пшениці озимої є складним процесом, що включає динаміку водного балансу, трансформацію органічної речовини, баланс поживних елементів, зокрема азоту, а також зміну кислотності та мікробіологічної активності ґрунту. Водний баланс визначається співвідношенням опадів, випаровування, поверхневого стоку та інфільтрації. Зниження запасів вологи може негативно впливати на продуктивність культури, особливо в умовах посухи, що підтверджується результатами математичного моделювання. Одним із важливих показників родючості ґрунту є вміст органічної речовини, яка відіграє ключову роль у формуванні структури ґрунту, його водоутримувальної здатності та забезпеченні рослин елементами живлення. Баланс азоту є динамічним показником, що залежить від надходження добрив, біологічної азотфіксації та втрат через денітрифікацію та вилуговування. Одним із критичних факторів, що впливає на біохімічні процеси у ґрунті, є

його кислотність. Модель зміни рН демонструє тенденцію до підкислення ґрунту, що може бути наслідком використання мінеральних добрив та природних процесів вивітрювання. Зниження рН ґрунту погіршує доступність поживних елементів та може негативно впливати на розвиток мікроорганізмів. Оптимізація кислотно-лужного балансу можлива шляхом періодичного вапнування та застосування органічних речовин із буферними властивостями.

Ключові слова: родючість ґрунту; пшениця озима; ґрунтові фактори; мінеральні добрива; врожайність; водний баланс; кислотність ґрунту; мікробіологічна активність.

Вступ. Родючість ґрунту є ключовим фактором ефективності сільськогосподарського виробництва, що безпосередньо впливає на врожайність культур та економічну стабільність аграрного сектору. Сучасне сільське господарство стикається з численними викликами, серед яких деградація ґрунтових ресурсів посідає одне з провідних місць. Основними чинниками зниження родючості є інтенсивне використання земель без належного відновлення їхньої структури, вичерпання запасів органічної речовини, зниження вмісту поживних елементів, порушення мікробіологічної активності ґрунту та ерозійні процеси.

Пшениця озима, як одна з найважливіших зернових культур, вирощується на значних площах у багатьох регіонах світу. Її інтенсивне вирощування в умовах монокультурного землеробства створює додатковий тиск на ґрунтові ресурси. Це призводить до зниження вмісту органічної речовини, погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунту, а також до зменшення біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів. Така ситуація обумовлює необхідність глибокого аналізу процесів, що відбуваються в ґрунті під впливом тривалого вирощування пшениці озимої [1; 2; 3].

Збереження родючості ґрунтів є не лише агротехнічною, а й екологічною проблемою. В умовах глобальних кліматичних змін важливо розробляти адаптивні технології землеробства, які дозволяють підтримувати баланс між інтенсивністю виробництва та охороною ґрунтових ресурсів. Математичне моделювання змін у ґрунті дає змогу прогнозувати наслідки різних агротехнічних заходів, що є

важливим інструментом для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень у сільському господарстві [4; 5; 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика зміни родючості ґрунту в умовах інтенсивного сільськогосподарського виробництва є предметом численних наукових досліджень як в Україні, так і за кордоном. Зокрема, у роботах Панова І. В. (2018) розглянуто основні принципи сталого землеробства та агроекологічного менеджменту, що сприяють підтриманню родючості ґрунту. Автор акцентує увагу на необхідності інтеграції органічних добрив, сівозмін та інших агротехнічних заходів для збереження ґрунтових ресурсів [7; 8].

Smith і Johnson (2020) у своїй роботі «Soil Fertility and Sustainable Agriculture» висвітлюють важливість збалансованого підходу до управління поживними речовинами. Вони підкреслюють, що довготривале вирощування однієї культури без належної ротації та відновлення органічної речовини призводить до суттєвого зниження ґрунтової родючості.

Значний внесок у дослідження механізмів деградації ґрунту зроблено в межах міжнародних програм під егідою FAO (2021), де розглядаються глобальні тенденції щодо стану ґрунтових ресурсів. У звітах FAO особлива увага приділяється впливу кліматичних змін на ґрунтові екосистеми та важливості адаптивного землеробства для збереження родючості [10].

Також важливими є дослідження, що стосуються використання математичних моделей для прогнозування змін у ґрунті. Наприклад, роботи Brown et al. (2019) демонструють ефективність диференціальних моделей для оцінки динаміки поживних речовин та ерозійних процесів. Їхні дослідження підтверджують, що моделювання дозволяє прогнозувати вплив різних агротехнічних сценаріїв на довгострокову родючість ґрунту.

Таким чином, аналіз наявної літератури підтверджує необхідність комплексного підходу до вивчення змін родючості ґрунту. Це включає як емпіричні дослідження, так і використання математичних моделей для обґрунтування ефективних агротехнічних стратегій [11].

Мета і завдання дослідження. Визначити вплив багаторічного вирощування пшениці озимої на зміну родючості ґрунту та розробити

оптимальні агротехнологічні заходи для її збереження і підвищення на основі математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Моделювання зміни родючості ґрунту під впливом багаторічного вирощування пшениці озимої є важливим аспектом агрономічних досліджень, що дозволяє оцінити довгостроковий вплив агротехнічних заходів на якість ґрунтів. Пшениця озима, як основна сільськогосподарська культура, виснажує ґрунт внаслідок постійного вилучення з нього поживних речовин, води та елементів живлення. Проте, за умови раціонального землеробства та застосування сучасних методів удобрення, можна значно зменшити негативний вплив на родючість ґрунту.

Вода є ключовим фактором, що визначає ефективність росту рослин та зміни родючості ґрунту. Модель балансу води в ґрунті можна записати як:

$$\frac{dW(t)}{dt} = P(t) - E(t) - R(t) - D(t), \quad (1)$$

де $W(t)$ – об'єм води в ґрунті на момент часу t (мм); $P(t)$ – кількість опадів на момент часу t (мм); $E(t)$ – евапотранспірація (мм), яка залежить від погодних умов і стадії розвитку рослин; $R(t)$ – стік води (мм), що залежить від типу ґрунту і рельєфу місцевості; $D(t)$ – випаровування води із ґрунту (мм), що також змінюється в залежності від температури та вологості.

Ця модель дозволяє оцінити зміни водного режиму в ґрунті протягом вегетаційного періоду та оцінити, як вологість ґрунту впливає на родючість.

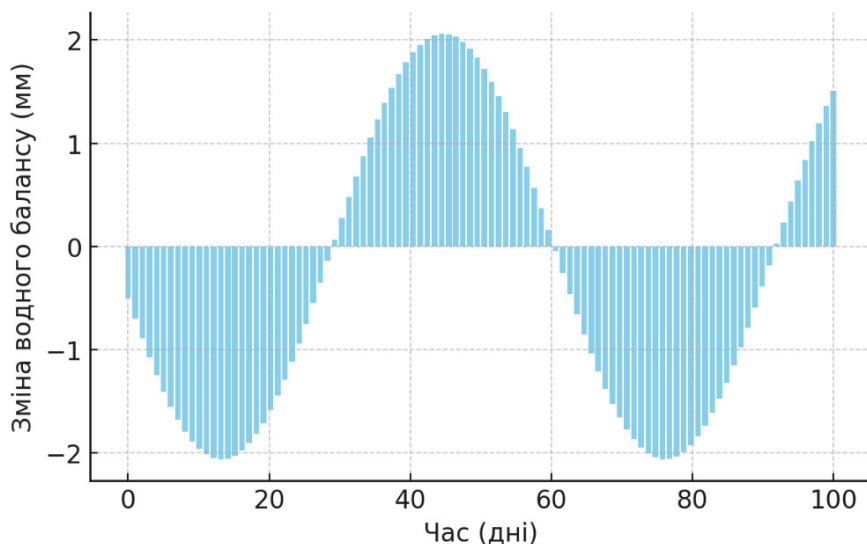


Рис. 1. Баланс води в ґрунті

Графік (рис. 1) демонструє коливання водного балансу в залежності від часу. Опади, евапотранспірація, стік та випаровування – основні чинники, що впливають на баланс. Зміни мають періодичний характер, що свідчить про сезонний вплив кліматичних умов. У певні моменти часу баланс води може ставати від'ємним, що може призводити до посухи.

Процес мінералізації органічних речовин є важливим для забезпечення ґрунту доступними поживними елементами. Це можна описати за допомогою моделі першого порядку:

$$\frac{dC(t)}{dt} = k \cdot C(t), \quad (2)$$

де $C(t)$ – кількість органічної речовини в ґрунті на момент часу t (кг/га); k – коефіцієнт швидкості мінералізації органічної речовини.

Модель описує зниження кількості органічної речовини в ґрунті через процеси розкладу та трансформації в доступні форми поживних елементів. Цей процес має великий вплив на родючість, оскільки органічні сполуки є основним джерелом азоту, фосфору та інших макроелементів.

Графічне відображення моделі (рис. 2) показує, що кількість органічної речовини зменшується експоненційно впродовж часу. Це пояснюється процесами мінералізації, коли органічні сполуки перетворюються на мінеральні форми, доступні для рослин. Така

тенденція може свідчити про необхідність додаткового внесення органічних добрив для підтримки рівня гумусу в ґрунті.

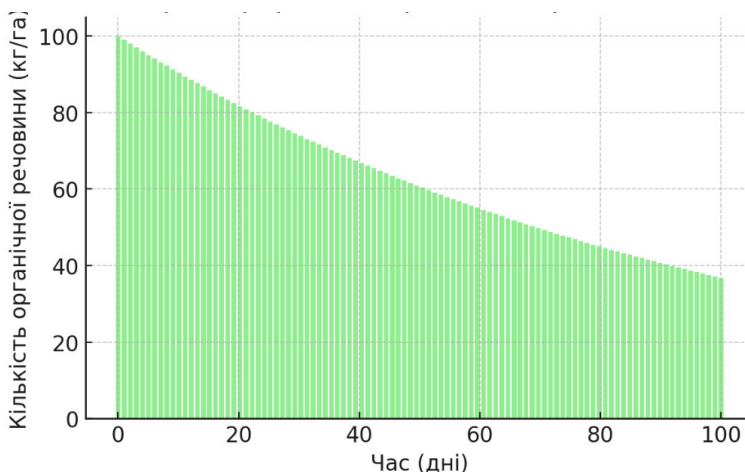


Рис. 2. Трансформація органічної речовини

Для розрахунку азотного балансу в ґрунті можна використати модель, що враховує як надходження, так і вилучення азоту з ґрунту:

$$\frac{dN(t)}{dt} = N_{in}(t) - N_{out}(t) + N_{fix}(t) - N_{loss}(t), \quad (3)$$

де $N(t)$ – кількість азоту в ґрунті на момент часу t (кг/га); $N_{in}(t)$ – надходження азоту (наприклад, через внесення добрив або дощування); $N_{out}(t)$ – вилучення азоту рослинами; $N_{fix}(t)$ – азотфіксація (яка залежить від присутності бобових культур або спеціальних мікроорганізмів); $N_{loss}(t)$ – втрати азоту через денітрифікацію, випаровування, вимивання тощо.

Ця модель дозволяє оцінити динаміку азоту в ґрунті під впливом вирощування пшениці та визначити, як це впливає на родючість.

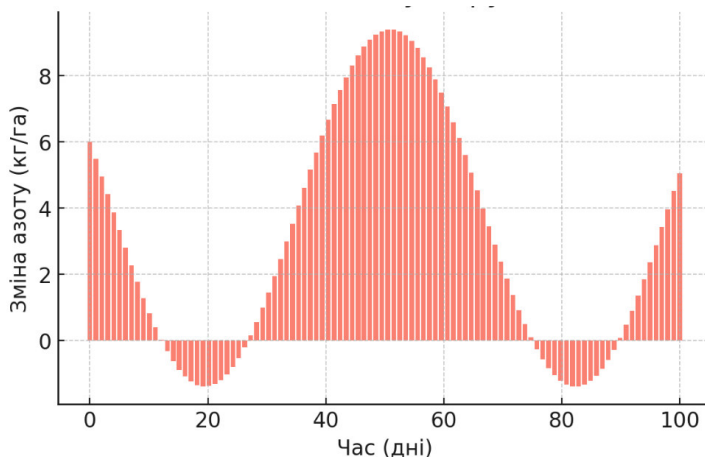


Рис. 3. Баланс азоту в ґрунті

Графік балансу азоту (рис. 3) демонструє коливання надходження та втрат азоту. Основні джерела надходження – внесення добрив і азотфіксація, а втрати зумовлені денітрифікацією та вилуговуванням. У певні періоди баланс стає від'ємним, що може свідчити про дефіцит азоту в ґрунті. Це може негативно впливати на врожайність пшениці озимої та потребувати корекції агротехнічних заходів.

Зміна рН ґрунту є важливим показником, що визначає доступність поживних речовин для рослин. Модель зміни рН ґрунту може виглядати так:

$$\frac{d(pH)}{dt} = \alpha \cdot I_{H^+}(t) - \beta \cdot O_{H^+}(t), \quad (4)$$

де pH – рівень кислотності ґрунту на момент часу t ; $I_{H^+}(t)$ – кількість водневих іонів, що надходять в ґрунт (наприклад, через кислотні дощі або внесення добрив); $O_{H^+}(t)$ – кількість водневих іонів, що нейтралізуються або виводяться з ґрунту в результаті взаємодії з мінералами або органічними сполуками; α , β – коефіцієнти, що залежать від властивостей ґрунту.

Модель дає змогу дослідити, як агротехнічні заходи (наприклад, внесення вапна або органічних добрив) впливають на кислотність ґрунту та, відповідно, на його родючість.

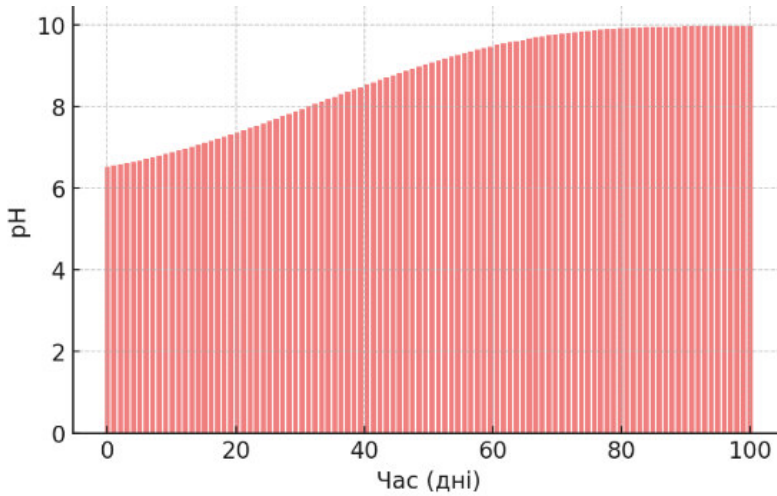


Рис. 4. Зміна кислотності ґрунту *pH*

Зміна кислотності (рис. 4) має хвилеподібний характер, що пов'язано з періодичним надходженням водневих іонів та процесами нейтралізації. В цілому, спостерігається тенденція до поступового зниження pH, що може вказувати на підкислення ґрунту. Це може бути наслідком застосування мінеральних добрив або природних процесів. Підкислення ґрунту потребує вапнування для збереження оптимального рівня pH.

Біологічна активність ґрунту (переважно діяльність мікроорганізмів) має важливе значення для підтримки родючості. Модель зміни біологічної активності ґрунту може мати вигляд:

$$\frac{dB(t)}{dt} = \gamma \cdot B(t) \cdot \left(1 - \frac{B(t)}{B_{\max}}\right) - \delta \cdot B(t), \quad (5)$$

де $B(t)$ – кількість активних мікроорганізмів в ґрунті на момент часу t ; $B_{\max}$ – максимальна кількість мікроорганізмів, яку може підтримувати ґрунт; γ – коефіцієнт росту популяції мікроорганізмів; δ – коефіцієнт смертності мікроорганізмів.

Ця модель враховує логістичний ріст популяції мікроорганізмів, який обмежений максимальним рівнем біологічної активності ґрунту.

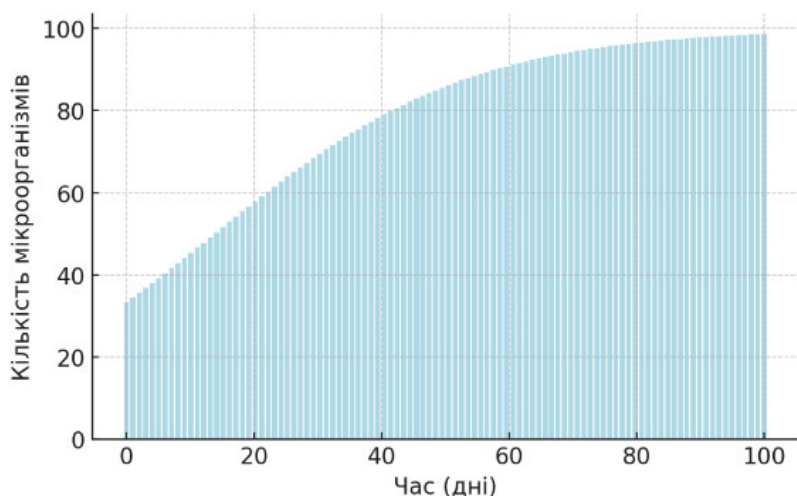


Рис. 5. Біологічна активність ґрунту

Графік (рис. 5) показує нелінійне зростання кількості мікроорганізмів у ґрунті, що відповідає логістичній моделі. Спочатку активне збільшення чисельності мікроорганізмів сповільнюється через обмеженість ресурсів. Це означає, що на початкових етапах розвитку екосистеми мікробіота активно розмножується, але з часом стабілізується. Підтримка біологічної активності ґрунту потребує раціонального використання органічних добрив і агротехнічних заходів.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було побудовано математичні моделі, що описують зміну основних показників родючості ґрунту під впливом багаторічного вирощування пшениці озимої. Аналіз отриманих даних засвідчив, що баланс води в ґрунті зазнає суттєвих коливань, зумовлених сезонними змінами опадів, евапотранспірації та стоку. У критичні періоди можливе зниження запасів вологи, що може негативно впливати на врожайність культури, особливо в умовах посухи, що потребує оптимізації зрошувальних заходів. Виявлено закономірність поступового зменшення вмісту органічної речовини внаслідок її мінералізації, що може призводити до зниження рівня гумусу та погіршення агрофізичних властивостей ґрунту. Відсутність належних заходів із відновлення органічної складової може спричинити деградаційні процеси, що обґрунтовує необхідність внесення органічних добрив або використання сидератів. Динаміка балансу

азоту демонструє значні коливання, зумовлені надходженням добрив, процесами азотфіксації, а також втратами через вилуговування й денітрифікацію. Дефіцит азоту в окремі періоди може обмежувати продуктивність озимої пшениці, що потребує диференційованого підходу до удобрення. Дослідження змін кислотності ґрунту вказує на тенденцію до його поступового підкислення, що пов'язано як із природними процесами, так і з використанням мінеральних добрив. Зниження рН може негативно впливати на біологічну активність мікроорганізмів і доступність поживних речовин, що обґрунтовує необхідність періодичного вапнування. Встановлено, що біологічна активність ґрунту поступово стабілізується, що свідчить про формування рівноваги між ростом і смертністю мікроорганізмів. Висока мікробіологічна активність є важливим чинником підтримки ґрунтової родючості, що може бути забезпечено шляхом раціонального внесення органічних добрив і мінімізації механічного обробітку ґрунту. Отримані результати можуть бути використані для розробки агротехнологій, спрямованих на збереження та покращення родючості ґрунту при довготривалому вирощуванні пшениці озимої. Застосування математичного моделювання дає змогу прогнозувати зміни стану ґрунту та оптимізувати систему його управління з метою підвищення продуктивності агроєкосистем.

1. Шевчук М. Й., Ковальчук Н. С., Колесник Т. М., Клименко М. О. Агроєкологічна 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. 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.
4. 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. Р. 12–15.
5. 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, плодоовочівництво і зберігання*. 2017. № 1. С. 43–52.

6. Польовий В. М., Ященко 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. 7. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і західному регіоні України / Зубець М. В. та ін. Київ : Аграрна наука, 2010. 944 с. 8. Панов І. В. Агроекологія: основи стійкого землеробства. Київ : Агронаука, 2018. 312 с. 9. Smith J., Johnson R. Soil Fertility and Sustainable Agriculture. *Journal of Agricultural Science*. 2020. Vol. 15, No. 3. P. 245–259. 10. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The State of the World's Soil Resources: Main Report. Rome : FAO, 2021. 650 p. 11. Brown A., Green P., White S. Modeling Soil Nutrient Dynamics. *Environmental Modelling & Software*. 2019. Vol. 30, No. 7. P. 112–126.

REFERENCES:

1. Shevchuk M. Y., Kovalchuk N. S., Kolesnyk T. M., Klymenko M. O. Ahroekolohichna efektyvnist zastosuvannya fermentovanoho orhanichnoho dobryva na dernovo-slabopidzolystomu ґрунті : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2017. 183 s. 2. Mazurkevych L. I. Vplyv tryvaloho zastosuvannya dobryv na vmist pozhyvnykh elementiv u hruntі, vrozhaivist pshenytsi yaroї ta yakist zerna. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Ahronomiia*. 2014. Vyp. 195(1). S. 78–84. 3. Hamaiunova 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. 4. 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. 5. Hamaiunova 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. Roslynnytstvo, selektsiia i nasinnytstvo, plodoovochivnytstvo i zberihannia*. 2017. No 1. S. 43–52. 6. Polovyi V. M., Yashchenko L. A., Rовна H. F., Kolesnyk T. M. Ekoloho-ekonomichni aspekty vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur na dernovo-pidzolystomu hruntі Zakhidnoho Polissia. *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2022. № 1. S. 91–98. 7. Naukovi osnovy ahropromysloвого vyrobnytstva v zoni Polissia i zakhidnomu rehioni Ukrainy / Zubets M. V. ta in. Kyiv : Ahrarna nauka, 2010. 944 s. 8. Panov I. V. Ahroekolohiia: osnovy stiikoho zemlerobstva. Kyiv : Ahronauka, 2018. 312 s. 9. Smith J., Johnson R. Soil Fertility and Sustainable Agriculture. *Journal of Agricultural Science*. 2020. Vol. 15, No. 3. P. 245–259. 10. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The State of the World's Soil

104

Resources: Main Report. Rome : FAO, 2021. 650 p. 11. Brown A., Green P., White S. Modeling Soil Nutrient Dynamics. *Environmental Modelling & Software*. 2019. Vol. 30, No. 7. P. 112–126.

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

SIMULATION OF CHANGES IN SOIL FERTILITY UNDER THE INFLUENCE OF MULTI-YEAR CULTIVATION OF WINTER WHEAT

The article discusses the rational use of soil resources, which is one of the key factors in ensuring the sustainable development of the agricultural sector. Long-term cultivation of winter wheat is accompanied by changes in the physical, chemical and biological properties of the soil, which affects its fertility. In the conditions of intensive agriculture, mathematical modeling of the processes occurring in the soil is of particular importance for the development of effective measures for its conservation and increasing the productivity of agroecosystems. The change in soil fertility under the influence of perennial winter wheat cultivation is a complex process that includes the dynamics of the water balance, the transformation of organic matter, the balance of nutrients, in particular nitrogen, as well as the change in acidity and microbiological activity of the soil. The water balance is determined by the ratio of precipitation, evaporation, surface runoff and infiltration. A decrease in moisture reserves can negatively affect crop productivity, especially in drought conditions, which is confirmed by the results of mathematical modeling. One of the important indicators of soil fertility is the content of organic matter, which plays a key role in forming the structure of the soil, its water-holding capacity and providing plants with nutrients. The nitrogen balance is a dynamic indicator that depends on the input of fertilizers, biological nitrogen fixation and losses due to denitrification and

leaching. One of the critical factors affecting biochemical processes in the soil is its acidity. The pH change model shows a tendency to acidification of the soil, which may be a consequence of the use of mineral fertilizers and natural weathering processes. A decrease in soil pH impairs the availability of nutrients and can negatively affect the development of microorganisms. Optimizing the acid-alkaline balance is possible through periodic liming and the use of organic substances with buffering properties.

***Keywords:* soil fertility; winter wheat; soil factors; mineral fertilizers; productivity; water balance; soil acidity; microbiological activity.**

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор, Борщевська І. М., к.с.-г.н., доцент, Турчина К. П., к.с.-г.н., доцент, Клименко Л. В., к.с.-г.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, m.o.klimenko@nuwm.edu.ua, i.m.borschevska@nuwm.edu.ua, k.p.turchina@nuwm.edu.ua, l.v.klimenko@nuwm.edu.ua)

ОЦІНКА ЯКОСТІ СЕРЕДОВИЩА МІСТА РІВНОГО ЗА ПОКАЗНИКАМИ ФЛУКТУЮЧОЇ АСИМЕТРІЇ

Проведено оцінку якості середовища міста Рівного за показниками флуктуючої асиметрії (ФА). Визначено величину асиметрії морфологічних ознак листових пластин берези повислої (*Betula pendula*), що проростає в різних районах міста з різним ступенем техногенного навантаження.

Оцінено стан міського середовища за бальною шкалою за тест-полігонами. Для проведення досліджень територію міста було поділено на 12 досліджуваних тест-полігонів, які охоплюють житлові, антропогенно-навантажені та рекреаційні райони, площею 1–5 км². Тест-полігони I–IV представляють північну частину міста, IX–XII – південну, V – західну, VI–VII – центральну, VIII – східну частину міста.

Для кількісного вираження ступеня асиметрії рослинного організму розроблена шкала відхилення від норми, що характеризує рівень забруднення території на основі показника флуктуючої асиметрії, де 1 бал – «умовна норма», а бал 5 – «критичний стан».

На основі обчислення середнього значення ФА встановлено залежність порушення рівня симетрії внаслідок забруднення міського середовища. Найбільшого техногенного впливу зазнає *Betula pendula* на території 1, V, VII, IX та XI тест-полігонів. Показник ФА в цих частинах міста коливається від 0,057 до 0,060. Стан середовища характеризується як критичний (близько 50% території міста) і оцінюється у 5 балів. Найбільш сприятливим є середовище у районі X тест-полігону із показником ФА 0,037, що відповідає стабільності умовної норми і оцінюється як 1 бал.

Виявлено вплив забруднення атмосферного повітря на стан

генеративних органів *Betula pendula*. Встановлено, що серед п'яти морфометричних параметрів ознака 3 (відстань між основами першої і другої жилки) є найбільш чутливою до впливу техногенного забруднення. Найбільш стійкою ознакою до техногенного впливу є параметр 2 – довжина другої жилки 2-го порядку.

На основі даних натурних спостережень створено картосхему стану навколишнього середовища м. Рівне за показниками ФА за тест-полігонами. Запропоновані рекомендації щодо покращення екологічної ситуації м. Рівне: упорядкування руху транспорту, удосконалення транспортної інфраструктури, перехід на електротранспорт.

Таким чином, якість середовища обумовлена станом атмосферного повітря, що відображається через флюктууючу асиметрію.

Ключові слова: флюктууюча асиметрія (ФА); антропогенний вплив; біоіндикація; береза повисла (*Betula pendula*); білатеральна симетрія; морфологічні ознаки; забруднення навколишнього середовища.

Постановка проблеми. Зростання інтенсивності впливу антропогенного навантаження на навколишнє середовище на сучасному етапі потребує екологічної оцінки усіх його складових, зокрема атмосферного повітря. Основними джерелами забруднення в умовах міста є промислові підприємства і автомобільний транспорт.

Ефективним методом оцінювання екологічного стану середовища є біоіндикація. Живі організми дуже чутливі до змін зовнішнього середовища і раніше реагують, ніж ці зміни будуть виявлені інструментальним методом [1].

Останнім часом поряд із традиційними методами контролю стану повітря, поширення набули методи біоіндикації, які ґрунтуються на оцінці морфометричних параметрів живих організмів. Одним із таких біологічних методів є флюктууюча асиметрія (ФА), яка характеризується статистично незначним відхиленням різниці величин правої і лівої частин листка рослини.

Функціонально активним органом, який реагує на зміни навколишнього середовища, є листова пластинка деревних рослин, тому вона найбільш часто використовується у біоіндикаційних дослідженнях.

Для міст і міських агломерацій проблема чистого повітря є особливо актуальною, тому важливо постійно здійснювати контроль за його якістю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для якісної оцінки компонентів довкілля актуальними є експрес-методи. Біоіндикаційні методи є інтегральними, оскільки враховують вплив окремих чинників [2].

Як вважає чимало дослідників, біоіндикація є оперативним моніторингом навколишнього середовища на основі спостережень за станом і поведінкою біологічних об'єктів [3; 4; 5].

Показником стабільності розвитку організмів, які мають білатеральну будову досліджуваних структур є флуктуюча асиметрія. Згідно з авторами [1; 2; 4] саме *Betula pendula* є найбільш вдалим біоіндикатором для оцінки екологічного стресу. Стресові впливи різного типу викликають зміни розвитку у живих організмів, які можна оцінити за порушенням процесу гомеостазу [3].

Цей метод широко використовують для оцінки рівня забруднення навколишнього середовища як найбільш простий, доступний, перспективний [1; 2; 6].

Як стверджують окремі дослідники, ФА особливо виділяється серед різних форм асиметрії білатеральних ознак живих організмів, яка дозволяє оцінити нестабільність розвитку цілого організму або його частин [7]. В основі методу ФА лежить білатерально симетрична будова органів рослин, зокрема листової пластини. Перевагою цього методу є також можливість повторних дослідів [8].

За нормальних умов рівень відхилень у морфологічній будові є мінімальним і зростає за наявності стресового впливу, що призводить до збільшення асиметрії [2].

Ряд авторів засвідчують, що у якості біоіндикаційних деревних культур найбільш вдалим біоіндикаційним об'єктом є береза повисла (*Betula pendula*), оскільки вирізняється частотою трапляння на території міста, швидкою реакцією на зміни середовища, значними обсягами матеріалу [4; 5; 8].

В якості тест-об'єкта використовують листя берези повислої. При дії стресових факторів середовища спостерігається порушення стабільності морфогенезу листя і як наслідок, збільшення його асиметрії. На стабільність розвитку *Betula pendula* впливають викиди промислових підприємств та вихлопні гази автотранспорту [2; 4; 11].

Рядом авторів були розроблені шкали, за допомогою яких можна оцінити ступінь відхилень морфометричних параметрів від норми [9; 10].

Методи біоіндикації є досить ефективними при оцінці екологічного стану території, оскільки живі системи дуже чутливі до змін зовнішнього середовища і реагують раніше, ніж ці зміни стануть очевидними [1].

Мета і завдання досліджень. Мета роботи – дослідити і оцінити стан середовища міста м. Рівне методом визначення величин асиметрії морфологічних ознак берези повислої (*Betula pendula*), що проростає в різних районах міста з різним ступенем техногенного навантаження.

Завданням роботи було провести збір матеріалу по тест-полігонах відповідно до поставленої мети; обчислити рівень ФА листових пластинок, зібраних на тест-полігонах та на основі одержаних результатів оцінити якість середовища, спираючись на шкалу оцінки.

Об'єкт досліджень – забруднення повітряного середовища м. Рівного, предмет дослідження – відхилення у білатерально-симетричній будові листка *Betula pendula* під впливом антропогенних чинників.

Методи і методика досліджень. Дослідження були проведені маршрутним методом у 2024 році на території міста Рівне. Місто Рівне розташоване на межі Волино-Подільської височини і Поліської низовини. Північніше міста проходить межа між природними зонами Полісся та Лісостепу. Площа міста становить 71 км², населення 250 тис. жителів.

Для проведення досліджень територію міста було поділено на 12 досліджуваних тест-полігонів, які охоплюють житлові, антропогенно-навантажені та рекреаційні райони, площею 1–5 км². Тест-полігони I–IV представляють північну частину міста, IX–XII – південну, V – західну, VI–VII – центральну, VIII – східну частину міста.

Під час маршрутних досліджень на території міста відбирали зразки листя берези повислої у 29 точках спостережень, розташованих на дванадцяти тест-полігонах з різним ступенем антропогенного навантаження. Кількість досліджуваних зразків становила 580 екземплярів.

Для оцінки якості міського середовища використано показники стабільності розвитку берези повислої (*Betula pendula*) – дерево

родини березових (Betulaceae) висотою 20–25 м, з ажурною кроною і зазвичай обвислими гілками. *B. Pendula* – європейсько-середньосибірсько-середземноморський вид. Мезофанерофіт, мезофіт. Основна лісоутворююча порода дрібнолистяних лісів. *B. Pendula* широко використовується в озелененні.

Відбір зразків проводили з гілок першого порядку галуження з нижнього ярусу крони у липні місяці 2024 року. Вибірка включала до 10 дерев по 20 листових пластинок з кожного дерева. Проводили вимірювання показників ФА за загальновідомою методикою та оцінювали стан дерев рослин за показником стабільності розвитку.

Відбирали листки без наявних ушкоджень на висоті 2 м від поверхні землі. Обирали дерева, що ростуть на відкритих ділянках, враховували віковий стан дерев (брали до уваги середньовікові дерева). Збирали листки з нижньої частини крони на рівні піднятої руки з максимальної кількості доступних гілок з різних напрямків – з півночі, півдня, заходу, сходу. Листя відбирали приблизно одного розміру.

З кожного листка знімали показники з правої і лівої сторони за 5-ма параметрами:

- ширина половини листкової пластинки;
- довжина другої жилки другого порядку від основи листка;
- відстань між основами першої і другої жилок другого порядку;
- відстань між кінцями першої і другої жилок другого порядку;
- кут між основною жилкою першого порядку і другого від основи жилки другого порядку.

Вимірювання проводили за допомогою штангенциркуля, лінійки та транспортира.

Для кількісного вираження ступеня асиметрії організму розроблена шкала відхилення від норми, що характеризує рівень забруднення території на основі показника флуктуючої асиметрії, де 1 бал – «умовна норма», а бал 5 – «критичний стан» (Методика Захарова В. М. та ін., 2000, Горової, 2014).

Рівень флуктуючої асиметрії оцінювали за допомогою інтегрального показника – величини середнього відносного розходження на ознаку (X) (1–3):

$$Y = \frac{X_{\text{л}} - X_{\text{п}}}{X_{\text{л}} + X_{\text{п}}} ; \quad (1)$$

$$Z = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{N} ; \quad (2)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum Z}{n} = \frac{Z_1 + Z_2 \dots + Z_n}{n} , \quad (3)$$

де Y – показник, розрахований для кожної ознаки як розходження між правим (П) та лівим (Л) боками, Z – відносна середня відмінність між ознаками для кожного листка, N – кількість ознак (5), X – інтегральний показник асиметрії, n – число листків.

Таким чином, зіставивши отримані у ході розрахунків значення показників асиметрії зі шкалою відхилення від норми, ми оцінили стан навколишнього середовища досліджуваної території.

Виклад основного матеріалу дослідження. Величина асиметричності оцінюється за допомогою інтегрального показника – величини середньої відносної похибки на ознаку. Подібні обрахунки проводимо для кожної ознаки. В результаті проведених досліджень та обрахунків отримуємо 5 значень Y для одного листка. Такі ж обрахунки проводять для кожного листка окремо. Результати розрахунків зводимо в табл. 1.

Таблиця 1

Величина асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*
(тест-полігон VII, приклад розрахунку для 10-ти листків)

№	Ознака					Величина асиметрії листка (Z)
	1. Ширина половинок (Y ₁)	2. Довжина 2-ї жилки (Y ₂)	3. Відстань між основами 1-ї і 2-ї жилки (Y ₃)	4. Відстань між кінцями 1-ї і 2-ї жилки (Y ₄)	5. Кут між центральною і 2-ю жилками (Y ₅)	
парк ім. Шевченка						
1	0,000	0,038	0,111	0,053	0,026	0,046
2	0,062	0,054	0,143	0,091	0,024	0,075
3	0,071	0,020	0,091	0,053	0,027	0,052
4	0,034	0,057	0,143	0,048	0,143	0,085
5	0,000	0,034	0,143	0,091	0,048	0,063
6	0,062	0,033	0,111	0,091	0,077	0,075
7	0,062	0,020	0,250	0,111	0,012	0,091
8	0,111	0,000	0,250	0,048	0,040	0,090
9	0,062	0,020	0,111	0,053	0,111	0,107
10	0,028	0,017	0,091	0,111	0,086	0,067

У табл. 1 приводиться розрахунок середньої відносної величини асиметрії для 10 рослин тест-полігону VII, точка спостереження – парк ім. Шевченка.

Інтегральним показником стабільності розвитку для мірних ознак є середня величина відносного розходження між сторонами. Цей показник розраховується як середнє арифметичне суми відносної величини асиметрії з усіма ознаками (табл. 2).

Таблиця 2

Інтегральний показник ($\bar{X}$) флуктуючої асиметрії популяції *Betula pendula* на території м. Рівного

№ тест-полігону	Середнє значення ФА за кожною ознакою					Середнє значення ФА	Бал
	1	2	3	4	5		
I	0,053	0,015	0,111	0,048	0,059	0,057	5
II	0,023	0,031	0,091	0,077	0,036	0,052	4
III	0,045	0,029	0,111	0,043	0,016	0,049	3
IV	0,048	0,014	0,125	0,043	0,022	0,049	3
V	0,043	0,022	0,142	0,103	0,022	0,057	5
VI	0,080	0,019	0,098	0,028	0,073	0,060	5
VII	0,025	0,014	0,111	0,130	0,017	0,059	5
VIII	0,073	0,022	0,094	0,055	0,028	0,054	4
IX	0,062	0,022	0,074	0,111	0,030	0,060	5
X	0,026	0,012	0,111	0,030	0,010	0,037	1
XI	0,080	0,018	0,097	0,027	0,072	0,059	5
XII	0,020	0,012	0,077	0,120	0,020	0,050	4
середнє	0,048	0,019	0,103	0,068	0,034		

Наведені у табл. 2 дані показують, що не за всіма застосованими морфометричними параметрами листків дерев спостерігається однакова реакція рослин на антропогенне навантаження. Серед 5-ти

обраних морфометричних параметрів, ознака 3 (відстань між основами 1 і 2 жилки) володіє високим рівнем розходження між правим і лівим боками листової пластинки *B. pendula* у всіх досліджуваних районах, тобто є найбільш чутливою до впливу техногенного забруднення (середнє значення становить 0,103 см).

Найбільш стійким до впливу техногенного забруднення є параметр 2 – довжина другої жилки другого порядку, асиметрія якого не перевищує 0,019 см, що свідчить про її нечутливість до факторів навколишнього середовища (рис. 1).

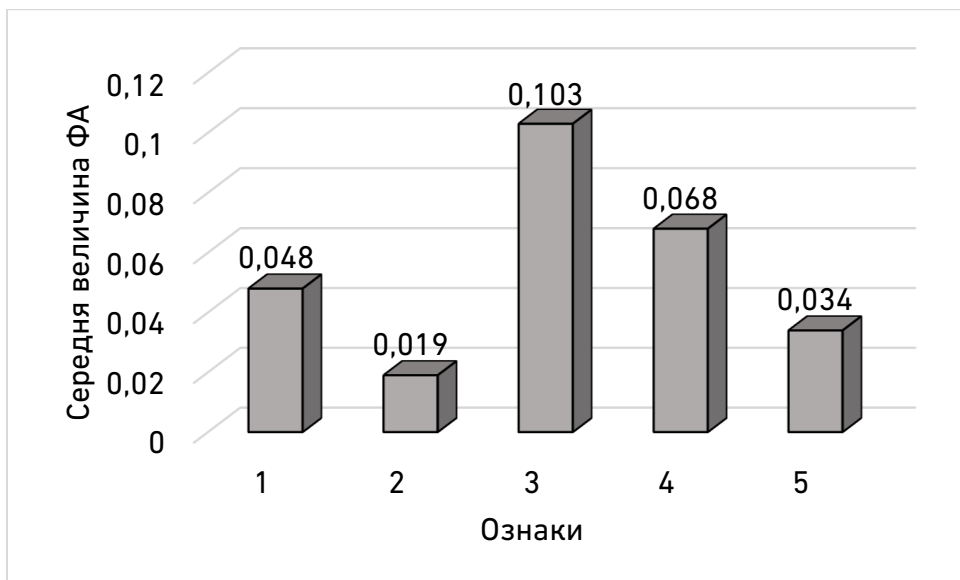


Рис. 1. Середня величина асиметрії для кожної ознаки по місту загалом:

1 – ширина половини листової пластинки; 2 – довжина другої жилки другого порядку від основи листка; 3 – відстань між основами першої і другої жилок другого порядку; 4 – відстань між кінцями першої і другої жилок другого порядку;

5 – кут між основною жилкою першого порядку і другою від основи жилки другого порядку

Характеристика районів м. Рівного за інтегральним показником флуктуючої асиметрії популяції *Betula pendula* подано в табл. 3.

Обговорення отриманих результатів. На основі даних натурних спостережень було створено картограму стану навколишнього

середовища м. Рівного за показниками флуктуючої асиметрії за тест-полігонами (рис. 2).

Таблиця 3

Характеристика районів м. Рівного за інтегральним показником флуктуючої асиметрії популяції *Betula pendula*

№ тест-полігону	Середнє значення асиметрії	Бал	Характеристика стану середовища
1	0,057	5	Критичний стан
II	0,052	4	Значне відхилення від норми
III	0,049	3	Середній рівень відхилення від норми
IV	0,049	3	Середній рівень відхилення від норми
V	0,057	5	Критичний стан
VI	0,060	5	Критичний стан
VII	0,059	5	Критичний стан
VIII	0,054	4	Значне відхилення від норми
IX	0,060	5	Критичний стан
X	0,037	1	Стабільність умовної норми
XI	0,059	5	Критичний стан
XII	0,050	4	Значне відхилення від норми

Із картограми видно, що максимальні показники ФА (0,057–0,060) спостерігаються на тест-полігонах 1, V–VII, IX та XI, відповідно в північній, центральній та південній частині міста. Показники ФА відповідають критичному стану та мають максимальний бал – 5. На нашу думку, найбільшого техногенного впливу *Betula pendula* зазнає в результаті великої інтенсивності транспортного потоку. Це територія мікрорайону Ювілейний, вулиця Соборна, центр міста, район Тинного, Басів Кут. Це райони зі значними транспортними потоками.

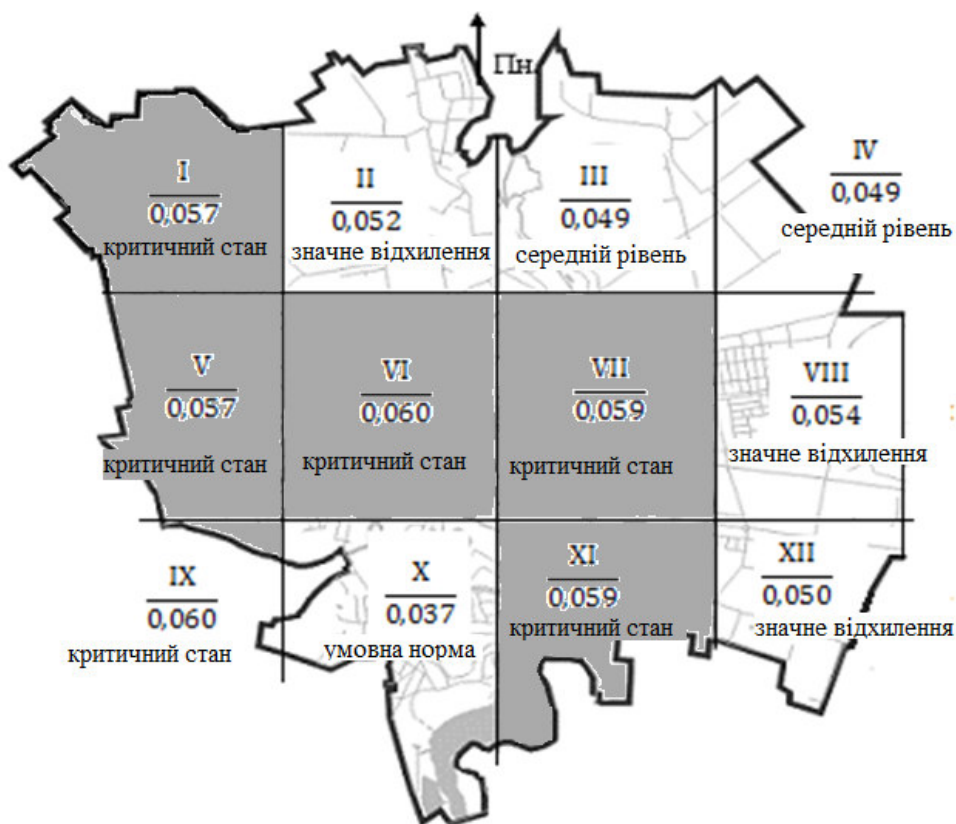


Рис. 2. Картограма стану навколишнього середовища м. Рівне за показниками ФА:

$\frac{I}{0,057}$ – номер тест-полігону, середнє значення ФА, якість критичний стан середовища

ФА на тест-полігонах II (північна частина міста), VIII (східна частина міста) і XII (південна частина міста) становить 0,050–0,054 і характеризує досліджувану територію як таку, що має значне відхилення розвитку *Betula pendula* від норми (бал стабільності розвитку становить 4).

Мінімальні показники асиметрії спостерігаються на тест полігоні X – 0,037 (1 бал). Це пов'язано з тим, що ця ділянка характеризується значно меншим транспортним потоком, найбільш віддалена від центральної траси (район гідропарку міста). Тут переважає

рекреаційне навантаження, яке не має суттєвого впливу на показник ФА. Стан середовища характеризується як стабільність умовної норми.

Висновки

1. За середнім значенням ФА встановлено залежність порушення рівня симетрії внаслідок забруднення міського середовища. Найбільшого техногенного впливу зазнає *Betula pendula* на території 1, V, VII, IX та XI тест-полігонів. Показник ФА в цих частинах міста коливається від 0,057 до 0,060. Стан середовища характеризується як критичний (близько 50% території міста) і оцінюється у 5 балів. Найбільш сприятливим є середовище у районі X тест-полігону із показником ФА 0,037, що відповідає стабільності умовної норми і оцінюється як 1 бал.

2. Найбільш чутливим до впливу техногенного забруднення середовища міста є показник параметра 3 листової пластинки *Betula pendula* – це відстань між основами першої і другої жилок другого порядку, середнє значення якого становить 0,103 см.

Найбільш стійким до впливу техногенного забруднення є параметр 2 – довжина другої жилки другого порядку, асиметрія якого не перевищує 0,019 см.

3. Таким чином, якість середовища обумовлена станом атмосферного повітря, що відображається через флюктууючу асиметрію. В результаті досліджень було підтверджено, що джерелом надходження забруднюючих речовин в атмосферу є викиди автотранспорту.

4. Показник ФА виступає критерієм сталого розвитку рослинних організмів і може використовуватися в якості біоіндикаційної ознаки при екологічних дослідженнях міського середовища.

5. Для покращення екологічної ситуації у місті пропонується: упорядкування руху транспорту, удосконалення транспортної інфраструктури, перехід на електротранспорт.

1. Бессонова В. П. Методи фітоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДУ, 2001. 196 с. 2. Скляренко А. В. Оцінювання впливу промислових умов на величину флюктууючої асиметрії листової пластинки *Betula Pendula* Запоріжжя. *Науковий вісник НЛТУ України*. Дніпро, 2019. № 6. С. 54–57. 3. Дідух Я. П. Основи біоіндикації. Київ : НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2012. 44 с. 4. Петрушкевич Ю. М. Вплив

промислових умов на величину флуктуючої симетрії листкової пластинки *Betula pendula*. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Біологія*. Тернопіль, 2018. № 1 (72). С. 82–89. **5.** Савосько В. М., Домшина К. М., Савосько В. В. Морфологічні особливості листків берези повислої культур дендроценозів степу в умовах промислового міста. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18. № 2. С. 121–133. **6.** Машталер О. В., Милка А. В., Мікуліч Л. О. Оцінка стану міського середовища за показниками флуктуючої асиметрії листків *Betula pendula* Roth. (на прикладі м. Могилів-Подільський). *Acta Biologica Ukrainica*. 2021. № 1. С. 41–47. **7.** Легета У. В., Ситнікова І. О. Оцінка екологічного стану територій Чернівецької області за інтегральним показником флуктуючої асиметрії (на прикладі *Tussilago farfara* L.). *Природничий альманах*. 2012. С. 98–104. **8.** Буцяк А. А., Буцяк В. І., Музіка Л. І. Використання рослин біоіндикаторів для оцінки стану атмосферного повітря в зоні діяльності Добротвірської ТЕС. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. Львів, 2018. С. 122–126. **9.** Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» / А. І. Горова та ін. Національний гірничий університет. Д., 2014. 76 с. **10.** Здоровье среды: практика оценки / Захаров В. М. и др. М. : Изд. Центра экол. политики России, 2000. 318 с. **11.** Прищепка А. М., Борщевська І. М., Буднік З. М., Брежицька О. А., Курилюк О. М. Біоіндикаційна оцінка стану повітряного середовища міста Рівного на основі аналізу флуктуючої асиметрії. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*. 2017. Вип. 4(80). С. 30–38.

REFERENCES:

1. Bessonova V. P. Metody fitoindykatsii v otsintsi ekolohichnoho stanu dovkillia : navch. posib. Zaporizhzhia : ZDU, 2001. 196 s.
2. Skliarenko A. V. Otsiniuvannia vplyvu promyslovykh umov na velychynu fluktuiuchoi asymetrii lystkovoї plastynky *Betula Pendula* Zaporizhzhia. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. Dnipro, 2019. № 6. S. 54–57.
3. Didukh Ya. P. Osnovy bioindykatsii. Kyiv : NVP «Vydavnytstvo «Naukova dumka» NAN Ukrainy», 2012. 44 s.
4. Petrushkevych Yu. M. Vplyv promyslovykh umov na velychynu fluktuiuchoi symetrii lystkovoї plastynky *Betula pendula*. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu. Biolohiia*. Ternopil, 2018. № 1 (72). S. 82–89.
5. Savosko V. M., Domshyna K. M., Savosko V. V. Morfolohichni osoblyvosti lystkiv berezy povysloi kultur dendrotsenoziv stepu v umovakh promyslovoho mista. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*. 2013. Vyp. 18. № 2. S. 121–133.
6. Mashtaler O. V., Mylka A. V., Mikulich L. O. Otsinka stanu miskoho

seredovyshcha za pokaznykamy fluktuiuchoi asymetrii lystkiv *Betula pendula* Roth. (na prykladi m. Mohyliv-Podilskyi). *Acta Biologica Ukrainica*. 2021. № 1. S. 41–47. **7.** Leheta U. V., Sytnikova I. O. Otsinka ekolohichnoho stanu terytorii Chernivetskoï oblasti za intehralnym pokaznykom fluktuiuchoi asymetrii (na prykladi *Tussilago farfara* L.). *Pryrodnychiy almanakh*. 2012. S. 98–104. **8.** Butsiak A. A., Butsiak V. I., Muzika L. I. Vykorystannia roslyn bioindykatoriv dlia otsinky stanu atmosferneho povitria v zoni diialnosti Dobrotvirskoï TES. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhytskoho*. Lviv, 2018. S. 122–126. **9.** Metodychni rekomendatsii do vykonannia laboratornykh robot studentamy napriamu pidhotovky 6.040106 «Ekolohiia, okhrona navkolyshnoho seredovyshcha ta zbalansovane pryrodokorystuvannia» / A. I. Horova ta in. Natsionalnyi hirnychiy universytet. D., 2014. 76 s. **10.** Zdorove sredi: praktyka otsenky / Zakharov V. M. y dr. M. : Yzd. Tsentra ekol. polytyky Rossyy, 2000. 318 s. **11.** Pryshchepa A. M., Borshchevska I. M., Budnik Z. M., Brezhytska O. A., Kuryliuk O. M. Bioindykatsiina otsinka stanu povitrianoho seredovyshcha mista Rivnoho na osnovi analizu fluktuiuchoi asymetrii. *Visnyk natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Silskohospodarski nauky*. 2017. Vyp. 4(80). S. 30–38.

Klymenko M. O., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Borshchevska I. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Turchyna K. P., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Klymenko L. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL QUALITY OF THE CITY OF RIVNE BASED ON FLUCTUATING ASYMMETRY INDICATORS

The environmental quality of the city of Rivne was assessed by indicators of fluctuating asymmetry (FA). The magnitude of the asymmetry of the morphological features of leaf plates of the hanging birch (*Betula pendula*), which grows in different areas of the city with different degrees of technogenic load, was determined.

The state of the urban environment was assessed using a scoring scale based on test polygons. For the research, the city territory was divided into 12 test polygons covering residential, anthropogenically loaded and recreational areas, with an area of 1–5 km². Test polygons

I–IV represent the northern part of the city, IX–XII – the southern, V – the western, VI–VII – the central, VIII – the eastern part of the city.

To quantitatively express the degree of asymmetry of the plant organism, a deviation scale from the norm was developed, which characterizes the level of pollution of the territory based on the fluctuating asymmetry indicator, where 1 point is the "conditional norm", and 5 points are "critical condition".

Based on the calculation of the average value of FA, the dependence of the symmetry level violation due to urban environment pollution was established. *Betula pendula* is subjected to the greatest technogenic impact in the territories of 1, V, VII, IX and XI test polygons. The FA indicator in these parts of the city ranges from 0.057 to 0.060. The state of the environment is characterized as critical (about 50% of the city territory) and is estimated at 5 points. The most favorable is the environment in the area of X test polygon with a FA indicator of 0.037, which corresponds to the stability of the conditional norm and is estimated at 1 point.

The influence of atmospheric air pollution on the state of the generative organs of *Betula pendula* was revealed. It was established that among the five morphometric parameters, characteristic 3 (the distance between the bases of the 1st and 2nd veins) is the most sensitive to the influence of technogenic pollution. The most resistant characteristic to technogenic influence is parameter 2 – the length of the 2nd vein of the 2nd order.

Based on the data of field observations, a map of the state of the environment of the city of Rivne was created according to FA indicators for test polygons. Recommendations were proposed to improve the ecological situation of the city of Rivne: streamlining traffic, improving transport infrastructure, switching to electric transport.

Thus, the quality of the environment is determined by the state of atmospheric air, which is reflected through fluctuating asymmetry.

Keywords: fluctuating asymmetry (FA); anthropogenic impact; bioindication; pendulous birch (*Betula pendula*); bilateral symmetry; morphological features; environmental pollution.

Клименко М. О., д.с.-г.н., професор; Степаненко М. А., здобувач третього рівня вищої освіти (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, m.o.klimenko@nuwm.edu.ua; m.a.stepanenko@nuwm.edu.ua)

МЕТОДОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ НА ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЛЯХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

У статті обґрунтовано комплекс методичних підходів до відновлення деградованих ґрунтів і створення стійких лісових екосистем у Лісостеповій зоні України. Визначено, що близько 20% орних земель у регіоні зазнають деградації через інтенсивну водну ерозію, втрату гумусу та зменшення агрофізичних показників. На основі аналізу сучасних наукових джерел, розкрито переваги інтегрованого підходу, що поєднує механічне розпушення ґрунту, внесення органіки, мульчування та біотехнологічні засоби.

Описано етапи підготовки ділянок: очищення від рослинних залишків, використання чизельного розпушування та фрезерування для руйнування плужної підшви, внесення компосту або перегною (20–40 т/га) і мульчування тирсою товщиною 5–10 см, що забезпечують підвищення водоутримувальної здатності на 20–30% і зниження випаровування. Наведено критерії вибору та обробки посадкового матеріалу: поєднання прямого висіву насіння (скарифікація, хімічна обробка) із висадкою контейнерованих саджанців місцевих порід (*Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Salix alba*). Продемонстровано ефективність мікоризної інокуляції, що підвищує приживлюваність на 15–20% та стимулює розвиток кореневих гаусторій.

Акцентовано увагу на використанні біостимуляторів для активізації ґрунтової мікрофлори та прискорення росту рослин. Запропоновано інтегровані схеми висадки різноярусних насаджень із включенням колючих чагарникових бар'єрів (*Frangula alnus*, *Rhamnus cathartica*) для додаткового зміцнення ґрунту. Особливий акцент зроблено на впровадженні GIS-моніторингу та використанні супутникових індексів (NDVI) й безпілотних літальних апаратів для оперативної оцінки стану лісових ділянок і коригування

агротехнічних заходів. Практична значимість полягає в розробці адаптованої методичної бази для лісовідновлення в умовах України, що сприятиме стабілізації деградованих ландшафтів, підвищенню біорізноманіття й зменшенню викидів CO₂.

Ключові слова: деградовані землі; заліснення; ґрунтова ерозія; мульчування; мікоризна інокуляція; GIS-моніторинг; біостимулятори; Лісостеп України.

Постановка проблеми. Деградація ґрунтів в Україні є однією з найгостріших екологічних загроз сучасності. Особливо в Лісостеповій зоні, де сіро-лісові чорноземи, що традиційно забезпечують високу агроекологічну ефективність, нині вражені водною ерозією, втратами гумусу та структурною деградацією. Інтенсивне використання земель у поєднанні з недостатнім впровадженням агролісомеліоративних заходів призвело до того, що понад 20% орних площ України зазнають деградації різного ступеня. Щорічні втрати родючого шару ґрунту на схилах становлять сотні мільйонів тонн, що негативно впливає на продуктивність агроландшафтів, біорізноманіття та загальну екологічну стійкість регіону.

Наявні монолінійні підходи до відновлення деградованих земель виявилися недостатньо ефективними: механічна обробка ґрунту без подальшого закріплення насадженнями не припиняє ерозійні процеси, а внесення добрив лише тимчасово підвищує родючість. Недостача формалізованих методичних рекомендацій з інтегрованого застосування лісових екосистем як природного інструменту стабілізації ландшафтів створює необхідність розробки системного підходу, що поєднує агротехнічні, біотехнологічні та ландшафтно-орієнтовані рішення.

Основними викликами в межах розробки методології є забезпечення стійкості ґрунтового покриву на еродованих схилах та запобігання подальшим втратам родючого шару, а також правильний вибір посадкового матеріалу та технологій його підготовки, що гарантують високу приживлюваність на деградованих землях. Не менш важливою є оптимізація підготовки ділянок шляхом інтеграції механічних заходів із внесенням органічних добрив і мульчуванням для ефективного збереження вологи, а також застосування біотехнологічних засобів, зокрема мікоризної інокуляції, з метою посилення симбіозу між рослинами та ґрунтовою мікрофлорою.

Нарешті, слід розробити адаптивні схеми висадки різноярусних лісових насаджень з урахуванням специфіки кліматичних та ґрунтових умов Лісостепової зони України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки в науковій спільноті з відновлення деградованих земель домінують дослідження, що поєднують традиційні агротехнічні методи із сучасними біотехнологіями та інформаційними системами. Kumar і Patel виділили важливість ризосферних мікроорганізмів для поліпшення структури та поживності ґрунту шляхом інокуляції арбускулярними мікоризними грибами, що значно підвищує виживаність рослин у складних умовах [2]. Lee та Park у масштабних польових експериментах продемонстрували, що поєднання механічного розпушення, мульчування органічними матеріалами та дрібнокрапельного зрошення забезпечує оптимальні умови для росту саджанців на еродованих схилах [3].

Дослідження Choi й Kim звертають увагу на інтеграцію агролісомеліоративних заходів із дистанційним зондуванням і GIS-моніторингом, що дозволяє оперативно оцінювати стан ґрунту та вносити коригування у післяпосадковий догляд [4]. López та García розробили багоярусні схеми заліснення, в яких місцеві види дуба і ясена поєднані з насадженнями швидкоростучих акацій для швидкого стабілізування ґрунту та створення біоценотичних бар'єрів [1].

У китайському дослідженні Chen та співавтори описали ефективність мульчування рисовою лушпайкою в поєднанні з точковим краплинним зрошенням для підвищення вологоутримання ґрунту й зменшення ерозії [5]. Singh та колеги у Індії встановили, що передпосівна обробка насіння (приморозки з циклом заморожування-розморожування) у поєднанні з біостимуляторами забезпечує до 90% схожості насіння на виснажених ґрунтах [6].

Таким чином, сучасні практики свідчать про перевагу комплексного підходу: поєднання механічної обробки, органічного мульчування, біотехнологічних засобів та інформаційного моніторингу забезпечує найвищі показники приживлюваності та стабілізації ерозійно вразливих ділянок.

Мета, завдання та методики проведення досліджень

Мета дослідження полягає в системному узагальненні та адаптації міжнародного досвіду створення лісових екосистем на

деградованих землях до умов Лісостепової зони України на основі аналізу публікацій та практик авторитетних науковців.

Завдання дослідження полягають у комплексному аналізі та узагальненні світових та вітчизняних підходів до підготовки ділянок під заліснення, що включають механічні заходи, внесення органічних добрив, мульчування та протиерозійні системи, на основі результатів польових і лабораторних експериментів. Важливо узагальнити критерії підбору та передпосівної обробки посадкового матеріалу – насіння та саджанців – з урахуванням доказових даних про їхню схожість, приживлюваність і адаптацію локальних видів. Додатково дослідити ефективність біотехнологічних засобів, зокрема мікоризної інокуляції та застосування біостимуляторів, і оцінити їхній вплив на покращення фізико-хімічних властивостей ґрунту. Завершальним завданням є синтез практичних рекомендацій із використання GIS-моніторингу та точкових систем зрошення для оптимізації післяпосадкового догляду та оцінки стану насаджень.

Методологічна основа дослідження базується на бібліографічному огляді наукових публікацій, що дозволяє ідентифікувати сучасні технології заліснення деградованих земель. Контент-аналіз результатів польових, лабораторних та моделювальних досліджень авторитетних наукових груп допомагає виокремити найуспішніші практики. Порівняльний аналіз цих методик із урахуванням клімато-ґрунтових особливостей Лісостепової зони України сприяє виявленню можливостей їх адаптації. Зрештою, систематизація рекомендацій здійснюється відповідно до вимог МОН України та стратегії сталого розвитку, що забезпечує готовність методології до практичного впровадження. Такий підхід забезпечує наукову обґрунтованість методології та її готовність до застосування у практичних проєктах з відновлення деградованих земель у Лісостеповій зоні України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Створення методології заліснення деградованих земель Лісостепової зони України починається з детального аналізу етапів підготовки ділянок. Насамперед слід здійснити очищення території від самосіву бур'янів та залишків попередніх рослинних насаджень: це зменшує конкуренцію за вологу й поживні речовини, створюючи оптимальне середовище для контакту насіння або саджанців із родючим шаром ґрунту. Машинні методи видалення кореневищ у поєднанні з ручним

доопрацюванням поверхні забезпечують рівномірність залягання мульчі та добрив.

Після очищення здійснюється механічне розпушення ґрунту – культивування та фрезерування на глибину до 20 см, що значно покращує аерацію, посилює інфільтрацію дощових вод та знижує ущільнення типове для деградованих схилів. Одночасно цей процес допомагає інтегрувати органічні добрива, які вносяться наступним етапом.

Органічні добрива (компост, перегній) вносять у нормі 20–40 т/га із виробленням у верхній шар ґрунту на глибину 10–15 см. Ці матеріали відновлюють гумусний горизонт, стимулюють розвиток ґрунтової мікробіоти та підвищують водопоглинаючі властивості. Мульчування поверхні органічною стружкою, листям або тирсою шаром 5–10 см є ефективним заходом для зниження випаровування, пригнічення бур'янів та пом'якшення температурних стресів прикореневої зони.

Для захисту від ерозії важливими є інженерні рішення: влаштування борозен уздовж горизонталей, встановлення геоматів і тимчасових агроволоконних смуг у найбільш вразливих секторах схилів. Поєднання цих технічних заходів із висадкою чагарників на контурах створює природні бар'єри, що стабілізують ґрунт і сприяють акумуляції органічної речовини.

Порівняння ключових методів заліснення. У межах методології заліснення деградованих земель ключовими є п'ять технологічних груп заходів: механічне розпушення, внесення органічних добрив, мульчування, мікоризна інокуляція та GIS-моніторинг. Кожен із цих методів має специфічні цілі, переваги й обмеження. Подальший виклад матеріалу містить детальний порівняльний аналіз, що дозволяє обрати оптимальні комбінації заходів для різних умов Лісостепової зони.

Механічне розпушення. Процес механічного розпушування ґрунту здійснюється за допомогою чизельних борін або фрезерів із робочою глибиною 15–20 см (загалом 1–1,5 кратного розміру посадкової ями), що відповідає європейським стандартам EN ISO 8376 щодо ґрунтообробної техніки. Така глибина забезпечує якісне знищення плужної підшви та оптимальне аерування. Результатом є збільшення водопроникності на 30–40% та поліпшення коренеутворення. Водночас перевищення глибини розпушення може

пошкодити структуру глибинних шарів, що призводить до зниження пористості та потребує застосування ущільнюючих заходів згідно з технічними рекомендаціями FAO.

Крім того, іноді виникає ефект утворення плужної підшви, що вимагає проведення додаткових повторних заходів для відновлення оптимальної структури ґрунту.

Внесення органічних добрив. Органічні добрива (компост із співвідношенням C:N 20:1–30:1, сапропель, перегній) вносять у нормі 20–40 т/га із заробленням на глибину 10–15 см. Відповідно до методичних рекомендацій МОН (2020), склад органічної суміші повинен містити не менше ніж 45% органічної речовини та мати рН 6,5–7,5. Така підготовка відновлює гумусний горизонт, стимулює розвиток мікробіоти та підвищує водоутримувальну здатність ґрунту на 20–30%. Водночас важливо перевіряти відсутність важких металів та патогенів у добриві, що узгоджується з вимогами ЄС щодо безпеки ґрунтозахисних матеріалів.

Мульчування. Мульчування органічними матеріалами, зокрема тирсою, подрібненим листям або соломою, створює захисний шар товщиною 5–10 см, який ефективно знижує випаровування, стабілізує температуру ґрунту та пригнічує проростання бур'янів. Ці умови дозволяють підтримувати вологість на оптимальному рівні у перші роки після заліснення й запобігати утворенню ерозійних форм. Водночас мульча потребує регулярного оновлення – щонайменше одного-двох разів на рік – що підвищує обсяг робіт та матеріальних витрат. Крім того, органічні матеріали можуть стати притулком для комах або гризунів, що іноді вимагає додаткових заходів захисту проти шкідників.

Нижче подано результати дослідження, спрямованого на оцінку впливу різних матеріалів для мульчування та підживлення на температурний режим ґрунту в декількох горизонтах [15]. Ці дані є важливими для розуміння того, як комбіноване внесення тирси, торфу чи соломи з додатковим підживленням змінює умови в кореневій зоні та може сприяти покращенню росту і розвитку рослин при відновленні деградованих земель (рис. 1).

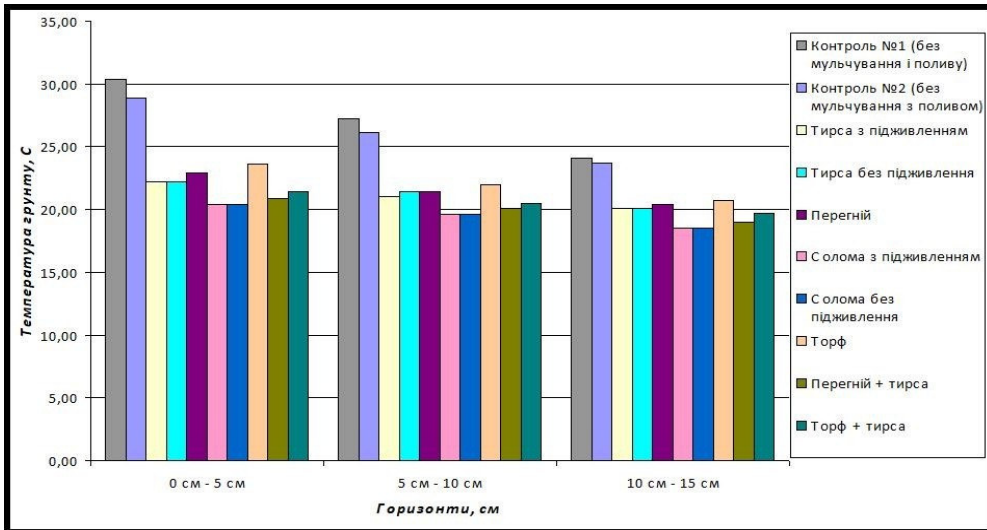


Рис. 1. Вплив різних видів мульчі на температуру ґрунту на різних глибинах у літній період [15]

З діаграми видно, що в порівнянні з контролем без мульчування і поливу, використання органічних матеріалів (тирса, торф, перегній) у різних комбінаціях загалом забезпечує більш помірні значення температури ґрунту. Це створює сприятливий мікроклімат, що може позитивно впливати на кореневу систему та мікробіологічну активність, а отже, сприяти ефективному відновленню й оздоровленню ґрунтового покриву.

Мікоризна інокуляція. Біопрепарат готують із культивованих ізолятів *Glomus intraradices* із концентрацією спорангій 100–200 спорангій/г. Перед обробкою насіння готують суспензію 1:100 (г/мл) та замочують насіння на 30 хвилин при температурі +20–+25° С, після чого висівають. Для саджанців обробка кореневої системи здійснюється в погрузному розчині протягом 10–15 хвилин безпосередньо перед посадкою. Такі параметри забезпечують науково підтверджене підвищення приживлюваності на 15–20% і поліпшення ростових показників (збільшення довжини гіф на 40%). Зберігання біопрепарату має відбуватися за температури +4–+8° С у герметичних контейнерах, термін придатності – до 6 місяців. Незважаючи на відносно високі витрати на придбання мікоризного інокулянту та необхідність професійного підходу, мікориза є одним із найдієвіших способів зміцнення ущільнених і виснажених ґрунтів.

GIS-моніторинг. Поєднує використання супутникових знімків, безпілотних літальних апаратів та наземних датчиків вологості та температури для оцінки стану насаджень і динаміки ерозійних процесів. За допомогою індексу зеленості (NDVI) та високої роздільної здатності аерозйомки фахівці отримують оперативні дані про щільність і здоров'я рослинного покриву, виявляють проблемні зони та коригують агротехнічні заходи у режимі реального часу. Технічний та кадровий ресурс, необхідний для реалізації GIS-моніторингу, є значним, проте його застосування призводить до підвищення точності і своєчасності управлінських рішень у проєктах лісовідновлення.

Інтеграція методів. Застосування усіх рекомендованих методів забезпечує до 90–95% приживлюваності рослин і суттєве зниження втрат ґрунту до 0,05 т/га за рік. Підбір локальних видів є важливим для забезпечення генетичної відповідності та адекватної адаптації до клімато-ґрунтових умов. У методології рекомендується використовувати дуб звичайний (*Quercus robur*), ясен звичайний (*Fraxinus excelsior*) та вербу білу (*Salix alba*) як базові види через їхню потужну кореневу систему та природну стійкість до водної ерозії. Чагарникові бар'єри з крушини ламкої (*Frangula alnus*) та жостеру слабкого (*Rhamnus cathartica*) утворюють додаткові смуги захисту.

Нижче представлено діаграму, що наочно ілюструє показники виживаності насаджень за різними методами. Цей графік дозволяє порівняти базову методологію прямого висіву без обробки з ефектами додаткових заходів, як-от скарифікація та застосування мікоризної інокуляції, а також з показниками висаджених саджанців. Аналіз діаграми допоможе зрозуміти, як комплексний підхід до підготовки посадкового матеріалу позитивно впливає на рівень приживлюваності, що є ключовим аспектом успішної рекультивації деградованих земель (рис. 2).

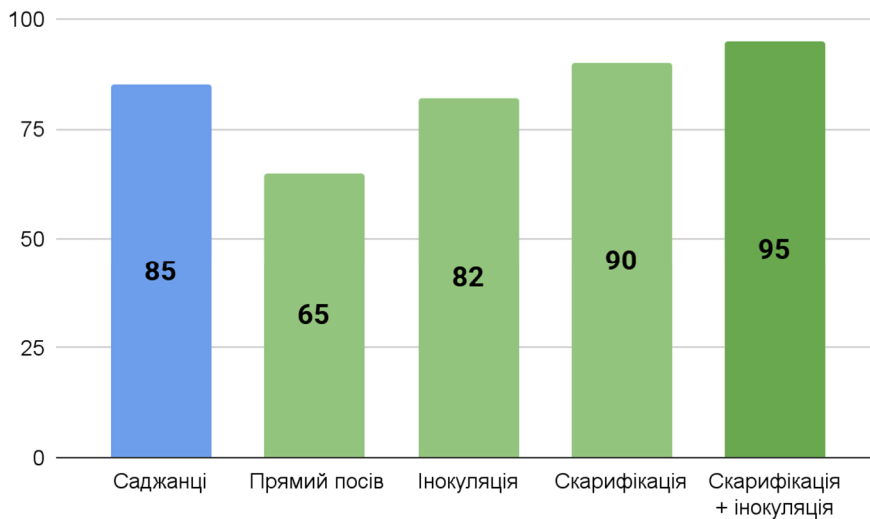


Рис. 2. Порівняння виживаності саджанців та прямого посіву при використанні різних методів підготовки посадкового матеріалу [4–7]

Представлена діаграма наочно демонструє, що застосування скарифікації та мікоризної інокуляції для прямого посіву суттєво підвищує виживаність рослин і наближається до показників висаджених саджанців. Зокрема, найвищі результати (95%) спостерігаються при поєднанні обох методів підготовки насіння, тоді як базовий прямий посів дає найнижчу виживаність (65%). Це свідчить про доцільність використання комбінованих біотехнологічних підходів у процесі відновлення деградованих земель.

Ефективна методологія поєднує комплекс із трьох-чотирьох методів залежно від локальних умов: схили з високою ерозією: механічне розпушування + мульчування + мікоризна інокуляція; площі зі стабільним рельєфом: внесення органіки + GIS-моніторинг + мульчування; швидке масштабне заліснення: прямий посів з мікоризою + механічне розпушування.

Висновки. Проведений аналіз методів створення лісових екосистем на деградованих землях Лісостепу України дозволяє зробити такі висновки. По-перше, найбільш ефективним є інтегрований підхід, у межах якого поєднуються механічне розпушування верхніх шарів ґрунту, внесення органічних добрив та мульчування, підсилені мікоризною інокуляцією. Така комбінація забезпечує як стабільну аерацію і водопроникність, так і тривале

відновлення гумусного горизонту та оптимальні умови в прикореневій зоні. По-друге, застосування GIS-моніторингу надає змогу оперативно відслідковувати стан насаджень і коригувати агротехнічні заходи без необхідності постійної фізичної присутності на ділянці.

Технологічні комбінації слід адаптувати відповідно до рельєфу та ступеня ерозійного ризику: на схилах із підвищеною ерозійністю оптимально використовувати механічне розпушення разом із мульчуванням та мікоризною інокуляцією, тоді як на рівнинних ділянках із відносно невисокою ерозійністю достатньо поєднання органічних добрив, мульчування та GIS-моніторингу. Прямий висів із попередньою біотехнологічною обробкою є доцільним для масштабних заходів заліснення, коли потрібне швидке формування рослинного покриву на великих площах.

Чіткість та простір розкладки технологічних операцій, визначення норм внесення матеріалів і алгоритмів їх застосування, а також використання місцевих біопрепаратів і адаптованих сортів деревних порід роблять розроблену методологію практичною для впровадження в умовах України. Водночас до ключових обмежень належать кліматичні коливання, неоднорідність структури сіро-лісових ґрунтів і логістичні виклики транспортування матеріалів. Їх можна мінімізувати за рахунок розробки місцевих запасів біопрепаратів, налагодження коротких логістичних ланцюгів та побудови систем автоматизованого моніторингу вологості.

У перспективі слід зосередитися на вдосконаленні біотехнологічних заходів, зокрема розробці нових біостимуляторів і мікоризних концентратів із поліпшеними адаптаційними властивостями до умов Лісостепу, а також на створенні бюджетних рішень для GIS-моніторингу на базі безпілотних платформ і відкритих супутникових даних. Це сприятиме підвищенню доступності та результативності заходів із відновлення деградованих ґрунтів і сприятиме екологічній безпеці й сталому лісовідновленню у регіоні.

1. López A., García R. Agroforestry buffers for soil stabilization in degraded lands. *Ecological Engineering*. 2018. Vol. 112. P. 123–132. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.015>.
2. Kumar V., Patel A. Arbuscular mycorrhizal fungi in restoration of degraded lands: A review. *Restoration Ecology*. 2017. Vol. 25(3). P. 412–422. URL: <https://doi.org/10.1111/rec.12453>.
3. Lee W., Park H. Field evaluation of soil preparation methods for erosion control in reforestation. *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 432. P. 1011–

1020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.032>. **4.** Choi J., Kim S. Integrated agroforestry and GIS monitoring for land restoration. *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 264. P. 110567. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110567>. **5.** Chen Y., Liu X., Zhang H. Effectiveness of rice husk mulch and drip irrigation on soil moisture retention. *Agricultural Water Management*. 2020. Vol. 237. P. 106196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106196>. **6.** Singh P., Sharma N., Yadav R. Pre-sowing seed treatments for enhanced germination in degraded soils. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. P. 1289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01289>. **7.** Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed.). Academic Press. 2010. **8.** Rillig M. C. Arbuscular mycorrhizae and soil aggregation. *Mycorrhiza*. 2004. Vol. 14(3). P. 97–110. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0214-2>. **9.** Van der Heijden M. G. A., Bardgett R. D., Van Straalen N. M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*. 2008. Vol. 11(3). P. 296–310. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>. **10.** Hart J. D., Griffin M. G., Scarth P. UAV-based remote sensing in land restoration projects. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 164–179. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.026>. **11.** Nelson R. G., Mues T. Drip irrigation efficiency in tree establishment. *Irrigation Science*. 2022. Vol. 40(5). P. 621–635. <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00810-2>. **12.** Titirici M., Jones W. Biochar for soil amendment: production and applications. *Carbon Resources Conversion*. 2023. Vol. 6(2). P. 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.04.005>. **13.** Liu X., Breitenbach J., Taylor A. GPS-guided tillage for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 190. P. 106425. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106425>. **14.** Walker J., Stevens C., Gregory P. Carbon sequestration potential of afforestation. *Global Change Biology*. 2021. Vol. 27(8). P. 1670–1683. <https://doi.org/10.1111/gcb.15512>. **15.** Khomenko I. I., Voloshin V. V. Influence of different mulch types in a nursery on features of growth processes, commodity and economic efficiency of apple seedlings growing on vegetative rootstocks. *Fruit Growing*. 2014. Vol. 26(1). P. 313–325.

REFERENCES:

1. López A., García R. Agroforestry buffers for soil stabilization in degraded lands. *Ecological Engineering*. 2018. Vol. 112. P. 123–132. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.015>. **2.** Kumar V., Patel A. Arbuscular mycorrhizal fungi in restoration of degraded lands: A review. *Restoration Ecology*. 2017. Vol. 25(3). P. 412–422. URL: <https://doi.org/10.1111/rec.12453>.

- 3.** Lee W., Park H. Field evaluation of soil preparation methods for erosion control in reforestation. *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 432. P. 1011–1020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.032>. **4.** Choi J., Kim S. Integrated agroforestry and GIS monitoring for land restoration. *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 264. P. 110567. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110567>. **5.** Chen Y., Liu X., Zhang H. Effectiveness of rice husk mulch and drip irrigation on soil moisture retention. *Agricultural Water Management*. 2020. Vol. 237. P. 106196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106196>. **6.** Singh P., Sharma N., Yadav R. Pre-sowing seed treatments for enhanced germination in degraded soils. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. P. 1289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01289>. **7.** Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed.). Academic Press. 2010. **8.** Rillig M. C. Arbuscular mycorrhizae and soil aggregation. *Mycorrhiza*. 2004. Vol. 14(3). P. 97–110. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0214-2>. **9.** Van der Heijden M. G. A., Bardgett R. D., Van Straalen N. M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*. 2008. Vol. 11(3). P. 296–310. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>. **10.** Hart J. D., Griffin M. G., Scarth P. UAV-based remote sensing in land restoration projects. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 164–179. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.026>. **11.** Nelson R. G., Mues T. Drip irrigation efficiency in tree establishment. *Irrigation Science*. 2022. Vol. 40(5). P. 621–635. <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00810-2>. **12.** Titirici M., Jones W. Biochar for soil amendment: production and applications. *Carbon Resources Conversion*. 2023. Vol. 6(2). P. 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.04.005>. **13.** Liu X., Breitenbach J., Taylor A. GPS-guided tillage for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 190. P. 106425. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106425>. **14.** Walker J., Stevens C., Gregory P. Carbon sequestration potential of afforestation. *Global Change Biology*. 2021. Vol. 27(8). P. 1670–1683. <https://doi.org/10.1111/gcb.15512>. **15.** Khomenko I. I., Voloshin V. V. Influence of different mulch types in a nursery on features of growth processes, commodity and economic efficiency of apple seedlings growing on vegetative rootstocks. *Fruit Growing*. 2014. Vol. 26(1). P. 313–325.
-

Klymenko M. O., Doctor of Agricultural Sciences, Professor;
Stepanenko M. A., Post-graduate Student (National University of Water
and Environmental Engineering, Rivne)

METHODOLOGY FOR THE ESTABLISHMENT OF FOREST ECOSYSTEMS ON DEGRADED LANDS IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF UKRAINE

The article substantiates a comprehensive methodological framework for restoring degraded soils and establishing resilient forest ecosystems in Ukraine's forest-steppe zone. It is established that approximately 20% of arable lands in this region suffer from degradation due to intensive water erosion, humus depletion, and deteriorating agro-physical properties. Based on the analysis of recent scientific sources the advantages of an integrated approach are revealed, combining mechanical soil loosening, organic amendments, mulching, and biotechnological tools.

The stages of site preparation are described: removal of plant residues, use of chisel ploughing and milling to break up plough pans, application of compost or manure (20–40 t/ha), and mulching with 5–10 cm of wood chips, which increase water retention by 20–30% and reduce evaporation. The role of drainage trenches, geomats, and erosion-control barriers in slope stabilization is identified. Criteria for selecting and treating planting material are provided: a combination of direct seeding (scarification, chemical treatment) with planting container-grown seedlings of local species (*Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Salix alba*). The effectiveness of mycorrhizal inoculation is demonstrated, raising survival rates by 15–20% and enhancing root development.

Emphasis is placed on using biostimulants to activate soil microbiota and accelerate plant growth. Integrated multi-tiered planting schemes are proposed, including thorny shrub barriers (*Frangula alnus*, *Rhamnus cathartica*) for additional soil reinforcement. A special focus is placed on implementing GIS monitoring using satellite indices (NDVI) and unmanned aerial vehicles for real-time assessment of forest plots and adjustment of agronomic measures. The practical significance lies in developing an adapted methodological base for reforestation in Ukrainian conditions, which will contribute to

stabilizing degraded landscapes, enhancing biodiversity, and reducing CO₂ emissions.

***Keywords:* degraded lands; afforestation; soil erosion; mulching; mycorrhizal inoculation; GIS monitoring; biostimulants; Forest-Steppe of Ukraine.**

Копій Л. І., д.с.-г.н., професор, Лісовий М. М., д.с.-г.н., професор, Новак А. А., к.с.-г.н., доцент (Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, kopiy@nltu.edu.ua; m.lisovyyj@nltu.edu.ua; novak@gmail.com), **Клименко О. М., д.с.-г.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.m.klymenko@nuwm.edu.ua), **Фізик І. В., к.с.-г.н., доцент, Гончар В. М., к.с.-г.н., доцент** (Надслучанський інститут НУВГП, м. Березне, i.v.fizyk@nuwm.edu.ua; v.m.honchar@nuwm.edu.ua), **Копій М. Л., к.с.-г.н., доцент, Хоєцький П. Б., д.с.-г.н., професор, Копій С. Л., к.с.-г.н., доцент, Агій В. О., аспірант** (Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, marykop16@ukr.net; hpb@ua.fm; s.kopiy@nltu.edu.ua; agijvasyl@gmail.com)

ВПЛИВ РЕГУЛЮВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУБОК ДОГЛЯДУ НА ФОРМУВАННЯ ВИДОВОЇ СТРУКТУРИ ДУБОВО-СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ

Наведено результати досліджень, проведених на постійних дослідних ділянках у дубово-соснових насадженнях свіжого та вологого дубово-соснового субору. Наведено вимірювальну та біометричну оцінки елементів лісу на пробних площах. Проаналізовано результати досліджень впливу інтенсивності рубок догляду на формування структури березово-соснових насаджень в умовах аналізованого типу лісу. Досліджено особливості зміни складу насаджень у віці очищення. Встановлено, що проріджування різної інтенсивності істотно впливають на структуру запасу деревини. Відзначено істотний негативний вплив на формування високопродуктивних деревостанів в таких умовах, надмірних доглядових рубань, що спричинятиме не тільки значне зниження середнього фактичного запасу деревостанів у віці стиглості, а й відчутне погіршення якості деревини. Отримані результати дозволяють об'єктивно підходити до планування лісогосподарських заходів у дубово-березово-соснових насадженнях свіжого соснового субору в процесі ведення лісового господарства.

Ключові слова: лісостан; насадження; сосна; дуб; середній вік;

умови зростання; повнота; структура; вимірювальні показники.

Постановка проблеми. Найбільш поширеними в досліджуваному регіоні типами лісу є свіжий та вологий дубово-сосновий субір (B_2 , B_3). В суборових умовах лісової зони зростають соснові ліси, які мають декілька кліматичних форм. Зокрема, у північній її частині корінні деревостани формуються за участю сосни звичайної та ялини європейської, у південній – за участю сосни та дуба звичайного, а в зоні сумісного проростання дуба та ялини – сосново-дубово-ялинові [1]. В місцях помірного зволоження на середньопідвищених ділянках рельєфу найбільш поширеним є свіжий дубовий субір (B_2), в умовах якого ростуть ліси з перевагою сосни звичайної, яка характеризується високою продуктивністю (I–I^a бонітету) і формує перший ярус деревостану. Серед другорядних порід, які ростуть у другому ярусі, є дуб, береза, осика, а в сирих гігروتобах – вільха чорна. У підліску зустрічаються бруслина бородавчаста, крушина ламка, бузина червона, горобина, сіра вільха та інші чагарники, характерні для цих умов. Досить різноманітним є трав'яний покрив: багно звичайне, чорниця, брусниця, суниця, верес, конвалія, орляк, зіновать руська, зозулин льон, біломох сизий, молінія блакитна, оленячий мох, чебрець звичайний та інші [2].

В таких умовах особливого значення для формування високопродуктивних деревостанів набуває інтенсивність біокругообігу мінеральних елементів в якому значну роль відіграє деревна рослинність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомо, що фітомаса щорічного опаду, величина досить нестабільна і може коливатись в досить значних межах. Відповідно до проведених досліджень різних авторів, річна фітомаса опаду в чистих соснових деревостанах свіжого бору Центрального Полісся коливається в межах 3,0–8,8 т/га, а свіжого субору – 3,5–5,5 т/га. Суттєвий вплив на вміст елементів N, P, K, Ca, Mg, повернутих з опадом має участь в складі соснових деревостанів листяних деревних порід. Зокрема, кількість азоту та інших зольних елементів, що повертається до ґрунту з опадом дуба звичайного сягає понад 260 кг/га, а в чистих соснових деревостанах показник сягає лише 64–83 кг/га [3–5].

Встановлено, що у свіжих та вологих дубових суборах похідні (чисті соснові) деревостани у вікових групах 0–30 років займають

понад 85%, що свідчить про недостатню увагу під час створення лісових насаджень, збереженню та відновленню дуба звичайного у їх складі.

Детальний аналіз домінуючих деревостанів в умовах Полісся дозволив відзначити суттєву перевагу соснових лісів, які домінують на піщаних ґрунтах у різних лісорослинних умовах та за різної вологості.

Проведені дослідження особливостей росту та розвитку лісостанів, які були сформовані в межах регіону досліджень впродовж декількох десятиліть, дозволили відзначити спрощений склад лісостанів за домінуванням сосни звичайної без участі листяних видів [6].

З метою виявлення окремих особливостей співвідношення таксаційних показників соснових деревостанів в умовах свіжих дубових суборів Західного Полісся, нами проведена закладка пробних площ в деревостанах даного типу лісу розташованих в різних лісництвах досліджуваного регіону. Характеристика площ подається в табл. 1 та 2.

Таблиця 1

Таксаційна характеристика пробних площ соснових деревостанів у свіжих суборах регіону досліджень

№ з/п	Кв.	Вид.	Поро- да	Спп, га	N, шт/га	Нд, шт/га	A, років	D, см	H, м	Нв, м	D, м	Нв, м	G, м ² /га	M, м ³ /га	Мд, м ³ /га
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Костопільський лісгосп, Костопільське лісництво															
2.	54	12	9 Сзв	1,00	151	149	91	33,7	25,1	27,7	48,4	22,1	13,5	154	153
			1 Дзв	1,00	19	12	91	32,3	24,6	28,5	45,4	19,8	1,6	19	18
			+ Бп	1,00	28	0	91	9,4	6,0	7,6	14,0	8,0	0,2	1	0
4.	34	9	9 Сзв	0,04	2525	525	32	10,7	11,8	12,5	15,0	2,6	22,5	125	49
			1 Бп	0,04	2100	375	32	5,0	8,9	10,3	15,0	2,6	4,1	21	3
			+ Дзв	0,04	400	100	32	2,9	6,1	8,4	15,0	2,6	0,3	1	0
15.	54	8	7 Сзв	0,25	984	772	29	15,4	13,5	14,2	19,8	5,9	18,3	114	105
			3 Бп	0,25	312	244	29	16,9	16,2	17,3	22,6	5,6	7,0	50	47
16.	52	37	10 Сзв	0,32	944	928	58	21,5	20,3	21,2	27,7	6,8	34,2	312	308
17.	51	30	10 Сзв	0,50	404	394	78	33,6	22,0	23,0	29,1	9,4	35,7	355	353
			+ Бп	0,50	68	0	78	14,0	18,3	19,7	25,5	4,6	1,0	9	0
Володимирецький лісгосп, Цепцевицьке лісництво															
1.	15	18	10 Сзв	1,00	508	476	66	26,8	23,8	24,9	33,1	8,8	28,7	307	292

продовження табл. 1

3.	29	7	10 Сзв	0,50	416	416	78	22,7	21,5	22,4	30,5	7,9	16,8	163	163
			+ Дзв	0,50	86	42	78	9,2	12,9	16,5	30,5	7,9	0,6	4	2
			+ Бп	0,50	24	14	78	12,8	16,4	20,3	30,5	7,9	0,3	2	2
9.	22	6	10 Сзв	0,48	459	459	60	24,7	26,0	27,1	32,2	5,3	22,0	256	256
			+ Бп	0,48	11	11	60	31,9	27,2	27,7	31,1	4,3	0,8	9	9
			+ Дзв	0,48	4	4	60	14,1	21,9	23,4	38,6	8,0	0,1	1	1
Володимирецький лісгосп, Красносільське лісництво															
6.	17	5	9 Сзв	0,30	813	677	75	23,6	23,2	24,3	30,8	6,7	35,7	375	353
			1 Бп	0,30	103	67	75	19,3	20,5	21,6	28,8	6,5	3,0	27	20
Рокитнівський лісгосп, Залавське лісництво															
10.	10	15	10 Сзв	0,40	500	433	74	26,1	20,1	21,3	30,4	10,7	26,8	245	230
			+ Бп	0,40	10	0	74	23,2	20,2	21,8	43,4	17,8	0,4	4	0
12.	10	5	9 Сзв	0,30	487	397	59	24,6	19,2	20,7	28,3	9,5	23,1	202	187
			1 Бп	0,30	213	0	59	11,3	14,5	16,3	25,9	6,6	2,2	15	0
			+ Ос	0,30	13	0	59	11,5	14,8	16,4	28,1	7,4	0,1	1	0
Остківський лісгосп, Мушнянське лісництво															
13.	34	15	10 Сзв	0,05	5662	0	15	5,2	3,3	3,5	4,8	1,9	12,1	51	0

Примітки: Спп – площа ділянки, N – кількість дерев, А – середній вік деревостану, D – середній діаметр, Н – середня висота елементу лісу, Нв – верхня висота елементу лісу, G – абсолютна повнота елементу лісу, М – запас елементу лісу, Мд – діловий запас елементу лісу.

Таблиця 2

Розрахунок елементарних частин соснового деревостану

№	Структурні показники	Елементарні частини деревостану (децилі)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	$d_{i\max}$	19,2	21,2	22,9	24,3	25,7	27,3	29,0	31,1	33,8	50,0
2.	$\bar{d}_i$	14,6	20,2	22,1	23,6	25,0	26,5	28,2	30,1	32,5	41,9
3.	$\bar{h}_i$	18,1	21,4	22,2	22,8	23,3	23,7	24,2	24,7	25,2	26,8
4.	$\bar{h}_{i\min}$	16,3	19,6	20,4	21,0	21,5	21,9	22,4	22,9	23,4	25,0
5.	$\bar{h}_{i\max}$	19,9	23,2	24,0	24,6	25,1	25,6	26,0	26,5	27,0	28,6
6.	f_i	0,447	0,446	0,446	0,446	0,446	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445
7.	$g_i, \%$	2,8	5,4	6,5	7,4	8,3	9,4	10,6	12,0	14,1	23,4
8.	$g_i, \%$	2,8	8,3	14,8	22,2	30,5	39,9	50,5	62,5	76,6	100,0
9.	$m_i, \%$	2,1	4,8	5,9	7,0	8,0	9,1	10,5	12,2	14,6	25,8
10.	$m_i, \%$	2,1	6,9	12,8	19,8	27,8	36,9	47,4	59,6	74,2	100,0

Відзначено, що в перших чотирьох децилях зростання запасу відбувається із зниженням відсоткової величини від загального запасу деревостану, а лише починаючи з п'ятого дециля відсоток зростання запасу кожного наступного дециля набуває чітко визначеної тенденції до зростання.

Результати оцінки розподілу запасу соснових деревостанів за елементарними частинами (децилями) у свіжому суборі в межах вищевказаного вікового діапазону показано на рис. 1.

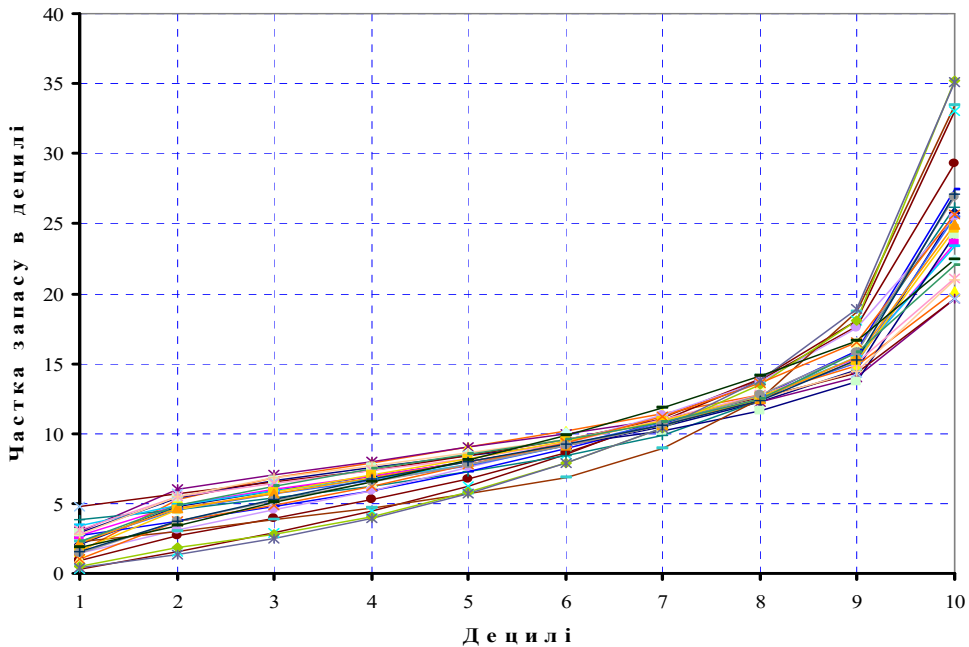


Рис. 1. Структура запасу соснових деревостанів різного віку у В₂

Аналіз розподілів частки запасу соснових деревостанів за децилями показує значну дисперсію показника в кожній елементарній частині. Особливо висока мінливість показника в крайніх децилях (1–3-й та 9–10-й). Найменш мінливий запас в 6–8 децилях.

Враховуючи виявлену мінливість запасу за децилями, нами проведено диференціацію отриманих даних за двадцятирічними класами віку. Аналіз фактичних даних дозволяє відзначити, що із збільшенням віку соснового деревостану мінливість запасу розподіленого за елементарними частинами в цілому для об'єкту зменшується від 76–78% до 60–65%, тобто більше ніж на 18%.

Диференційований аналіз частки запасу відповідно до виділених елементарних частин (децилів), дозволив відзначити чітко виражену закономірність сильної мінливості запасу в межах дециля у молодому віці лісостану. Однак зі зростанням його віку, мінливість показника в межах тої чи іншої децилі істотно зменшується. Так, наприклад, мінливість запасу 1-ї децилі в молодняках до 20 років зменшується з 116% до 10% в стиглих насадженнях віком 81 і більше років.

Подальший аналіз вказує на те, що мінливість запасу диференційованого за децилями зменшується до середини ряду розподілу. Особливо чітко ця закономірність спостерігається на краях ряду розподілу. Так, висока мінливість запасу відзначена нами у 1–4-й децилях молодняків та 1–2-й децилях пристигаючих насаджень сосни. Середня мінливість встановлена для 9–10-ї децилей в молодняках та 10-ї децилі в пристигаючих насадженнях сосни.

Для посилення однорідності отриманих даних, проведено вилучення пробних площ, які не відповідали встановленим вимогам. Залишено лише ті пробні площі насадження яких характеризуються I^a класом бонітету та високою повнотою. Результати статистичної оцінки цих об'єктів подано в таблицях 3 та 4.

В результаті проведеного вилучення нехарактерних пробних площ вдалось забезпечити зменшення мінливості запасу в децилях, і в цілому для деревостану. Відзначено також, що середні значення часток запасу окремої децилі характеризується чіткою закономірністю зростання в нижніх децилях зі збільшенням віку деревостану, а у вищих децилях навпаки – зменшення.

Важливу роль у підвищенні продуктивності ґрунтів в умовах суборів відіграє склад насаджень. Так, в чистих насаджень бідних суборів, при значному вмісті азоту у накопиченій підстилці, повернення його в ґрунт проходить досить повільно.

В окремих випадках цей процес може розтягуватись на період до 20 років. Суттєво впливає на інтенсивність розкладу органічної речовини в суборевих умовах вміст в складі соснових деревостанів листяних порід (берези повислої та дуба звичайного).

Таблиця 3

**Структура запасу соснових деревостанів різного віку, бонітету та
повноти в свіжому суборі**

Показник	Розподіл запасу (в %) за децилями										Разом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Деревостан до 20 років											
Середнє значення	2,1	3,6	4,6	5,9	7,3	9,0	10,9	13,3	16,6	26,8	100
Мінливість	116,1	61,6	43,9	30,3	19,1	10,3	3,7	4,7	13,9	29,1	75,8
Деревостан 21–40 років											
Середнє значення	1,9	3,2	4,4	5,6	7,0	8,6	10,6	13,2	17,0	28,5	100
Мінливість	59,7	34,7	25,2	18,7	13,7	10,8	8,4	5,6	7,2	16,5	78,1
Деревостан 41–60 років											
Середнє значення	2,0	4,3	5,6	6,8	8,0	9,3	10,7	12,6	15,2	25,5	100
Мінливість	46,2	22,1	15,5	9,7	5,2	2,4	3,0	4,3	5,7	12,7	65,1
Деревостан 61–80 років											
Середнє значення	2,0	4,7	5,9	7,1	8,2	9,5	11,0	12,7	15,3	23,5	100
Мінливість	31,8	21,6	16,9	13,1	9,8	6,3	3,1	4,3	7,7	14,8	60,1

Таблиця 4

**Структура запасу високоповнотних соснових деревостанів різного
віку I^a бонітету в свіжому суборі**

Показник	Розподіл запасу (в %) за децилями										Разом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Деревостан до 20 років											
Середнє значення	0,7	2,5	3,7	5,1	6,7	8,6	10,8	13,7	17,7	30,4	100
Мінливість	60,5	67,7	46,8	32,6	21,3	12,2	5,1	1,0	9,9	21,9	88,2
Деревостан 21–40 років											
Середнє значення	1,5	3,3	4,6	5,8	7,3	8,9	10,9	13,4	16,7	27,5	100
Мінливість	57,6	42,3	33,8	26,1	17,9	11,2	7,4	6,3	7,8	24,5	77,2
Деревостан 41–60 років											
Середнє значення	1,4	3,7	5,1	6,5	7,8	9,2	10,6	12,5	15,4	27,7	100
Мінливість	16,5	19,7	14,4	9,3	4,8	2,6	2,1	1,5	1,9	11,0	72,4
Деревостан 61–80 років											
Середнє значення	2,6	5,4	6,7	7,8	8,7	9,8	10,9	12,4	14,9	20,8	100
Мінливість	19,9	14,8	8,5	5,0	4,1	2,8	1,8	1,5	8,4	8,1	50,6

За цих умов реакція ґрунтового розчину наближається до середньоокислої та збільшується насиченість ґрунтового вбирного комплексу обмінним кальцієм та магнієм (до 30%) і зменшується кількість рухомого алюмінію. Поряд з тим опад з сосни та листяних порід є основним джерелом накопичення гумусу в межах цього типу лісу. Запаси гумусу в метровому шарі ґрунту різних варіантів суборевих типів можуть коливатись в значних межах (від 23 до 60 т/га). Ці особливості суттєво впливають на хід росту та продуктивність деревостанів в таких умовах.

Для покращення впливу доглядових рубок під час проведення запланованих господарських заходів доцільно використовувати відповідні рекомендації щодо інтенсивності господарських втручань в молоді лісостани залежно від ґрунтово-кліматичних умов, які опрацьовані під час відповідних досліджень на стаціонарних дослідних об'єктах [7–9].

На сучасному етапі особливої актуальності набуває пошук оптимального співвідношення інтенсивності та повторюваності доглядових рубань. Класичні вимоги проведення доглядових рубань німецької школи передбачають швидкий початок і частіше повторювання доглядових рубань. Проте такий підхід, як правило, призводить не тільки до значного зростання фінансових витрат на проведення лісогосподарських заходів, а й сприяє зростанню антропогенного навантаження на лісову екосистему. Зменшення кількості прийомів та підвищення інтенсивності вибірки дерев в окремих випадках виправдовується економічно і біологічно, але не дозволяє на належному рівні забезпечити формування екологічно стійкого та високопродуктивного деревостану.

Неефективне використання показників інтенсивності рубок догляду під час доглядових заходів може мати істотний негативний вплив на подальше формування структури соснових деревостанів в період значного приросту і впливатиме на величину позитивного ефекту від рубок догляду в період значного приросту соснових деревостанів.

Проведені нами дослідження дозволили відзначити, що несвоєчасне призначення в рубку дерев нижніх децилів, сприяє пригніченню росту кращих дерев, внаслідок вилучення з ґрунту значної кількості поживних речовин.

Відповідно до проведеного аналізу можна зробити висновок, що

під час проведення відповідних лісогосподарських заходів відбувається активізація приросту деревостанів, що має суттєвий позитивний вплив на ріст і розвиток лісових насаджень за участю домінуючої деревної породи, що доцільно враховувати в подальшій господарській діяльності.

Такий захід дозволить більш ефективно використовувати потенційні умови середовища для зростання приросту насаджень.

Проведений аналіз соснових деревостанів на закладених пробних площах дозволив відзначити, проведення доглядових заходів у ранньому віці сприяє покращенню таксаційних показників в соснових деревостанах у вищих вікових групах. У подальшому крива середніх висоти та діаметру аналізованих деревостанів вказує на поступове зниження рівномірного приросту цього показника.

Запізнення з проведенням доглядових втручань зумовлює випадкове випадання екземплярів сосни на ділянці. Ефективний вплив на формування соснових деревостанів можна досягнути шляхом вчасного впливу на регулювання кількості екземплярів сосни на одиниці площі.

Аналіз специфіки зміни густоти соснових деревостанів з віком та особливостей формування їх основних таксаційних показників у відповідних лісорослинних умовах сприятиме підвищенню основних таксаційних показників соснових деревостанів в досліджуваних умовах і сприятиме вдосконаленню алгоритму лісогосподарських заходів у відтворенні корінних високопродуктивних лісостанів в аналізованих умовах.

Зокрема, варто зазначити, що зменшення кількості екземплярів сосни на одиниці площі має чітко виражених декілька періодів. Початковий, характерний для деревостанів у віці до 20 років. Визначені особливості росту соснових деревостанів в аналізованому типі лісу вказують на стабільний інтенсивний їх приріст до віку 45–50 років. В цей період накопичується понад 50% запасу майбутнього стиглого деревостану. Відповідно в цей період необхідно приділяти максимальну увагу догляду за деревостаном.

За складом в умовах досліджуваного регіону переважають соснові насадження, тому доцільно проводити відповідні заходи з метою збільшення участі в складі соснових лісостанів регіону листяних деревних видів, що дозволить істотно підвищити їх стійкість до впливу негативних екологічних чинників.

Характерним є поступове зменшення площі похідних деревостанів в умовах аналізованих типів лісу від 30 до 50 років. В подальшому у віці понад 50 років також спостерігається поступове зростання площі похідних деревостанів. Так, у віці 61–80 років відсоток корінних деревостанів в умовах аналізованих типів лісу складає лише декілька відсотків. Характерна кліматична домішка свіжих та вологих суборевиx гігротопів – дуб звичайний, відсутня в складі більшості лісостанів, що створює несприятливі умови для росту, розвитку соснових насаджень та істотно послаблює їх стійкість.

Проведені нами типологічні дослідження дозволили відзначити, що наявність значної кількості похідних деревостанів у вологих і свіжих суборах аналізованих лісництв Зарічненського лісгоспу сприяє зменшенню відсотку використання типологічного потенціалу цих лісорослинних умов. Так, у віці до 30-ти років відсоток використання типологічного потенціалу вологого дубового субору коливається в межах 46–47%, а свіжого дубового субору – 71–72%.

У складі сформованих насаджень поряд з сосною звичайною беруть участь лише м'яколистяні деревні породи. Високий відсоток використання типологічного потенціалу у аналізованих типах лісу характерний для свіжих умов у віці 21–30 та 61–80 років, який тут коливається в межах від 80 до 96%, а для вологих гігротопів – у віці 21–50 та 61–80 років, що змінюється в межах від 78 до 87%.

Отримані нами результати дозволили відзначити певні особливості середніх приростів та запасів аналізованих соснових деревостанів досліджуваного регіону (рис. 2).

Значний спад приросту відзначений нами у віці 31–60 років вказує на те, що в цей період застосовувались доглядові рубання значної інтенсивності, що зумовило істотне коливання показника приросту. Варто зазначити, що за подібною схемою проводились доглядові рубання в соснових деревостанах 41–60 років в умовах вологих дубових суборів. Висока інтенсивність доглядових рубок в період проведення проріджень та прохідних рубок зумовила суттєве коливання запасу пристигаючих деревостанів.

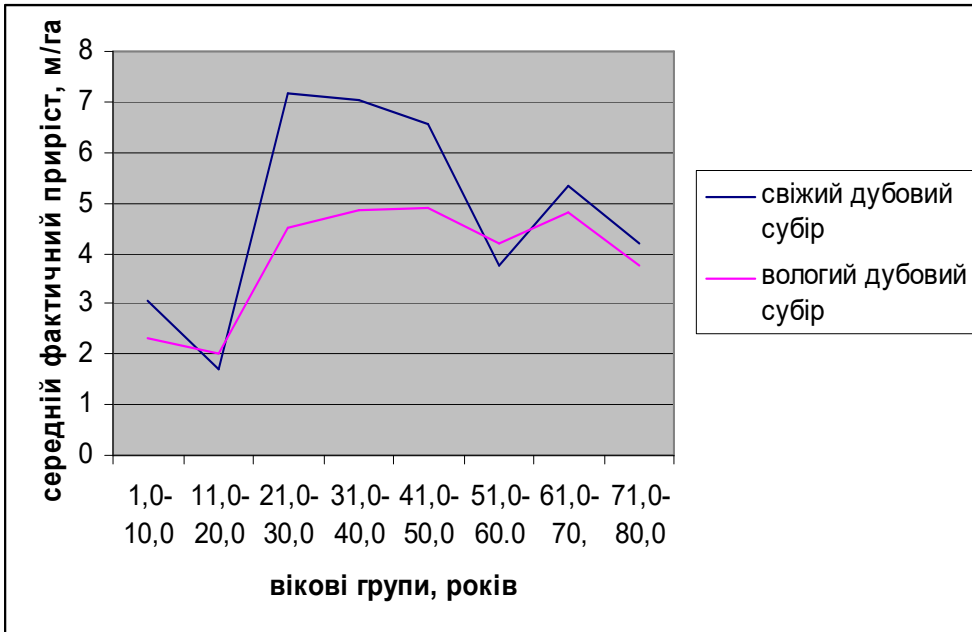


Рис. 2. Динаміка середнього фактичного приросту соснових деревостанів в умовах свіжого та вологого дубового субору Зарічненського лісгоспу

Зокрема, в цей же ж період спостерігається суттєве зниження середнього фактичного запасу соснових деревостанів, як в умовах свіжого, так і вологого дубового субору. Аналіз приросту деревостанів типологічного еталону для аналізованих умов дозволив відзначити, що показники середнього фактичного приросту та середнього фактичного запасу також відзначаються подібними коливанням в цей же період (рис. 3, табл. 5 та 6).

Надмірна інтенсивність доглядових рубань в період найбільш інтенсивного приросту деревостану сприяла суттєвому зменшенню запасу та зумовила погіршення якісних характеристик деревини. Внаслідок інтенсивного розрідження деревостанів значно знизилась повнота насаджень, що сприяло істотному розростанню бокових гілок екземплярів сосни, які залишились на ділянках.

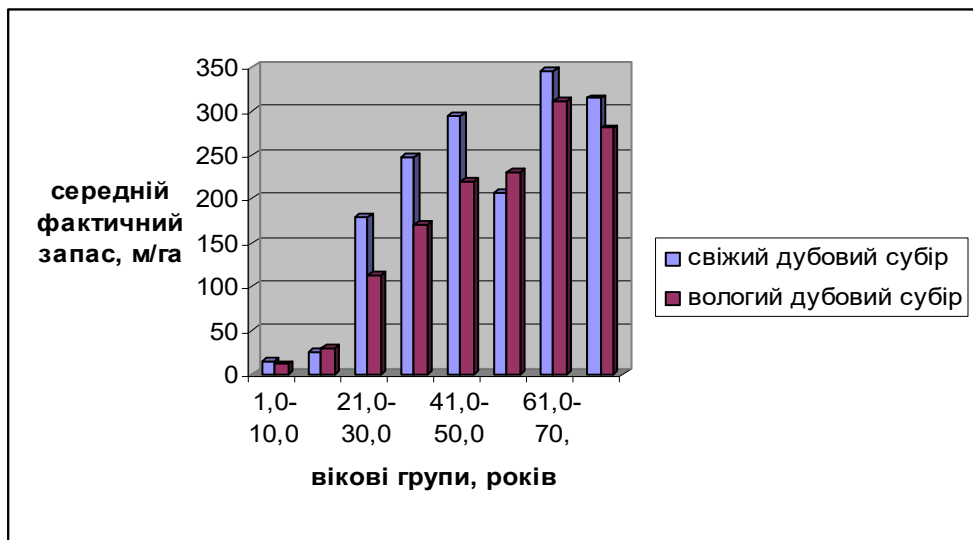


Рис. 3. Динаміка середніх фактичних запасів соснових деревостанів в умовах свіжого та вологого дубового субору Зарічненського лісгоспу

Висновки. Проведені дослідження дозволили відзначити певні негативні наслідки для росту і розвитку соснових деревостанів в умовах свіжих та вологих суборів Зарічненського лісгоспу, а саме – недостатньої уваги під час формування корінних деревостанів характерній кліматичній домішці, якою в таких лісорослинних умовах виступає дуб звичайний.

Відзначено істотний негативний вплив на формування високопродуктивних деревостанів в даних умовах, надмірних доглядових рубань, що сприятиме не тільки значному зниженню середнього фактичного запасу деревостанів у віці стиглості, а й відчутному погіршенню якості деревини внаслідок більш інтенсивного розростання гілок і формування більшої кількості сучків.

Під час вирощування лісостанів у таких лісорослинних умовах необхідно з раннього віку приділяти значну увагу збереженню та введенню до складу соснових насаджень дуба звичайного, а також чітко дотримуватись вимог щодо регулярності, інтенсивності та якості проведення доглядових рубань.

Таблиця 5

Типологічний аналіз свіжого дубового субору Зарічненського лісгоспу

№ з/п	Група віку, років	Кількість ділянок, шт.	Площа, га	Фактичний запас на всій площі, м ³	Середній фактичний запас, м ³ /га	Середній фактичний приріст, м ³ /га	Існуючий типологічний еталон				Потенційний запас на всій площі, м ³	Відсоток використ. типологіч. потенц., %
							Склад деревостану	Середній приріст, м ³ /га	Повнота	Запас, м ³ /га		
1.	0–10	6	15.2	240.0	15.4	3.08	8С2Б	2.44	0.85	22.0	334.4	71.8
2.	11–20	11	24.9	640.0	25.7	1.71	8С2Б	1.89	0.76	36.0	896.4	71.4
3.	21–30	7	20.1	3600.0	179.1	7.16	7С3Б+Д	7.46	0.83	224.0	4502.4	80.0
4.	31–40	38	120.6	29760.0	246.8	7.05	10С+Д	8.58	0.88	343.0	41365.8	71.9
5.	41–50	37	117.8	34660.0	294.2	6.54	9С1Б+Д	9.00	0.89	378.0	44528.4	77.8
6.	51–60	3	2.8	580.0	207.1	3.77	9С1Б	4.65	0.69	279.0	781.2	74.2
7.	61–70	11	26.3	9100.0	346.0	5.32	10С+Б+Д	5.55	0.70	361.0	9494.3	95.9
8.	71–80	6	10.8	3400.0	314.8	4.19	9С1Б	4.49	0.65	337.0	9918.0	83.9
	38.8	119	338.5	81980.0	242.2	6.24	9.2С0.7Б 0.1Д	8.51	0.85	330.3	111820.9	73.3

Таблиця 6

Типологічний аналіз вологого дубового су бору Зарічненського лісгоспу

№ з/п	Група віку, років	Кількість ділянок, шт.	Площа, га	Фактичний запас на всій площі, м³	Середній фактичний запас, м³/га	Середній фактичний приріст, м³/га	Існуючий типологічний еталон				Потенційний запас на всій площі, м³	Відсоток використ. типологіч. потенц., %
							Склад деревостану	Середній приріст, м³/га	Повнота	Запас, м³/га		
1.	0–10	18	78.4	910.0	11.6	2.32	9С1Б+Д	2.50	0.70	25.0	1960.0	46.4
2.	11–20	41	106.0	3210.0	30.3	2.02	8С1Б1Д	3.42	0.75	65.0	6890.0	46.6
3.	21–30	30	67.8	7650.0	112.8	4.51	9С1Б+Д	5.42	0.85	130.0	8814.0	86.8
4.	31–40	48	184.4	31440.0	170.5	4.87	9С1Б+Д	5.41	0.80	200.0	36880.0	85.2
5.	41–50	53	203.6	44820.0	220.1	4.89	8С2Б+Д	5.87	0.88	264.0	53750.4	83.4
6.	51–60	31	99.3	22830.0	229.9	4.18	9С1Б+Д	5.20	0.78	312.0	30981.6	73.7
7.	61–70	46	140.3	43730.0	311.7	4.80	9С1Б+Д	5.41	0.80	379.0	53173.7	82.2
8.	71–80	23	64.0	17940.0	280.3	3.74	9С1Д+Б	4.77	0.74	358.0	22912.0	78.3
	41.0	290	943.8	172530.0	182.8	4.46	8.7С1.0Б0.3Д	5.57	0.80	228.2	215361.7	80.1

1. Копій Л. І., Мелешчук О. О. Продуктивність, структура соснових деревостанів в умовах свіжого дубового субору Західного Полісся. *Наук. вісник Нац. лісотех. ун-ту України* : зб. наук.-техн. праць. 2007. Вип. 17.4. С. 65–69. 2. Геоботанічне районування Української РСР. К. : Наукова думка, 1977. 304 с. 3. Копій Л. І., Каганяк Ю. Й., Михайленко М. М. Структура деревостанів свіжого соснового бору Західного Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України* : зб. наук.-техн. праць. 2009. Вип. 19.7. С. 7–14. 4. Бондар І. П. Біотичний кругообіг мінеральних елементів та шляхи його регулювання в соснових деревостанах Центрального Полісся України : автореф. дис. ... канд. сільгосп. наук : 06.03.03. Львів, 2007. 20 с. 5. Цурик Є. І. Лісознавство: Екологія, ріст і розвиток лісу. Львів : НЛТУ України, 2011. Т. 2. 296 с. 6. Копій Л. І. Біологія деревних порід. УЕЛ. Львів, 1999. Т. 1. С. 64. 7. Копій Л. І. Вплив лісу на вітер. УЕЛ. Львів, 1999. Т. 1. С. 143. 8. Копій Л. І. Вплив лісу на ґрунтові води. УЕЛ. Львів, 1999. Т. 1. С. 143. 9. Копій Л. І. Кругообіг вологи в лісі. УЕЛ. Львів, 1999. Т. 1. С. 375.

REFERENCES:

1. Kopii L. I., Meleshchuk O. O. Produktivnist, struktura sosnovykh derevostaniv v umovakh svizhoho dubovoho suboru Zakhidnoho Polissia. *Nauk. visnyk Nats. lisotekh. un-tu Ukrainy* : zb. nauk.-tekhn. prats. 2007. Vyp. 17.4. S. 65–69. 2. Heobotanichne raionuvannia Ukrainskoi RSR. K. : Naukova dumka, 1977. 304 s. 3. Kopii L. I., Kahaniak Yu. Y., Mykhailenko M. M. Struktura derevostaniv svizhoho sosnovoho boru Zakhidnoho Polissia. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* : zb. nauk.-tekhn. prats. 2009. Vyp. 19.7. S. 7–14. 4. Bondar I. P. Biotychnyi kruhoobih mineralnykh elementiv ta shliakhy yoho rehuliuвання v sosnovykh derevostanakh Tsentralnoho Polissia Ukrainy : avtoref. dys. ... kand. silhosp. nauk : 06.03.03. Lviv, 2007. 20 s. 5. Tsuryk Ye. I. Lisoznavstvo: Ekolohiia, rist i rozvytok lisu. Lviv : NLTU Ukrainy, 2011. T. 2. 296 s. 6. Kopii L. I. Biolohiia derevnykh porid. UEL. Lviv, 1999. T. 1. S. 64. 7. Kopii L. I. Vplyv lisu na viter. UEL. Lviv, 1999. T. 1. S. 143. 8. Kopii L. I. Vplyv lisu na gruntovi vody. UEL. Lviv, 1999. T. 1. S. 143. 9. Kopii L. I. Kruhoobih volohy v lisi. UEL. Lviv, 1999. T. 1. S. 375.

Kopii L. I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Lisovyi M. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Novak A. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (National Forestry University of Ukraine, Lviv), Klymenko O. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), Fyzk I. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Honchar V. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Nadsluchansky Institute NUWM, Berezne), Kopii M. L., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Khoietskyi P. B., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kopii S. L., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Ahii V. O., Post-graduate Student (National Forestry University of Ukraine, Lviv)

INFLUENCE OF THINNING INTENSITY ON THE DEVELOPMENT OF SPECIES COMPOSITION IN OAK-PINE STANDS OF WESTERN POLISSIA

This article presents the findings of long-term research conducted on permanent sample plots within oak-pine stands of fresh and moist woodland types growing on oligo-mesotrophic soils. The study includes comprehensive dendrometric and biometric assessments of stand components under varying thinning intensities.

The paper presents the results of assessing the stock distribution of pine stands by elementary segments (deciles) within fresh forest sites across different age classes.

The paper analysed the influence of thinning intensity on the development of species composition and structural dynamics, with particular emphasis on mixed birch-pine formations under the given site conditions. The author examined the changes in stand composition during the thinning phase. The results indicate that thinning intensity exerts a significant influence on the structural parameters of the growing stock.

Typological investigations have shown that the presence of a significant proportion of secondary (derivative) stands in moist and fresh forest sites of the analysed forest districts of the Zarichne Forestry Enterprise reduces the utilisation rate of the typological potential of these site conditions. In most cases, the established stands

consist primarily of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), accompanied only by softwood deciduous species.

Excessive thinning was found to negatively impact the formation of highly productive and stable stands, leading to a marked reduction in timber volume at maturity and a decline in wood quality.

Given the dominance of pine stands in the study region, it is advisable to implement targeted silvicultural measures aimed at increasing the share of broadleaved tree species in the composition of regional pine stands. Such an approach would considerably enhance their resilience to the effects of adverse environmental factors.

The study provides an evidence-based framework for the optimisation of silvicultural practices in oak-birch-pine stands within fresh oligo-mesotrophic forest sites, thereby contributing to improved forest management and sustainable stand productivity.

Keywords: forest stand; stand; pine; oak; average age; growth.

УДК 63:54;631.9

<https://doi.org/10.31713/vs2202511>

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

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ АГРОХІМІЧНОЇ ПАСПОРТИЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

В роботі проаналізовано загальнометодичні (науковометодичні) аспекти агрохімічної паспортизації. Показано, що відповідно до методичних особливостей, агрохімпаспортизація є довготривалим виробничим масовим (географічним) однофакторним дослідом. Технічно, агрохімпаспортизація є елементом агротехніки, пов'язаним із застосуванням добрив та меліорантів, або впровадженням певних сівозмін. Юридично агрохімпаспортизацію започатковано для оцінки впливу господарської діяльності на стан ґрунту з точки зору екологічного законодавства. Специфіка агрохімпаспортизації як польового дослідження полягає у комплексності досліджуваного фактору («господарська діяльність») та в особливості застосування принципу єдиної відміни. Інші особливості полягають в умовах проведення – виробничі, та за масштабами – масові або географічні. Масові масштаби дослідження дозволяють отримувати наукові дані без порівняльних варіантів та, відповідно, без повторностей. Такі дані дають можливість оцінити вплив господарської діяльності на стан ґрунту на рівні сільради або співставного по розмірах господарства (3–5 тис. га). Проте, аналіз змін стану окремого поля потребує адаптації принципу єдиної відміни щодо умов відбирання зразків. Для вирішення цього питання запропоновано визначити та встановити мінімальну різницю між попереднім та поточним значеннями, яка (зміна) вже вважатиметься суттєвою з точки зору агроекологічного оцінювання.

Ключові слова: агрохімічна паспортизація; масовий (географічний) польовий дослід; наукова агрономія.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день існує багато

визначень статусу агрохімічної паспортизації. Відповідно до чинного законодавства, агрохімічна паспортизація (АХП, агрохімпаспортизація, паспортизація) є елементом системи моніторингу навколишнього середовища [1; 2; 3]. Крім того, земельне законодавство визначає агрохімпаспортизацію як елемент системи охорони земель [4]. Проте, йдеться про показники, які непридатні поняттю «земля». Земля – це двовимірний масив, який не має властивостей природного тіла або речовини; отже, вона (земля) не змінюється в агрономічному або ґрунтознавчому сенсі [5; 6].

Технічно, роботи з агрохімпаспортизації – це агрохімічні обстеження, які є елементом рослинництва. Показники стану ґрунту, які визначаються в агрохімпаспорті, чинять вплив на стан сільськогосподарських культур. Таким чином, на сьогодні є потреба згрупувати та сформулювати усі аспекти агрохімпаспортизації задля об'єктивного та адекватного державного регулювання та побудови відносин із усіма учасниками цього процесу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання визначення статусу агрохімпаспортизації з погляду її методичної сутності досі залишається відкритим.

Практична цінність агрохімпаспортизації констатується та відображається постійно: у наукових публікаціях, але насамперед – за результатами роботи фахівців ДУ «Держґрунтохорона».

Для сільгосптоваровиробника показники, що входять до агрохімпаспорта, становлять практичний інтерес. Відомо, що азот, фосфор та калій впливають на ростові процеси, кількість та якість врожаю, стійкість рослин до низьких та високих температур.

Мікроелементи впливають на якість засвоювання макроелементів, а також на перебіг процесів запилення, росту, і так само на жаро-, посухо- та морозостійкість.

Солонцюватість, засоленість та рівень рН впливають на поглинання рослиною елементів живлення.

Це загальна оцінка показників агрохімпаспорта, ми не ставимо завдання у цій публікації розгорнуто висвітлити їхнє значення для росту та розвитку рослини, кількості та якості врожаю.

З погляду моніторингу навколишнього середовища, зазначені показники також є показниками екологічного стану ґрунту.

Згідно з Указом Президента України [3], моніторинг стану ґрунтів (агрохімічна паспортизація) на землях сільськогосподарського

призначення проводиться кожні 5–10 років залежно від категорій угідь, а саме:

- ґрунти сіножатей, пасовищ та перелогів, багаторічних насаджень – кожні 10 років;
- ґрунти під ріллею – кожні 5 років;
- у разі землевласника або землекористувача (достроково).

Постанова КМУ від 22 листопада 2017 р. № 890 передбачає проведення агрохімічної паспортизації на землях комунальної та державної власності кожні 3 роки [7].

Метою агрохімічної паспортизації є визначення стану ґрунтів (точніше – змін у стані ґрунтів) після певного періоду господарської діяльності на відповідних територіях. Тобто фактично відстежується вплив діяльності сільгосптоваровиробника на стан ґрунту за визначений період.

Таким чином, очевидними є як мінімум два аспекти агрохімпаспортизації – агрономічний та екологічний.

Щодо визначення агрохімпаспортизації як елементу охорони земель, в попередніх роботах вже було вказано на змістовну суперечливість між цими поняттями. Також було показано, що агрохімпаспортизація – це функція держави, яку не може бути доручено приватним структурам.

Відомо, що агрохімпаспортизація є чітко регламентованим за допомогою відповідної методики процесом [8]. Саме статус цієї методики, та передбачених нею дій, потребує більш чіткого визначення.

Виклад основного матеріалу. Формулювання, пов'язані із агрохімічною паспортизацією, за сутністю та логікою перетинаються із визначеннями, прийнятими в аграрній науці.

Так, наприклад, технологічний вплив на ґрунт є штучно створеним фактором, якого не існує в природі. Отже, дослід – умови, штучно створені дослідником за допомогою використання різних варіацій того фактора, який є об'єктом досліджень. Досліди бувають агротехнічні і сортовипробувальні [9, С. 14].

Тобто, формально та логічно агрохімпаспортизація є науковою діяльністю, елементом якої є польовий дослід. Водночас, є й очевидні відмінності від класичного польового дослідження, які викликані специфікою агрохімпаспортизації.

Вплив господарської діяльності з погляду методики наукових

досліджень в агрономії можна розглядати як комплексний фактор, від дії якого залежить стан ґрунту. Отже, за кількістю факторів, агрохімпаспортизація є однофакторним дослідом. За місцем проведення цей дослід є виробничим, що передбачається усіма нормативними документами. За часом проведення, залежно від обстежуваних полів, це або багаторічні (11–50 років), або довготривалі (понад 50 років) досліді. Ще один критерій є дуже співзвучним із визначенням у науково-методичній літературі: «Масові (географічні) досліді проводяться в різних ґрунтово-кліматичних зонах за єдиною схемою і методикою, що розробляються координативним науковим центром, який керує дослідженнями, приймає звіти, узагальнює результати і розробляє рекомендації» [9, С. 34–36]. Таким чином, агрохімпаспортизація є однофакторним довготривалим виробничим географічним дослідом, зі специфікою, притаманною такій категорії дослідів.

На відміну від класичного польового досліді, у масовому географічному досліді експериментальний матеріал збирається у режимі пасивного спостереження. Активний формат, притаманний польовому експерименту, де має місце дозування факторів або штучне створення певних умов. У випадку із агрохімпаспортизацією активний формат є організаційно та змістовно неможливим.

Фактор «вплив господарської діяльності» є комплексним та змінним за наповненістю. Господарська діяльність, яка полягає у проведенні агротехнічних заходів, постійно змінюється в часі, по суті, та за великою кількістю інших параметрів. Передбачається, що фактором, вплив якого вивчається, є виробнича діяльність протягом нормативно визначеного часу (3, 5, 10 років). Разом із часовим періодом, є певна кількість визначених та невизначених факторів, які можуть впливати на показники родючості ґрунту. Методика не передбачає оцінку впливу конкретного елементу агротехніки на стан ґрунту, оцінюється результат за певний часовий період в цілому.

Поруч із специфікою, є й загальнометодичні вимоги, яким мають відповідати практично будь-які досліді. Одна з цих вимог – це дотримання принципу єдиної відміни.

Стан ґрунту є відносно змінним за одними показниками, та стабільним – за іншими. Найбільш стабільним показниками є гранулометричний склад, вміст гумусу, CO₂-карбонатів, «активного» вапна. Це показники, які найменше залежать від антропогенного

впливу на богарі та найменше змінюються в природних умовах.

Вміст азоту в ґрунті є одним з найбільш динамічних показників. Нітратний азот мігрує по профілю разом із ґрунтовим розчином, та загалом швидко поглинається рослинами. Інші форми азоту також швидко поглинаються рослинами, мікроорганізмами, ґрунтовими колоїдами та окислюються до нітритів та нітратів.

Вміст рухомих форм калію та фосфору є більш стабільним, ніж вміст азоту, але теж може досить відчутно коливатися за певних обставин. Вміст рухомого фосфору збільшується після вирощування гречки, вміст рухомого калію – після розкладання решток кукурудзи та соняшника.

Окремим випадком є агроеліоративні заходи із покращення стану ґрунтів:

- високі дози гною та інших передплантажних добрив під плантажну оранку;
- сама плантажна оранка;
- внесення меліорантів, що впливають на рН, вміст карбонатів та вапна на склад поглинених основ.

Протягом сезону, під час росту рослин та дозрівання врожаю, поживні елементи (макро-, мезо-, мікро-) поглинаються рослинами. Завдяки наявності запасів елементів у вигляді малорухомих форм, кількість рухомих форм відновлюється. Цьому також сприяє підкислення ґрунту, навіть без внесення відповідних добрив.

Таким чином, коливання показників агрохімпаспорта можуть бути зумовлені не тільки співвідношенням виносу та внесення, а ще й іншими факторами:

- часом відбору зразків;
- зміною рН ґрунту;
- впливом попередника, або культури, що займає поле під час відбору зразків ґрунту.

Окреме питання – антагонізм елементів живлення. Насамперед між тими, що вносяться, та тими, що вже є в ґрунті. В такому разі внесення може не призвести до бажаного підвищення у ґрунті того чи іншого елемента.

Отже, умови проведення агрохімпаспортизації за різних турів апріорі не є однаковими. Так само формальне дотримання принципу єдиної відміни, який є обов'язковим для класичного експерименту, теж має бути скориговане.

Усе вищенаведене свідчить про те, що необхідне певне осучаснення окремих методичних положень в порядку проведення агрохімпаспортизації. Йдеться не про те, що методика агрохімпаспортизації застаріла або має серйозні вади. Досі за результатами агрохімпаспортизації оцінювалася загальна картина в масштабах сільради або співставного господарства. Цей напрям працює й зараз, ДУ «Держґрунтохорона» виконує необхідні планові роботи, вивчає стан ґрунтів в межах планових завдань.

При цьому, виробничий досвід установи свідчить про необхідність проведення порівняльного аналізу на менших площах. Це пов'язано із наявністю господарств із невеликим площею (50–100 га або навіть менше), а також із тим, що землі комунальної власності передаються в оренду у вигляді ділянок площею не більше 20 га, згідно із частиною 4 статті 136 Земельного кодексу України [10]. Відтак, виникає необхідність адаптувати деякі моменти з методики агрохімічної паспортизації до випадків із невеликими за площею ділянками.

На сьогодні ці методичні моменти знаходяться у стадії опрацювання.

Отже, технічно агрохімічна паспортизація є агрохімічним заходом; методично – масовий довготривалий виробничий польовий дослід. Юридичний статус агрохімпаспортизації – елемент моніторингу навколишнього середовища. На жаль, в земельному законодавстві має місце плутанина та невизначеність зі статусом, суб'єктами та обов'язковістю агрохімічної паспортизації [4]. Всі ці характеристики свідчать про те, що агрохімічна паспортизація є прикладною науковою діяльністю у сфері рослинництва, яка одночасно є джерелом екологічної інформації [11].

Висновки. Оскільки агрохімічна паспортизація є науково-виробничою роботою сільськогосподарської спрямованості, її виконавцем має бути наукова установа зі сфери компетенції Мінагрополітики. Результати агрохімічної паспортизації можуть бути враховані екологічною службою для ухвалення рішень щодо можливого порушення певними особами екологічного законодавства; відсутність підпорядкованості суб'єкта агрохімпаспортизації (ДУ «Держґрунтохорона») Міністерству екології прибирає будь-які закиди щодо необ'єктивності результатів.

Сьогоднішній стан земельних відносин свідчить про необхідність підвищення роздільної здатності моніторингу сільськогосподарських

угідь для більш точної оцінки впливу господарської діяльності товаровиробника на стан ґрунту на невеликих площах.

1. Про затвердження переліку видів діяльності, що належать до природоохоронних заходів : Постанова Кабінету Міністрів України від 17 вересня 1996 р. N 1147. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1147-96-%D0%BF#Text> (дата звернення: 12.03.2025). **2.** Про схвалення Концепції реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища : Розпорядження Кабінету міністрів України від 31 травня 2017 р. № 616-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/616-2017-%D1%80#n8>. (дата звернення: 12.03.2025). **3.** Про суцільну агрохімічну паспортизацію земель сільськогосподарського призначення : Указ Президента України від 2.12.1995 р. № 1118/95. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1118/95#Text> (дата звернення: 14.03.2025). **4.** Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення системи управління та дерегуляції у сфері земельних відносин : Закон України від 28.04.2021 р. № 1423-IX. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/CardByRn?regNum=2194&conv=9> (дата звернення: 12.03.2025). **5.** Е. В. Куліджанов. Деякі термінологічні аспекти охорони ґрунтів в Україні. *Ґрунти в сучасному світі* : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 55-річчю кафедри географії України, ґрунтознавства і земельного кадастру ОНУ імені І. І. Мечникова. (Одеса, 23–24 груд. 2022 р.). Одеса : Фенікс, 2022. С. 40–43. **6.** Куліджанов Е. В., Мартиненко В. М. Технологічні недоліки нормативної бази щодо охорони ґрунтів в Україні. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Сільськогосподарські науки*. 2024. Вип. 4(108). С. 129–151. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs4202410> **7.** Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України : Постанова кабінету Міністрів України від 22 листопада 2017 р. № 890. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/890-2017-%D0%BF#Text> (дата звернення: 12.03.2025). **8.** Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. Яцука І. П., Балюка С. А. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с. **9.** Основи наукових досліджень в агрономії : підручник / В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, П. В. Костогриз, В. П. Опришко ; за ред. В. О. Єщенка. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с. **10.** Земельний кодекс України (Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2002. № 3–4, ст. 27). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення: 12.03.2025). **11.** Стандарт вищої освіти України : наказ Міністерства освіти і науки України від 05.12.2018 р. № 1339. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/201-Agronomiya-bakalavr.21.10.2022.pdf> (дата звернення: 12.03.2025).

REFERENCES:

1. Pro zatverdzhennia pereliku vydiv diialnosti, shcho nalezhat do pryrodookhoronnykh zakhodiv : Postanova kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17 veresnia 1996 r. N 1147. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1147-96-%D0%BF#Text> (data zvernennia: 12.03.2025).
2. Pro skhvalennia Kontseptsii reformuvannia systemy derzhavnoho nahliadu (kontroliu) u sferi okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha : Rozporiadzhennia Kabinetu ministriv Ukrainy vid 31 travnia 2017 r. № 616-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/616-2017-%D1%80#n8>. (data zvernennia: 12.03.2025).
3. Pro sutsilnu ahrokhimichnu pasportyzatsiiu zemel silskohospodarskoho pryznachennia : Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 2.12.1995 r. № 1118/95. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1118/95#Text> (data zvernennia: 14.03.2025).
4. Pro vnesennia zmin do deiakykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo vdoshkonalennia systemy upravlinnia ta derehuliatcii u sferi zemelnykh vidnosyn : Zakon Ukrainy vid 28.04.2021 r. № 1423-IX. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/CardByRn?regNum=2194&conv=9> (data zvernennia: 12.03.2025).
5. E. V. Kulidzhanov. Deiaki terminolohichni aspekty okhorony gruntiv v Ukraini. *Grundy v suchasnomu sviti* : materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoï 55-richchiu kafedry heohrafii Ukrainy, gruntoznavstva i zemelnogo kadastru ONU imeni I. I. Mechnykova. (Odesa, 23–24 hrud. 2022 r.). Odesa : Feniks, 2022. S. 40–43.
6. Kulidzhanov E. V., Martynenko V. M. Tekhnolohichni nedoliky normatyvnoi bazy shchodo okhorony gruntiv v Ukraini. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2024. Vyp. 4(108). S. 129–151. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs4202410>
7. Pro vnesennia zmin do deiakykh postanov Kabinetu Ministriv Ukrainy : Postanova kabinetu Ministriv Ukrainy vid 22 lystopada 2017 r. № 890. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/890-2017-%D0%BF#Text> (data zvernennia: 12.03.2025).
8. Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia: kerivnyi normatyvnyi dokument / za red. Yatsuka I. P., Baliuka S. A. 2-he vyd., dopov. Kyiv, 2019. 108 s.
9. Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii : pidruchnyk / V. O. Yeshchenko, P. H. Kopytko, P. V. Kostohryz, V. P. Opryshko ; za red. V. O. Yeshchenka. Vinnytsia : PP «TD «Edelveis i K», 2014. 332 s.
10. Zemelnyi kodeks Ukrainy (Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR). 2002. № 3–4, st. 27). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (data zvernennia: 12.03.2025).
11. Standart vyshchoi osvity Ukrainy : nakaz Ministerstva osvity i nauky Ukrainy vid 05.12.2018 r. № 1339. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/201-Agronomiya-bakalavr.21.10.2022.pdf> (data zvernennia: 12.03.2025).

Kulidzhanov E. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Director (Southern Interregional Center State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine», Odesa), **Associate Professor** (Odessa State Agrarian University), **Martynenko V. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.)**

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF AGRICULTURAL LANDS AGROCHEMICAL PASPORTIZATION

The commonly methodological, and scientifically methodological aspects of agrochemical passportization were analyzed. It was proved, that, in accordance to the methodological features, the agrochemical passportization is a multi-factorial, massive (geographical), agro-productional, long-term field experiment. Technically, agrochemical passportization is an agrotechnology element, which is connected with fertilizers and meliorants application, certain crop-rotations implementation. Legally, the passportization was initiated for the estimation agro-productional activities affect, on the soil condition, from the ecological legacy point of view. The specificity of agrochemical certification, as a field study, consists in complexity of the factor ("productional activity") being studied; and also – in the application peculiarities of the single difference principle. Other peculiarities conclude the conditions of the experiment: after the place – production-conditioned, after the coverage – the massive or the geographical. The massive scale of research allows us to extract scientific data without variations comparison, and certainly without replications. Such data make it possible to evaluate the effect of agro-productional activity in the scale of village council, or on the comparable in size agricultural farm (3–5 thousand hectares). However, the analysis of changes in the separate field will require adaptation of the principle of a single diversity entirely to the conditions of patterns sampling. To address this issue, it is proposed to determine and establish the value of the minimum difference between the previous and current values, which (change) will already be considered significant from the point of view of agroecological assessment.

Keywords: agrochemical passportization; mass (geographic) field experiment; scientific agronomy.

Лісовий М. М., д.с.-г.н., професор, Копій Л. І., д.с.-г.н., професор (Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, kopiy@nltu.edu.ua; m.lisovyj@nltu.edu.ua), **Клименко О. М., д.с.-г.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.m.klymenko@nuwm.edu.ua), **Фізик І. В., к.с.-г.н., доцент, Гончар В. М., к.с.-г.н., доцент** (Надслучанський інститут НУВГП, м. Березне, i.v.fizyk@nuwm.edu.ua; v.m.honchar@nuwm.edu.ua), **Копій С. Л., к.с.-г.н., доцент, Хоєцький П. Б., д.с.-г.н., професор, Копій М. Л., к.с.-г.н., доцент, Агій В. О., аспірант** (Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, s.kopiy@nltu.edu.ua; hpb@ua.fm; marykop16@ukr.net; agijvasyl@gmail.com), **Гожан М. Я., к.с.-г.н., директор** (ТзОВ «Форест-Експерт», gozanmukola@gmail.com)

ВПЛИВ РЕЧОВИН-СТЕРИЛЯНТІВ НА ДЕКОНТАМІНАЦІЮ ЕКСПЛАНТІВ *PINUS SYLVESTRIS* L. В КУЛЬТУРІ *IN VITRO*

Проведено аналіз та узагальнення літературних даних, як вітчизняних, так і іноземних вчених, які стосуються досягнень у сфері мікроклонального розмноження в культурі *in vitro* рослин *Pinus sylvestris* L., зокрема процесу деконтамінації вихідних експлантів. Виконано дослідження впливу концентрації хімічних агентів-стериліантів, а також тривалості обробки (експозиції) ними на стерилізацію вихідних експлантів досліджуваного виду. Детально охарактеризовано використану методику проведення експериментальних досліджень по отриманню асептичної культури експлантів *Pinus sylvestris* L. для подальшого розмноження їх *in vitro*. Проведено тестування ступінчастої схеми деконтамінації рослинного матеріалу, яка проходила у два основні етапи: первинна та модифікована стерилізація. Перший етап полягав у обробці експлантів наступним чином: протічна вода із відповідним детергентом («Твін 80»), пероксид водню (H_2O_2) (1; 2; 3% та 3; 5; 10 хвилин), етиловий спирт (C_2H_5OH) (50; 70; 96% та 5; 10; 15 секунд) у наведених концентраціях та експозиціях. Модифікацію первинної схеми деконтамінації експлантів виконували із використанням таких основних хімічних речовин: $NaClO$ (10; 20; 30% та 3; 5;

7 хвилин), AgNO_3 (0,1; 0,2; 0,3% та 5; 10; 15 хвилин) та HgCl_2 (1; 2; 3% та 5; 10; 15 хвилин). Щоб запобігти розвитку внутрішніх інфекцій, застосовували 0,1% антибіотик «Іманін». Виконано дослідження конкретного окремого впливу основних хімічних агентів-стериліантів на ефективність стерилізації та життєздатність експлантів *Pinus sylvestris* L.

Експериментально встановлено оптимальну ступінчасту схему деконтамінації експлантів досліджуваного виду, яка забезпечила ефективність стерилізації $94,33 \pm 1,41\%$ та життєздатність експлантів $91,7 \pm 1,34\%$ і полягала у почерговому обробітку рослинного матеріалу наступним чином: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (96%; 10 с) + H_2O з детергентом (6 год) + H_2O_2 (3%; 10 хвилин) + $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (70%; 10 с) + AgNO_3 (0,2%; 5 хвилин) + NaClO (30%; 5 хвилин).

Ключові слова: деконтамінація; експозиція; концентрація; ефективність стерилізації; життєздатність експлантів.

Постановка проблеми. Досліджуваний вид (*Pinus sylvestris* L.) є хвойним деревом першої величини, яке здатне рости до 20–40 м заввишки та до 80–150 см за діаметром [1; 2]. Сосна звичайна – оліготроф, ксерофіт, морозостійкий і світлолюбний вид, який становить близько 35% від усього державного лісового фонду нашої країни. Вона здатна формувати деревостани у борах, суборах і сугрудах. Деревина досліджуваного виду широко застосовується у якості будівельного матеріалу та сировини у паперово-целюлозній промисловості, з живиці виготовляють скипидар і каніфоль, а у фармакології застосовується пилок, бруньки, кора та хвоя, оскільки вони містять значну кількість аскорбінової кислоти [1].

Окремим пунктом слід відзначити широкий генетичний поліморфізм сосни звичайної (екологічні та морфологічні відміни), який робить її дуже перспективним видом для використання у озелененні населених пунктів [3–5].

Така господарська цінність *Pinus sylvestris* L. і формує потребу у освоєнні нових, сучасних та ефективних способів розмноження, та промислового виробництва селекційно цінного садивного матеріалу. До таких способів належить мікроклонування. Основними перевагами розмноження рослинних організмів *in vitro* є проходження ними у процесі оздоровлення, а також перспектива отримати необхідну кількість одиниць садивного матеріалу із невеликої кількості вихідних

експлантів завдяки можливості їх намноження. Окремою важливою перевагою також є абсолютне збереження усіх спадкових особливостей материнських особин та отримання генетично-ідентичних клонів [6–8].

В цілому, увесь технологічний процес мікроклонального розмноження рослин складають наступні ключові етапи: деконтамінація (стерилізація), ініціації (стимулювання росту експланта), мультиплікація (намноження пагонів), ризогенез (укорінення експлантів) та адаптація (акліматизація до зовнішніх умов). Отримання асептичної культури експлантів є першим важливим завданням при виконанні мікроклонування рослин, який створює передумови для подальшого успішного проходження інших етапів. Основне на у процесі деконтамінації є вивільнення піддослідного рослинного матеріалу (експлантів) від шкідливих патогенів. Для цього використовують відповідні хімічні реагенти (хіміотерапія). Важливим аспектом досліджуваного процесу є збереження максимальної кількості життєздатних експлантів, для чого потрібно виключити їх пошкодження застосованими хімічними стерилізантами [5; 9–12].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Потрібно зазначити, що у літературних даних немає описаної однозначної методики розмноження досліджуваного виду мікроклонуванням. Так, у праці Шлапака В. В. та Небикова М. В. (2011) описано перспективи розмноження в умовах *in vitro* рослин сосни звичайної із використанням як експланти насіння молодих особин (25–30 років). Найкращі показники деконтамінації такого рослинного матеріалу забезпечував його обробіток 0,1% водним розчином дихлориду ртуті протягом 1 хвилини, із подальшим культивуванням на живильному середовищі за рецептом Мурасіге – Скуга (MS), до якого додавали 6-БАП (2,0 мг/л) [13]. Дослідження, проведені Andersone U. та Levinsh G. (2002), стосувались впливу періоду заготівлі і зберігання бруньок як матеріалу для формування вихідних експлантів на проходження морфогенезу в умовах *in vitro*. Крім цього, вказані вчені (2008) досліджували вплив рН живильного середовища на мікроклонування досліджуваного виду. В результаті було встановлено, що під час культивування експлантів сосни звичайної вони окислюють поживне середовище, а тому потрібно знижувати вихідний рівень рН для успішного культивування [14; 15]. Авторами Niemi K. та ін. (2002) встановлено вплив екзогенних діамінів на взаємодії між

ектомікоризними грибами та процесами утворення адвентивних коренів у клонів досліджуваного виду *in vitro*. У цих дослідженнях як експланти було використано насіння, яке піддавали попередній стерилізації 2% гіпохлоридом кальцію протягом 20 хвилин із наступним промиванням дистильованою водою [16].

Загалом, потрібно зазначити доцільність та актуальність дослідження впливу концентрації та експозиції агентів стериліантів на деконтамінацію вихідних експлантів *Pinus sylvestris* L. в умовах *in vitro*, оскільки такі узагальненні дані у літературі відсутні.

Мета та методи дослідження. Наведена інформація дає можливість зробити висновок про доцільність виконання експериментальних досліджень зі встановлення впливу основних хімічних агентів-стериліантів на процес деконтамінації експлантів *Pinus sylvestris* L. при розмноженні *in vitro*.

Об'єкт дослідження – асептичні експланти *Pinus sylvestris* L.

Предмет дослідження – деконтамінація вихідних експлантів *Pinus sylvestris* L. для подальшого їх розмноження *in vitro*.

Мета дослідження – встановити вплив концентрації та тривалості обробітку (експозиції) хімічних реагентів-стериліантів на процес деконтамінації експлантів *Pinus sylvestris* L. в умовах *in vitro* та розробити оптимальний протокол їх стерилізації.

Дослідження успішності по деконтамінації експлантів *Pinus sylvestris* L. проводили у лабораторії культури тканин кафедри лісових культур і лісової селекції НЛТУ України, за загальноприйнятими методиками, а також у власних їх модифікаціях [10; 17; 18]. У якості вихідних експлантів використовувались бічні та верхівкові вегетативні бруньки досліджуваного виду. Усі роботи виконували у асептичних умовах.

Окремі дослідники стверджують про ефективність проведення стерилізації вихідних експлантів із використанням одного хімічного агента. Вважаємо це не до кінця ефективним, оскільки певні патогени можуть мати резистентність до окремого стериліанта, або бути не стійким до іншого. У нашій роботі була застосована ступінчаста схема стерилізації, яка передбачала почерговий обробіток експлантів досліджуваного виду низкою агентів у різних концентраціях та комбінаціях (табл. 1).

Таблиця 1

Використані речовини для деконтамінації вихідних експлантів

№ з/п	Стерилізуючий агент	Концентрація	Експозиція
1	протічна H ₂ O + детергент + «Твін 80»	10 + 5 г/л	2, 4, 6 годин
2	H ₂ O ₂	1; 2; 3%	3; 5; 10 хвилин
3	C ₂ H ₅ OH*	50; 70; 96%	5; 10; 15 секунд
4	NaClO	10; 20; 30%	3; 5; 7 хвилин
5	AgNO ₃	0,1; 0,2; 0,3%	5; 10; 15 хвилин
6	HgCl ₂	1; 2; 3%	5; 10; 15 хвилин

*Примітка: усі варіанти досліду були проведені із першочерговим обробітком експлантів етанолом, з метою видалення смоляного нальоту.

Речовини 1–3 (табл. 1) було використано як «первинна стерилізація» у всіх можливих комбінаціях. Вплив речовин під номером 4–6 («модифікована стерилізація») на процес деконтамінації експлантів, досліджувався окремо. Подолання внутрішньої інфекції у всіх варіантах досліджень виконували обробітком 0,1% водним розчином антибіотику «Іманін».

Простерилізований рослинний матеріал пасажували на живильне середовище MS (Murashige and Skoog) без стимуляторів росту та спостерігали протягом 10–15 діб. На основі отриманих результатів визначали наступні показники стерилізації:

- Ефективність стерилізації (ЕС), за формулою:

$$EC = (nC / N) \times 100\%, \quad (1)$$

де nC – кількість отриманих асептичних експлантів, шт.;

N – загальна кількість простерилізованих експлантів, шт.

- Життєздатність експлантів (ЖЕ), за формулою:

$$JE = (nЖ / N) \times 100 \%, \quad (2)$$

де $nЖ$ – кількість отриманих живих експлантів (без некротичних та інфікованих), шт.

Результати дослідження та їх обговорення. Основна мета первинної стерилізації полягала у забезпеченні максимальної кількості асептичних експлантів, а також виключення варіантів із утворенням некротичного матеріалу, оскільки у подальшому проводили модифікацію процесу деконтамінації вказаними основними стерилізантами.

Попередньо дослідженням було встановлено оптимальну первинну стерилізацію, яка забезпечила 44,8% асептичних

життєздатних експлантів, а саме: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (96%; 10 секунд) + H_2O з детергентом (6 годин) + H_2O_2 (3%; 10 хвилин) + $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (70%; 10 секунд).

Подальше визначення оптимальної концентрації, експозиції ті типу основних реагентів (AgNO_3 , NaClO та HgCl_2) було можливе завдяки дискретному аналізу їх впливу на ефективність стерилізації та життєздатність експлантів досліджуваного виду. Треба зазначити, що ефективність стерилізації експлантів досліджуваного виду варіювала у межах 53,3–100% за їх життєздатності 36,7–100%.

За обробки експлантів досліджуваного виду AgNO_3 встановлено, що експозиція має порівняно менший вплив на ефективність стерилізації, відносно концентрації цієї речовини (рис. 1, а).

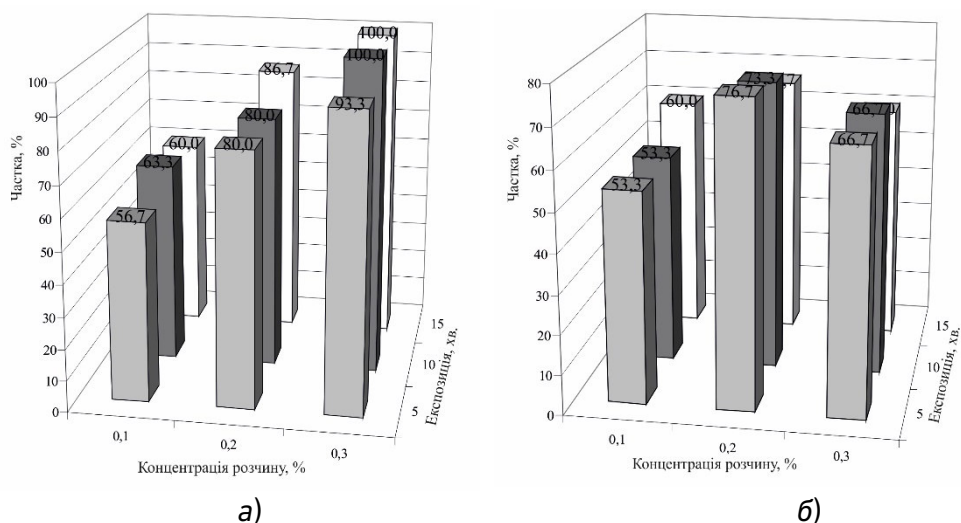


Рис. 1. Вплив концентрації та експозиції AgNO_3 на: а) ефективність стерилізації; б) життєздатність експлантів

Найбільшу кількість стерильних експлантів (100%), фіксували при максимальній концентрації агенту (0,3%) та експозицією 10 і 15 хв. Також порівняно високі показники спостерігали за вмісту AgNO_3 0,2%, де при експозиціях 5 та 10 хв ефективність була на рівні 80,0%, а при 15 хв – аж 86,7%.

Інші результати спостерігали під час дослідження показника життєздатності експлантів досліджуваного виду (рис. 1, б). Максимальну кількість життєздатних експлантів відмічали при вмісті AgNO_3 у розчині 0,2%, де при експозиції 5 хв вона становила 76,7%. Із зростанням експозиції спостерігалось зниження цього показника,

оскільки з'являвся некротичний рослинний матеріал. При концентрації 0,1% AgNO_3 відмічено найнижчий показник життєздатності – 53,3–60,0%, який зростав із збільшенням експозиції. При максимальній концентрації AgNO_3 вихід живих експлантів при експозиціях 5 та 10 хв становив по 66,7% та трохи менше за обробітку протягом 15 хв.

Подібна тенденція відмічалась при обробці експлантів сосни звичайної NaClO (рис. 2).

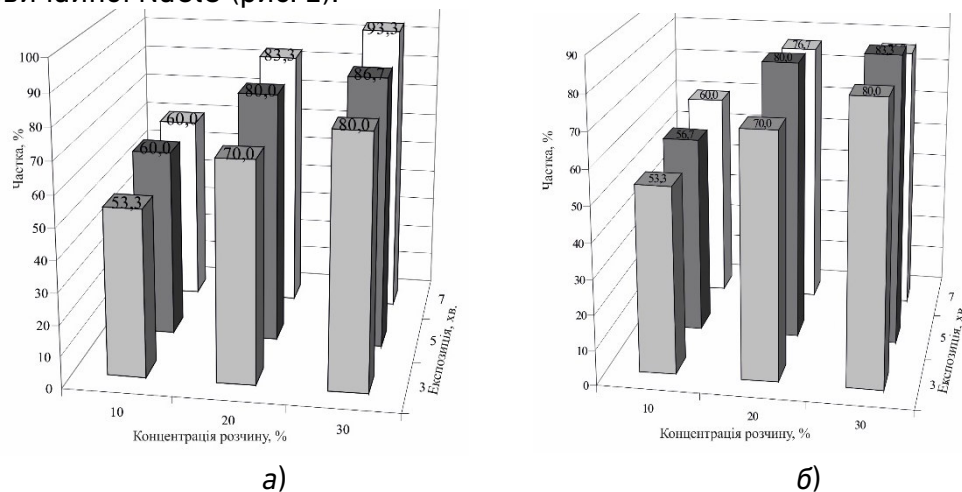


Рис. 2. Вплив концентрації та експозиції NaClO на: а) ефективність стерилізації; б) життєздатність експлантів

Зростанням і вмісту NaClO , і експозиції обробітку експлантів досліджуваного забезпечувало збільшення кількості стерильного рослинного матеріалу. Але у розрізі досліджуваних концентрацій варіювання було дещо вищим. Зокрема, з 53,3 до 80,0% зростала ефективність стерилізації із зміною концентрації NaClO з 10 до 30% за мінімальної експозиції. До порівняння, ефективність при мінімальній концентрації, із збільшенням експозиції від 3 до 7 хв, зросла лише із 53,3 до 60,0%. Саме такі ж закономірності відзначали у всіх варіантах досліджень.

Отже, найбільшу кількість простерилізованих експлантів сосни звичайної спостерігали при концентрації NaClO 30% та експозиції 7 хв, а саме 93,3%. Цікавим є те, що цей реагент у жодному варіанті не забезпечив 100% результативності.

Треба зазначити, що життєздатність експлантів, при мінімальній концентрації NaClO , була майже ідентичною до показника

ефективності і змінювалася у подібних межах (53,3–60,0%) при зростанні експозиції. Але збільшення вмісту діючої речовини різко змінювали ці закономірності.

Отже, найвищий показник життєздатності експлантів сосни звичайної відмічено за експозиції 5 хв, що можна пояснити появою некротичного рослинного матеріалу із її зростанням. Так, максимальну кількість (83,3%) було отримано за цієї ж експозиції у розчині NaClO на рівні 30%. Також досить значний вихід живих експлантів (по 80%) відмічено при концентрації цього агенту 30% і експозиціях 3 хв та 20% і 5 хв відповідно, що доводить важливість врахування обох параметрів стерилізуючої речовини.

Досить інші дані від попередніх досліджуваних показників стерилізації експлантів сосни звичайної стериліантів спостерігали при використанні як стерилізуючого реактиву HgCl_2 , зокрема, що стосувалось встановлення життєздатності (рис. 3).

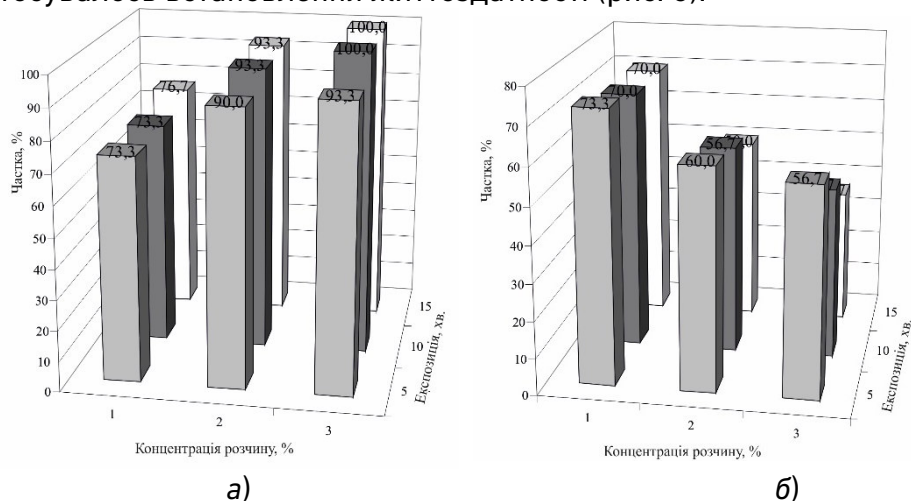


Рис. 3. Вплив концентрації та експозиції HgCl_2 на: а) ефективність стерилізації; б) життєздатність експлантів

Цей хімічний агент майже у всіх варіантах досліджень забезпечив порівняно високий вихід стерильних експлантів досліджуваного виду (73,3–100,0%). Зростання як концентрації, так і експозиції HgCl_2 забезпечувало збільшення досліджуваного показника стерилізації. Окрім цього, цікавим є те, що вміст діючої речовини впливав більшою мірою на ефективність стерилізації експлантів порівняно із експозицією. Так, при обробці експлантів

експозицією 5 хв, при збільшенні концентрації HgCl_2 з 1 до 3%, ефективність зростала від 73,3 до 93,3% (на 20%), а збільшення експозиції з 5 до 15 хв (1%) забезпечило зростання кількості стерильних експлантів лише 3,4% (з 73,3 до 76,7%).

Відповідно, максимальна результативність (100% ефективності) була досягнута при максимальних параметрах агенту HgCl_2 (концентрації 3%; експозиції 10 та 15 хв).

Щодо кількості життєздатних експлантів досліджуваного виду при використанні HgCl_2 , було відмічено абсолютно протилежну тенденцію до ефективності стерилізації. Тобто, зростання і експозиції, і концентрації діючої речовини забезпечувало зменшення кількості живих експлантів, на нашу думку, внаслідок токсичності стериліанта. Максимальну кількість життєздатних експлантів (73,3%) було отримано при мінімальній експозиції та концентрації агента (1% та 5 хв відповідно).

Провівши аналіз сумісного впливу дії концентрації стерилізуючого агента та тривалості обробки на досліджувані показники деконтамінації, було визначено оптимальні характеристики кожного із стериліантів (табл. 2).

Таблиця 2

Максимальні показники стерилізації по окремих хімічних агентах

№ з/п	Концентрація та експозиція реагента	*ЕС, %	*ЖЕ, %
1	AgNO_3 (0,2 %; 10 хв)	80,0	76,7
2	NaClO (20 %; 5 хв)	86,7	83,3
3	HgCl_2 (1 %; 10 хв)	73,3	73,3

*Примітки: ЕС – ефективність стерилізації; ЖЕ – життєздатність експлантів.

Наведені концентрації та експозиції застосованих агентів (табл. 1) стали підосновою для подальшої модифікації ступеневої схеми деконтамінації експлантів, яка полягала у використанні їх разом, а також почерговому виключенні.

Провівши відповідні дослідження було отримано максимальні показники ефективності стерилізації ($94,33 \pm 1,41\%$) і життєздатності експлантів ($91,7 \pm 1,34\%$) для досліджуваного виду при використанні наступної схеми деконтамінації: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (96%; 10 с) + H_2O з детергентом (6 год) + H_2O_2 (3%; 10 хв) + $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (70%; 10 с) + AgNO_3 (0,2%; 5 хв) + NaClO (30%; 5 хв).

Висновки. Виконавши низку експериментальних досліджень було встановлено, що і концентрації, і тривалість обробітку застосованими основними стерилантами (AgNO_3 , NaClO та HgCl_2) мають значний вплив на показник ефективності стерилізації і життєздатність експлантів сосни звичайної. Встановлено, що зростання концентрації AgNO_3 спричиняє збільшення показника ефективності стерилізації, а зростання тривалості обробітку спричиняє відносно незначне підвищення цього показника, але здатне знижувати життєздатність експлантів.

Збільшення вмісту діючої речовини NaClO та експозиції обробітку експлантів спричиняє зростання показника ефективності стерилізації, проте у розрізі концентрацій варіювання було дещо вищим. Найбільша кількість стерильних експлантів сосни звичайної забезпечувалась концентрацією NaClO 30% та експозиції 7 хв і становила 93,3%.

Агент HgCl_2 практично у всіх досліджуваних варіантах забезпечував високий вихід стерильних експлантів сосни звичайної (73,3–100,0%). Тут вміст діючої речовини більше впливав на ефективність стерилізації ніж експозиція. Треба зазначити, що зростання експозиції та концентрації HgCl_2 спричиняло зниження життєздатності експлантів. Отже, максимальна кількість життєздатних експлантів (73,3%) була забезпечена мінімальною експозицією та концентрацією цього реагента (1% та 5 хв відповідно).

1. Заячук В. Я. Дендрологія. Львів : Априорі, 2008. 656 с.
2. Калініченко О. А. Декоративна дендрологія. Київ : Вища школа, 2003. 199 с.
3. Лісовий М. М. Гетеровегетативне розмноження декоративних форм *Pinus sylvestris* L. Збереження та відтворення біорізноманіття природо-заповідних територій : матер. Міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. 15-річчю створення природного парку «Сколівські Бескиди». Львів : ЗУКЦ, 2014. С. 121–125.
4. Лісовий М. М. Особливості поліморфізму, використання у озелененні та щеплення декоративних форм *Pinus sylvestris* L. Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Вип. 23(18). С. 17–22.
5. Лісовий М. М. Особливості розмноження *Pinus sylvestris* L. в умовах *in vitro*. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. Вип. 26.8. С. 123–129.
6. Лісовий М. М. Мікроклональне розмноження цінних генотипів *Taxus baccata* L. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. Вип. 26.1. С. 29–35.
7. Лісовий М. М. Особливості автовегетативного розмноження декоративних форм *Thuja occidentalis* L. Науковий вісник НЛТУ України. 2015. Вип. 25.9. С. 57–63.
8. Лісовий М. М. Особливості отримання асептичної культури *Thuja occidentalis* L. в умовах *in vitro*. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27.9. С. 27–29.
9. Лісовий М. М. Особливості отримання

асептичної культури *Larix decidua* Mill. в умовах *in vitro*. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27.4. С. 52–55. **10.** Мельничук М. Д., Новак Т. В., Кунах В. А. Біотехнологія рослин. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2003. 520 с. **11.** Методичні рекомендації для мікроклонального розмноження деревних та трав'янистих рослин. Київ : НАУ, 2003. 40 с. **12.** Мусієнко М. М. Фізіологія рослин. Київ : Либідь, 2005. С. 541–546. **13.** Шлапак В. В., Небиков М. В. Особливості насіннєвого розмноження *Pinus sylvestris* L. в умовах *in vitro*. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21(14). С. 43–48. **14.** in Mature *Pinus sylvestris* L. Buds *in vitro*. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4240419/>. (дата звернення: 12.03.2025). **15.** Andersone U. Medium pH affects regeneration capacity and oxidative enzyme activity of *Pinus sylvestris* in tissue culture. URL: <http://eeb.lu.lv/EEB/2008/Andersone.pdf>. (дата звернення: 12.03.2025). **16.** Niemi K., Haggman H., Sarjala T. Effects of exogenous diamines on the interaction between ectomycorrhizal fungi and adventitious root formation in Scots pine *in vitro*. URL: <https://academic.oup.com/treephys/article/22/6/373/1695186/Effects-of-exogenous-diamines-on-the-interaction>. (дата звернення: 12.03.2025). **17.** Мельничук М. Д., Григорюк І. П., Новак Т. В., Кляченко О. Л., Коломієць Ю. В., Спиридонов В. Г., Ключащенко А. А., Антіпов І. О., Оверченко В. В., Облап Р. В., Новак Н. Б. Біотехнологія рослин. Київ : Видавничий центр НУБІП України, 2011. 216 с. **18.** Мусієнко М. М., Панюта О. О. Біотехнологія рослин. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2005. 114 с.

REFERENCES:

1. Zaiachuk V. Ya. Dendrolohiia. Lviv : Apriori, 2008. 656 s. **2.** Kalinichenko O. A. Dekorativna dendrolohiia. Kyiv : Vyshcha shkola, 2003. 199 s. **3.** Lisovyi M. M. Heterovehetativne rozmnozhennia dekorativnykh form *Pinus sylvestris* L. Zberezhennia ta vidtvorennia bioriznomanittia pryrodo-zapovidnykh terytorii : mater. Mizhnar. nauk.-prakt. konf., prysviach. 15-richchiu stvorennia pryrodnoho parku «Skolivski Beskydy». Lviv : ZUKTs, 2014. S. 121–125. **4.** Lisovyi M. M. Osoblyvosti polimorfizmu, vykorystannia u ozelenenni ta shcheplennia dekorativnykh form *Pinus sylvestris* L. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2013. Vyp. 23(18). S. 17–22. **5.** Lisovyi M. M. Osoblyvosti rozmnozhennia *Pinus sylvestris* L. v umovakh *in vitro*. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2016. Vyp. 26.8. S. 123–129. **6.** Lisovyi M. M. Mikroklonalne rozmnozhennia tsinnykh henotypiv *Taxus baccata* L. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2016. Vyp. 26.1. S. 29–35. **7.** Lisovyi M. M. Osoblyvosti avtovehetativnoho rozmnozhennia dekorativnykh form *Thuja occidentalis* L. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2015. Vyp. 25.9. S. 57–63. **8.** Lisovyi M. M. Osoblyvosti otrymannia aseptychnoi kultury *Thuja occidentalis* L. v umovakh *in vitro*. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2017.

Vyp. 27.9. S. 27–29. **9.** Lisovyi M. M. Osoblyvosti otrymannia aseptychnoi kultury *Larix decidua* Mill. v umovakh *in vitro*. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2017. Vyp. 27.4. S. 52–55. **10.** Melnychuk M. D., Novak T. V., Kunakh V. A. Biotekhnolohiia roslyn. Kyiv : PolihrafKonsal'tynh, 2003. 520 s. **11.** Metodichni rekomendatsii dlia mikroklonal'nogo rozmnozhen'nia derevnykh ta travianystrykh roslyn. Kyiv : NAU, 2003. 40 s. **12.** Musiienko M. M. Fiziolohiia roslyn. Kyiv : Lybid, 2005. S. 541–546. **13.** Shlapak V. V., Nebykov M. V. Osoblyvosti nasinnievoho rozmnozhen'nia *Pinus sylvestris* L. v umovakh *in vitro*. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2011. Vyp. 21(14). S. 43–48. **14.** in Mature *Pinus sylvestris* L. Buds *in vitro*. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4240419/>. (data zvernennia: 12.03.2025). **15.** Andersone U. Medium pH affects regeneration capacity and oxidative enzyme activity of *Pinus sylvestris* in tissue culture. URL: <http://eeb.lu.lv/EEB/2008/Andersone.pdf>. (data zvernennia: 12.03.2025). **16.** Niemi K., Haggman H., Sarjala T. Effects of exogenous diamines on the interaction between ectomycorrhizal fungi and adventitious root formation in Scots pine *in vitro*. URL: <https://academic.oup.com/treephys/article/22/6/373/1695186/Effects-of-exogenous-diamines-on-the-interaction>. (data zvernennia: 12.03.2025). **17.** Melnychuk M. D., Hryhoriuk I. P., Novak T. V., Kliachenko O. L., Kolomiets Yu. V., Spyrydonov V. H., Kliuvadenko A. A., Antipov I. O., Overchenko V. V., Oblap R. V., Novak N. B. Biotekhnolohiia roslyn. Kyiv : Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy, 2011. 216 s. **18.** Musiienko M. M., Paniuta O. O. Biotekhnolohiia roslyn. Kyiv : VPTs «Kyivskyi universytet», 2005. 114 s.

Lisovyi M. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kopii L. I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (National Forestry University of Ukraine, Lviv), **Klymenko O. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Fizyk I. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Honchar V. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (Nadsluchansky Institute NUWM, Berezne), **Kopii S. L., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Khoietskyi P. B., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kopii M. L., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Ahii V. O., Post-graduate Student** (National Forestry University of Ukraine, Lviv), **Hozhan M. Ya., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Director** (TzOV «Forest-Expert»)

INFLUENCE OF STERILANT SUBSTANCES ON THE DECONTAMINATION OF *PINUS SYLVESTRIS* L. EXPLANTS IN CULTURE *IN VITRO*

An analysis and generalization of a number of literary data, both domestic and foreign scientists, concerning achievements in the field of microclonal propagation in *in vitro* culture of *Pinus sylvestris* L. plants, in particular the process of decontamination of initial explants, was carried out. A study was carried out on the influence of the concentration of chemical sterilant agents, as well as the duration of treatment (exposure) with them on the sterilization of initial explants of the studied species. The used methodology for conducting experimental studies on obtaining an aseptic culture of *Pinus sylvestris* L. explants for their further propagation *in vitro* was described in detail. A stepwise scheme of decontamination of plant material was tested, which took place in two main stages: primary and modified sterilization. The first stage consisted of treating the explants as follows: running water with an appropriate detergent («Tween 80»), hydrogen peroxide (H_2O_2) (1; 2; 3% and 3; 5; 10 minutes), ethyl alcohol (C_2H_5OH) (50; 70; 96% and 5; 10; 15 seconds) in the indicated concentrations and exposures. Modification of the primary scheme of decontamination of explants was performed using the following basic chemicals: $NaClO$ (10; 20; 30% and 3; 5; 7 minutes), $AgNO_3$ (0.1; 0.2; 0.3 % and 5; 10; 15 minutes) and $HgCl_2$ (1; 2; 3% and 5; 10; 15 minutes). To prevent the development of internal infections, 0.1% antibiotic «Imanin» was used. A study was conducted

of the specific individual effect of the main chemical sterilants on the sterilization efficiency and viability of *Pinus sylvestris* L. explants.

The optimal stepwise decontamination scheme for explants of the studied species was experimentally established, which provided sterilization efficiency of $94.33 \pm 1.41\%$ and explant viability of $91.7 \pm 1.34\%$ and consisted of alternate treatment of plant material as follows: C_2H_5OH (96%; 10 seconds) + H_2O with detergent (6 h) + H_2O_2 (3%; 10 minutes) + C_2H_5OH (70 %; 10 s) + $AgNO_3$ (0.2%; 5 minutes) + $NaClO$ (30%; 5 minutes).

***Keywords:* decontamination; exposure; concentration; sterilization efficiency; explant viability.**

Логвиненко І. П., к.б.н., доцент (Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне, ORCID ID: 0000-0002-0950-2934, iryna.lohvyненко@rshu.edu.ua), **Лико Д. В., д.с.-г.н., професор**, (Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне, ORCID ID: 0000-0003-0184-0549, dariia.lyko@rshu.edu.ua), **Дацюк В. В., к.б.н., н.с.** (Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, м. Київ, ORCID ID: 0000-0002-4680-6902, vdacuk@ukr.net), **Портухай О. І., к.с.-г.н., доцент** (Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне, ORCID ID: 0000-0002-9078-0658, oksana.portukhai@rshu.edu.ua)

ТРАНСФОРМАЦІЯ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ЯК НАСЛІДОК ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ПРИКЛАДІ БОТАНІЧНОГО ЗАКАЗНИКА «КОЛОБАНКИ» (РІВНЕНСЬКА ОБЛАСТЬ, УКРАЇНА)

Статтю присвячено вивченню трансформації природної флори ботанічного заказника «Колобанки» під дією кліматичних змін. Проаналізовано екологічні аспекти глобальних змін клімату та їх наслідки для природних екосистем, зокрема болотних.

Внаслідок кліматичних змін та зміни гідрологічного режиму заказника відмічено втрату гігрофітів, мезофітизацію болотної екосистеми і заміну болотних видів лучними та інвазивними.

У порівнянні із даними 10-річної давності, сучасні дослідження показують зміни у складі рослинних угруповань та деградацію популяцій рідкісних та зникаючих болотних видів природної флори та значними трансформаційними процесами у заказнику загалом.

Станом на 2025 рік територія заказника вкрита щільними заростями *Cornus sanguinea* L., *Crataegus ucrainica* A. Pojark, *Solidago canadensis* L., які займають значну територію заказника і є однією із причин деградації популяцій рідкісних та зникаючих видів рослин.

Значно зменшились площі та чисельність популяцій таких видів, як *Epipactis palustris* Crantz, *Cladium mariscus* (L.) R Br., *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo., *Dactylorhiza majalis* (Reichenb.) P.F. Hunt et Summerhayes, крім того, не була підтверджена наявність популяції *Pinguicula vulgaris* L. У свою чергу зростання на великих площах ксеромезофільних видів (*Solidago canadensis* L., *Potentilla erecta* (L.) Hampe, *Poa trivialis* L., *P. palustris* L., *Eupatorium cannabinum*

L. та ін.) та наявність щільних заростей чагарників, свідчить про зміну гідрологічного режиму на території заказника.

Досліджено чисельність та онтогенетичні спектри популяцій рідкісних болотних видів – *Eriactis palustris* та *Cladium mariscus*. Порівняльні дані 2014 р. свідчать про зменшення чисельності популяцій цих видів та площ їх зростання за останні 10 років.

Ключові слова: зміна клімату; заказник; болотні екосистеми; популяції рідкісних болотних видів; трансформація.

Постановка проблеми. Наукові дослідження осадових порід, викопних решток флори і фауни, рівень радіоактивності гірських порід доводять, що за весь час існування нашої планети, клімат багаторазово змінювався. На сьогодні відомо про декілька льодовикових періодів, після яких наступало потепління [1]. Причинами таких змін могли бути різноманітні фактори: різний рівень сонячної активності, зміни океанічних течій, виверження вулканів тощо. Щоб не було причиною потепління клімату у минулому – глобальна температура змінювалась на 1° С за тисячу років, тоді як зараз такі зміни відбулися лише за останні 100 років [2].

Науковці Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) стверджують, що «вплив людини на кліматичну систему є очевидним, а сучасні антропогенні викиди парникових газів є найбільшими в історії», тобто до таких суттєвих глобальних кліматичних змін призвела людська діяльність [3].

Питання зміни клімату є одним із найактуальніших на сучасному етапі і потребує нагального вирішення на локальному, регіональному, державному та міжнародному рівнях. Проте, зусилля міжнародної спільноти щодо зменшення показників глобального потепління не приносять бажаного результату [4].

Згідно з даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України середньорічна температура з початку ХХ століття підвищилась більше як на 2° С. За даними спостережень метеостанції Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського середня температура повітря влітку 2024 р. склала +23,0° С, що на 2,6° С перевищило кліматичну норму і забезпечило другу позицію після літа 2010 року (23,7° С) серед найтепліших з 1881 року [5].

Загалом по Україні спостерігається тенденція до збільшення тривалості і кількості спекотних періодів, посух, посилення пожежної

небезпеки, водночас реєструється повторюваність та інтенсивність гроз, шквальних злив, граду, значних поривів вітру. Такі зміни клімату на території України мають негативний вплив на стан здоров'я населення, природних екосистем, біологічних ресурсів, порушують стає функціонування енергетичної інфраструктури, агропромислового комплексу та ведуть за собою величезні збитки [4].

Аналіз досліджень та публікацій. Вивченню природної флори та рослинності як біоіндикатора глобальних кліматичних змін, останніми роками приділяється багато уваги [6].

Екологічні аспекти глобальних змін клімату, їх причини та наслідки висвітлено у публікаціях Я. П. Дідуха [6; 7]. Негативними наслідками кліматичних змін є: зсув природних зон на 160 км (за підвищення температури на 1° C); зникнення ряду екотопів, особливо тих, що перебувають у екстремальних умовах існування (арктичних, антарктичних тощо); підвищення середньої зимової температури, пролонгований вегетаційний період, зміна кількості опадів та гідротермічних циклів, що визначає розвиток біоценозів (наприклад, у середніх широтах України спостерігається мезофітизація екосистем); зменшення періодів із низькими екстремальними зимовими температурами, що стримували поширення бур'янів, сприяє розповсюдженню інвазійних видів; наявність природних катаклізмів: рекордно високих чи низьких температур, пізніх весняних приморозків, повеней, засух, буревіїв тощо; зростання рівня вуглекислого газу, що спричиняє виникнення парникового ефекту. Варто підкреслити вплив таких змін на біоту:

- передчасне квітування, спричинене нетипово високими температурами, негативно впливає на рослини, оскільки мають місце зворотні весняні приморозки та пізніший розвиток комах-запилювачів;

- суттєво змінюються хорологічні характеристики видів: швидкими темпами скорочуються і трансформуються ареали рідкісних та зникаючих видів рослин, водночас ареали інвазивних видів швидко розширюються, витісняючи аборигенну флору [7].

Екотопічній трансформації степових екосистем під впливом кліматичних змін присвячена праця В. С. Ткаченка і С. Г. Бойченко. Авторами встановлено стрімкі структурні зміни фітосистем, що обумовлені помітними змінами екотопічних характеристик

місцезростань, в основі яких лежать, насамперед, едафічні та кліматичні фактори [8].

Наслідки зміни клімату на лісові екосистеми України та впровадження різних стратегій ведення лісового господарства було досліджено у межах міжнародного проєкту SCEFORMA – «Scenario analysis and prognosis of forest condition dynamics in the condition of anthropogenic changes of environment» [9]. Згідно з результатами моделювання та прогнозування, до 2050 року наявна незбалансована вікова структура лісів України та процеси природного старіння лісів під впливом змін клімату призведуть до погіршення стану лісових масивів, зниження показників приросту біомаси та зниження об'єму поглинання парникових газів [10; 11].

На думку науковців Національного інституту стратегічних досліджень, негативний вплив змін клімату найбільш відчутно проявиться на рівні болотних екосистем (які депонують карбон та беруть участь у колообігу та балансі вуглекислого газу) [4].

Мета і завдання дослідження. Метою нашої роботи є з'ясування впливу глобальних кліматичних змін на стан популяцій рідкісних та зникаючих видів рослин та трансформацію рослинності ботанічного заказника місцевого значення «Колобанки» (Рівненська область, Україна).

Об'єктом дослідження була природна рослинність та популяції рідкісних та зникаючих видів флори ботанічного заказника місцевого значення «Колобанки».

Виклад основного матеріалу дослідження. Ботанічний заказник місцевого значення «Колобанки» розташований у південних околицях с. Копитків Здолбунівського району Рівненської області. Створений 16.11.2012 р. (рішення Рівненської Обласної Ради № 787, від 16 листопада 2012 року).

Землі, на яких розміщений заказник, належать до земель запасу і перебувають у віданні Копитківського старостинського округу Здолбунівської міської територіальної громади. Площа ділянки – 50 га.

Відповідно до геоботанічного районування територія належить до Повчансько-Мізоцького району Люблінсько-Волинського округу грабово-дубових, дубових лісів і остепнених лук [12].

Це унікальний болотний масив з рідкісними видами рослин. Товщина торфового шару становить 3,5 м. Він підстиляється торфотуфом (відзначений на глибині 375 см). Зольність торфу

підвищена, в ньому значна кількість вапна. Ґрунт торф'яно-перегнійний потужний, карбонатний [13].

На момент створення заказника рослинність була представлена вербово-осоковими формаціями (*Cariceta acutiformis*, *C. elatae*, *C. ripariae* та ін.). Чагарниковий ярус формували: *Salix alba* L., *S. caprea* L., *S. cinerea* L., трапляються *S. starkeana* Willd та *S. myrtilloides* L.

Загальне проєктивне покриття – 100%, висота трав'яного покриву – 70 см. Проєктивне покриття переважаючих видів: *Eupatorium cannabinum* L. – 20%, *Solidago canadensis* L. – 10%, *Calamagrostis canescens* (Weber) Roth. – 10%, *Lysimachia vulgare* L. – 15%. До складу угруповання також входили: *Centaurea jacea* L., *Carex flacca* Schreb., *Sanguisorba officinalis* L., *Potentilla erecta* (L.) Hampe, *P. anserina* L., *Equisetum palustre* L., *Prunella vulgaris* L.

Созологічну цінність флори заказника становили види, занесені до Червоної книги України: *Schoenus ferrugineus* L., *Cladium mariscus* (L.) R Br., *Carex davalliana* Smith., *Epipactis palustris* Crantz, *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo., *Dactylorhiza majalis* (Reichenb.) P.F. Hunt et Summerhayes, *Pinguicula vulgaris* L. [14].

Фітоценози у межах заказника «Колобанки» були представлені рідкісними угрупованнями, що віднесені до Зеленої книги України. Угруповання іржавосашниково-гіпнові (*Schoenetum* (*ferruginei*)-*hypneta*) характеризувалися рідкісним типом асоційованості, з домінантом *Schoenus ferrugineus*.

Фітоценози заказника були представлені двома асоціаціями: молінієво-іржавосашниково-гіпновою (*Molinietum* (*caeruleae*)-*Schoenetum* (*ferruginei*) *hypnosum*) та очеретово-іржавосашниково-гіпновою (*Phragmitetum* (*australis*)-*Schoenetum* (*ferruginei*) *hypnosum*).

У трав'янистому покриві переважав домінант *Schoenus ferrugineus* – 70%, з домішкою *Phragmites australis* місцями до 30–35%. Флористичне ядро видів було представлене *Cirsium rivulare* (Jacq.) Link., *Carex davalliana*, *Epipactis palustris*, *Carex flava*, *Potentilla anserina* L., *Valeriana officinalis*, *Myosotis palustris* Lam. Виявлені інвазійні види – *Stenactis annua* (L.) Cass. ex Less. та *Solidago canadensis* L., що займають незначні площі, але локально утворюють монодомінантні фітоценози.

Фітоценози меч-трави болотної (*Cladieta marisci*) характеризувалися унікальним та рідкісним типом асоційованості домінуючих видів *Cladium mariscus* та *Schoenus ferrugineus*, що

охороняються ЧКУ, займають незначні площі, але утворювали дві асоціації: іржавосашниково-болотномечтравову (*Cladietum (marisci) schoenosum (ferruginei)*) та звичайноочеретово-болотномечтравову (*Cladietum (marisci) phragmitosum (australis)*). Трав'янистий покрив був представлений *Cladium mariscus* – 60–65%, *Schoenus ferrugineus* – 20%, *Phragmites australis* – 15%, *Scirpus lacustris*, *Cirsium rivulare*, *Sanguisorba officinalis*. Відбувається також проникнення інвазійних видів *Stenactis annua* та *Solidago canadensis*, що негативно відображалось на флористичному ядрі фітоценозу.

Фітоценози із домінуванням осоки Девелла (*Cariceta davallianae*) відзначалися рідкісним типом асоційованості домінантів, оскільки *Carex davalliana* є центральноєвропейським видом і охороняється ЧКУ. Дані фітоценози були представлені двома асоціаціями: гіпново-девеллоосоковою (*Caricetum (davallianae) hypnosum*) та девеллоосоковою чистою (*Caricetum davallianae purum*). Трав'янистий покрив утворювали *Carex davalliana* – 70–80%, *Phragmites australis* – 25–35%. У флористичному складі ценозу траплялися такі види як: *Eriophorum gracile* Koch, *Parnasia palustris*, *Carex flava*, *Potentilla anserina* L., *Valeriana officinalis*, *Lysimachia vulgaris* L, *Salix rosmarinifolia*, *Potentilla erecta* частка яких не перевищувала 5%. Інвазійні види – *Stenactis annua* та *Solidago canadensis* особливо поблизу дороги на сухих біотопах займали значні площі.

Загалом угруповання характеризувалися різним положенням у сукцесійному ряду та займали незначні площі, але були представлені різним флористичним складом та структурою.

Сучасні дослідження показують зміни у складі рослинних угруповань та деградацію популяцій рідкісних та зникаючих болотних видів природної флори та значними трансформаційними процесами у заказнику загалом. Станом на 2025 рік територія заказника вкрита щільними заростями *Cornus sanguinea* L. та *Crataegus ucrainica* A. Rojark, які займають значну територію заказника і є однією із причин деградації популяцій рідкісних та зникаючих видів рослин. Проєктивне покриття чагарників становить 80%. Трав'янистий покрив теж дуже щільний (90%) та представлений *S. canadensis* – 80%, *P. erecta* – 5%, *Prunella vulgaris* – 5%.

В період достатнього зволоження, тобто, коли болотна екосистема була обводнена, а часткове пересихання спостерігалось лише в окремі роки, ріст дерев та чагарників був неможливий,

оскільки для їх зростання співвідношення показників аерації ґрунту, наявності певного гідрологічного режиму та кількості вуглекислого газу є визначальним [15]. На торф'яних болотах, до яких належить масив «Колобанки», аерація ґрунту характеризується дуже низькими показниками аерації. Вологий торф майже не дронується, що призводить до нагромадження вуглекислого газу та підвищення кислотності. Відповідно високі показники кислотності ґрунту, низька його температура навіть влітку та вкрай низькі умови аерації спричиняють явище, схоже до фізіологічної сухості, за якого рослина не здатна поглинати вологу навіть за умов її надлишку.

Для свого росту і розвитку рослинам потрібна вода. Однак, існує ряд причин, що роблять процес поглинання води рослинами неможливим: власне відсутність води; температура води (висока температура призводить до посиленого її поглинання рослиною, але до певної межі, низька температура навпаки, знижує швидкість поглинання води рослиною, що призводить до загального зниження інтенсивності фізіологічних процесів); кількість солей і розчинених речовин у субстраті. Факт нестачі води в організмі рослини в умовах її дефіциту є очевидним. Водночас і низька температура води, і висока концентрація солей у ґрунті спричиняють виникнення ефекту фізіологічної сухості, оскільки блокують поглинання води рослинами. Коли концентрація ґрунтового розчину така ж як концентрація клітинного соку рослинних клітин, процес дифузії води у клітину стає утрудненим, тому рослини не здатні поглинати вологу із насичених солями ґрунтів [15].

На болотах сформувався своєрідний комплекс видів, які адаптувалися до умов фізіологічної сухості. Тому зміна гідрологічних умов боліт веде до зміни впливу вищезгаданих факторів на рослини. Обезводнені болотні торфові масиви стають дуже пористими за структурою та швидко підвищують умови аерації, насичуючись киснем. Зменшення закисних процесів значно змінює середовище торфових ґрунтів, що й призводить до зникнення болотних видів рослин і появи ксеромезофільної трав'яної рослинності та чагарників.

Детальні зміни у популяціях рідкісних та зникаючих видів прослідкуємо на прикладі *E. palustris* та *C. mariscus*, оскільки можемо порівняти із дослідженнями попередніх років.

Онтогенетичний спектр досліджуваних популяцій *E. palustris* визначали візуально. В якості фітоценотичної кількісної одиниці

використовували надземний пагін, оскільки виявити цілісність особин без викопування неможливо. З огляду на те, що в природних умовах вкрай важко виявити ювенільні та іматурні особини, ми брали до уваги лише віргінільний (v) та генеративний (g) вікові стани. Порівнюючи із 2014 роком [16] популяція виду за останні 10 років значно зменшила свою площу з 5 до 2 га та чисельність з 505 до 183 особин (табл. 1).

Таблиця 1

Зміни чисельності популяції *Epipactis palustris*

Рік	Площа	Загальна кількість особин	Вікові стани	
			v	g
2014	5 га	505	127 (25,1%)	378 (74,85%)
2024	2 га	183	78 (42,6%)	105 (57,4%)

З огляду на довгокореневищний тип зростання, для визначення вікових спектрів популяції *C. mariscus* брали до уваги лише два вікові стани віргінільний (v) та генеративний (g). Зафіксовані зміни є аналогічними до популяцій *Epipactis palustris*: площа зменшилася з 50 до 35 га, кількість особин від 365 до 432 (табл. 2).

Таблиця 2

Зміни чисельності популяції *Cladium mariscus*

Рік	Площа	Загальна кількість особин	Вікові стани	
			v	g
2014	50 га	635	257 (40,47%)	378 (59,52%)
2024	35 га	432	178 (41,2%)	254 (58,8%)

Моніторингові дослідження популяцій рідкісних та зникаючих болотних видів, що зростають на території заказника, свідчать про втрату гігрофітів, мезофітизацію екосистеми, втрату болотних видів та заміну їх лучними та інвазивними видами.

Зафіксовано зменшення площ та чисельності популяцій таких видів, як *E. palustris*, *C. mariscus*, *D. incarnata*, *D. majalis*, крім того, не була підтверджена наявність популяції *P. vulgaris*. Водночас зростання на великих площах ксеромезофільних видів (*S. canadensis*, *P. erecta*, *Poa trivialis* L., *P. palustris* L., *Eupatorium cannabinum* L. та ін.) та наявність щільних заростей чагарників, свідчить про зміну гідрологічного режиму на території заказника. Крім того, спостерігається тенденція

до зменшення площ фітоценозів із *Cladium mariscus* та збіднення флористичного ядра болотного флорокомплексу.

Загалом можливі лише три варіанти реакції рослин на зміни клімату [17; 18]: міграція, адаптація або зникнення. Проведені дослідження свідчать, що на болотному масиві «Колобанки» популяції таких болотних рідкісних та зникаючих видів природної флори, як *E. palustris*, *C. mariscus*, *D. incarnata*, *D. majalis*, на сьогодні скорочують свої ареали, що свідчить про деградацію та тенденцію до зникнення у майбутньому.

Відомо, що глобальні зміни клімату призводять до збільшення ареалів та поширення найкраще адаптованих видів, які мають широку амплітуду екологічної валентності. Водночас малоадаптовані види з вузькими показниками екологічної валентності та вузькою спеціалізацією схильні до скорочення своїх ареалів та зникнення [6]. Усі зазначені види мають тривалий та складний цикл розвитку і в умовах змін клімату та умов зростання реагують на них першими. З тієї ж причини останніми роками нами не було підтверджене зростання у заказнику комахоїдної рослини, занесеної до Червоної книги України – *P. vulgaris*.

Висновки. В результаті дослідження впливу глобальних кліматичних змін на стан популяцій рідкісних і зникаючих видів рослин та трансформацію рослинності ботанічного заказника місцевого значення «Колобанки» виявлено значне зменшення популяцій *E. palustris* та *C. mariscus*. За останні 10 років їхні площі знизилися відповідно з 5 до 2 га та з 50 до 35 га; чисельність – з 505 до 183 та з 365 до 432 особин. Крім того, на території заказника зафіксовано втрату гігрофітів, мезофітизацію екосистеми, втрату болотних видів та заміну їх лучними та інвазивними видами.

Отже, для України негативний вплив глобальних змін клімату на рівні екосистем стає очевидним. Одними з найвразливіших екосистем є болотні, які депонують вуглець та відіграють ключову роль у кругообігу і балансі вуглекислого газу [4]. Внаслідок зміни гідрологічного режиму болотні екосистеми трансформуються і заростатимуть лучними трав'янистими видами, чагарниками, деревами. За таких умов типові болотні види рослин, особливо ті, що мають складні цикли розвитку – приречені на зникнення. Крім того, відбуватиметься величезна емісія вуглекислого газу та метану і з накопичувачів болотні масиви перетворюються на джерела

забруднювачів атмосфери, які і далі будуть змінювати клімат. Тому припинення деградації боліт – це не лише питання збереження природних фітоценозів та болотних екосистем, а й забезпечення подальшого існування природних акумуляторів вологи, вуглецю та запасів енергії [6].

Кроками, які допоможуть змінити ситуацію, є: подальші моніторингові дослідження; участь українських науковців у міжнародних програмах присвячених зміні клімату; затвердження та фінансування на рівні держави комплексної програми дослідження глобальних змін клімату, їх можливих наслідків та відповідних запобіжних заходів; проведення еколого-біологічних досліджень видів природної флори як чутливих індикаторів кліматичних змін (при цьому виділити види та екосистеми, що перебувають під загрозою зникнення, та розробити заходи щодо їх збереження) [6].

Для ботанічного заказника «Колобанки» необхідно розробити менеджмент-план управління для зменшення негативного впливу із постійними моніторинговими ділянками та залученням спеціалістів різних профілів для збереження цінного біорізноманіття регіону.

1. Матошко А. В. Льодовикові періоди. Енциклопедія Сучасної України / редкол. І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін. ; НАН України, НТШ. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2017, оновл. 2024. Т. 18. URL: <https://esu.com.ua/article-59724> (дата звернення: 10.05.2025). **2.** Інститут космічних досліджень імені Годдарда NASA. Аналіз температури поверхні GISS (GISTEMP). 2023. URL: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/> (дата звернення: 12.05.2025). **3.** МЗЕК 2014. Зміни клімату, 2014 р. : узагальнююча доповідь. Внесок робочих груп I, II і III у П'яту доповідь з оцінки Міжурядової групи експертів зі зміни клімату / основна група авторів: Р. К. Пачурі, Л. А. Мейер (ред.). МЗЕК, Женева, Швейцарія. 42 с. **4.** Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації : аналіт. доповідь / С. П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко ; за ред. С. П. Іванюти. К. : НІСД, 2020. 110 с. **5.** Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/diialnist/21213/9-pidsumki-shchedrogo-na-rekordi-cherhvnya-u-stolitsi> (дата звернення: 10.05.2025). **6.** Дідух Я. П. Рослинний світ України в аспекті кліматичних змін = World of Plants of Ukraine in Aspect of the Climate Change : монографія / НАН України, Ін-т ботаніки ім. М. Г. Холодного. Київ : Наукова думка, 2023. 202 с. **7.** Дідух Я. П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії. *Вісник Національної академії наук України*. 2009. № 2. С. 34–44. URL:

<http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3405/a5-aktualno.pdf> (дата звернення: 12.05.2025). **8.** Ткаченко В. С., Бойченко С. Г. Екотопічні трансформації степових екосистем під впливом кліматичних змін у другій половині XX та на початку XXI століть. *Доповіді Національної академії наук України*. 2017. № 11. С. 94–102. **9.** Букша І. Ф. Стан оцінювання загроз та адаптаційних заходів у лісовому господарстві України у зв'язку зі зміною клімату. 2022. 38 с. URL: https://www.sfi-ukraine.org.ua/wp-content/uploads/2023/11/buksha_climate-change_report_31-01-2022-ukr.pdf (дата звернення: 12.05.2025). **10.** Букша І. Ф., Пастернак В. П., Бондарук Г. В. Сценарне моделювання та прогноз динаміки лісових ресурсів при змінах клімату. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2000. Вип. 98. С. 44–52. **11.** Mart-Jan Schelhaas, Igor Buksha, Martin Cerny, Volodimir Pasternak et all. Scenarios on forest management in Czech Republic, Hungary, Poland and Ukraine. European Forest Institute Research report 17. Brill Lieden Boston. 2004. 107 p. **12.** Дідух Я. П., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій. *Український ботанічний журнал* : наук. журнал НАН України. 2003. Т. 60, № 1. С. 6–17. **13.** Брадіс Є. М., Бачурина Г. Ф. Рослинність УРСР. Болота УРСР. К. : Наук. думка, 1969. 243 с. **14.** Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. К. : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с. **15.** Ященко П. Т., Надорожняк О. Я. Сильватизація як процес і фактор ренатуралізації природних екосистем Західного Полісся. *Науковий вісник УКРДЛТУ. Лісівницькі дослідження в Україні (IX-ті Погребняківські читання)* : зб. наук.-техн. праць. Львів, 2003. С. 171–176. **16.** Logvynenko I. P. Analysis of rarity fraction flora of Volyn Upland (Ukraine). *European science review*. Vienna, 2014. № 3, May–Jun. P. 3–6. **17.** Bramwell D. Plant adaption and climate change. *2nd World Scientific Congress Challenges in Botanical Research and Climate Change*. Programme Book of abstract 29 Juni–4 july 2008. Delft, The Ne ther lands. P. 3. **18.** Havens K. H. Plant responses to climate change: phenology, adaptation, migration. *Challenges in Botanical Research and Climate Change* : 2nd World Scientific Congress. Programme Book of abstract 29 Juni–4 july 2008. Delft, The Netherlands. P. 6.

REFERENCES:

1. Matoshko A. V. Lodovykovi periody. *Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy / redkol. I. M. Dziuba, A. I. Zhukovskyi, M. H. Zhelezniak ta in. ; NAN Ukrainy, NTSh. Kyiv : Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen NAN Ukrainy, 2017, onovl. 2024. T. 18. URL: <https://esu.com.ua/article-59724> (data zvernennia: 10.05.2025).* **2.** Instytut kosmichnykh doslidzhen imeni Hoddarda NASA. Analiz temperatury poverkhni GISS (GISTEMP). 2023. URL: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/> (data zvernennia: 12.05.2025). **3.** MZEK

2014. Zminy klimatu, 2014 r. : uzahalniuiucha dopovid. Vnesok robochykh hrup I, II i III u Piatu dopovid z otsinky Mizhuriadovoi hrupy ekspertiv zi zminy klimatu / osnovna hrupa avtoriv: R. K. Pachuri, L. A. Meier (red.). MZEK, Zheneva, Shveitsariia. 42 s. **4.** Zmina klimatu: naslidky ta zakhody adaptatsii : analit. dopovid / S. P. Ivaniuta, O. O. Kolomiiets, O. A. Malynovska, L. M. Yakushenko ; za red. S. P. Ivaniuty. K. : NISD, 2020. 110 s. **5.** Tsentralna heofizychna observatoriia imeni Borysa Sreznevskoho. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/diialnist/21213/9-pidsumki-shchedrogo-na-rekordi-chervnya-u-stolitsi> (data zvernennia: 10.05.2025). **6.** Didukh Ya. P. Roslynni svit Ukrainy v aspekti klimatychnykh zmin = World of Plants of Ukraine in Aspect of the Climate Change : monohrafiia / NAN Ukrainy, In-t botaniky im. M. H. Kholodnoho. Kyiv : Naukova dumka, 2023. 202 s. **7.** Didukh Ya. P. Ekolohichni aspekty hlobalnykh zmin klimatu: prychyny, naslidky, dii. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*. 2009. № 2. S. 34–44. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3405/a5-aktualno.pdf> (data zvernennia: 12.05.2025). **8.** Tkachenko V. S., Boichenko S. H. Ekotopichni transformatsii stepovykh ekosystem pid vplyvom klimatychnykh zmin u druhii polovyni XX ta na pochatku XXI stolit. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*. 2017. № 11. S. 94–102. **9.** Buksha I. F. Stan otsiniuvannia zahroz ta adaptatsiinykh zakhodiv u lisovomu hospodarstvi Ukrainy u zviazku zi zminoiu klimatu. 2022. 38 s. URL: https://www.sfi-ukraine.org.ua/wp-content/uploads/2023/11/buksha_climate-change_report_31-01-2022-ukr.pdf (data zvernennia: 12.05.2025). **10.** Buksha I. F., Pasternak V. P., Bondaruk H. V. Stsenarne modeliuвання ta prohnoz dynamiky lisovykh resursiv pry zminakh klimatu. *Lisivnytstvo i ahrolisomeliioratsiia*. 2000. Vyp. 98. S. 44–52. **11.** Mart-Jan Schelhaas, Igor Buksha, Martin Cerny, Volodimir Pasternak et all. Scenarios on forest management in Czech Republic, Hungary, Poland and Ukraine. European Forest Institute Research report 17. Brill Lieden Boston. 2004. 107 p. **12.** Didukh Ya. P., Sheliakh-Sosonko Yu. R. Heobotanichne raionuvannia Ukrainy ta sumizhnykh terytorii. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal* : nauk. zhurnal NAN Ukrainy. 2003. T. 60, № 1. S. 6–17. **13.** Bradis Ye. M., Bachuryna H. F. Roslynnist URSS. Bolota URSS. K. : Nauk. dumka, 1969. 243 s. **14.** Chervona knyha Ukrainy. Roslynni svit / za red. Ya. P. Didukha. K. : Hlobalkonsaltnykh, 2009. 900 s. **15.** Yashchenko P. T., Nadorozhniak O. Ya. Sylvatzatsiia yak protses i faktor renaturalizatsii pryrodnykh ekosystem Zakhidnoho Polissia. *Naukovyi visnyk UKRDLTU. Lisivnyi doslidzhennia v Ukraini (IX-ti Pohrebniakivski chytannia)* : zb. nauk.-tekhn. prats. Lviv, 2003. S. 171–176. **16.** Logvynenko I. P. Analysis of rarity fraction flora of Volyn Upland (Ukraine). *European science review*. Vienna, 2014. № 3, May–Jun. P. 3–6. **17.** Bramwell D. Plant adaption and climate change. *2nd World Scientific Congress Challenges in Botanical Research and Climate Change*. Programme Book of abstract 29 Juni–4 July 2008. Delft, The Netherlands. P. 3. **18.** Havens K. H. Plant

responses to climate change: phenology, adaptation, migration. *Challenges in Botanical Research and Climate Change* : 2nd World Scientific Congress. Programme Book of abstract 29 Juni–4 July 2008. Delft, The Netherlands. P. 6.

Lohvynenko I. P., Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Lyko D. V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Rivne State University of the Humanities, Rivne), **Datsiuk V. V., Candidate of Biological Sciences (Ph.D.), Research Fellow** (M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv), **Portukhai O. I., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (Rivne State University of the Humanities, Rivne)

TRANSFORMATION OF NATURAL ECOSYSTEMS AS A CONSEQUENCE OF CLIMATE CHANGE: A CASE STUDY OF THE «KOLOBANKY» BOTANICAL RESERVE (RIVNE OBLAST, UKRAINE)

The article is devoted to studying the transformation of the natural flora of the “Kolobanky” botanical reserve under the influence of climate change. It analyzes the ecological aspects of global climate change and its consequences for natural ecosystems, particularly wetlands.

Due to climate change and alterations in the hydrological regime of the reserve, there has been a noted loss of hygrophytes, mesophytization of the wetland ecosystem, and the replacement of wetland species with meadow and invasive ones.

Compared to data from ten years ago, current research reveals changes in the composition of plant communities and the degradation of populations of rare and endangered wetland species of natural flora, along with significant transformational processes occurring within the reserve.

As of 2025, the territory of the reserve is overgrown with dense thickets of *Cornus sanguinea* L., *Crataegus ucrainica* A. Pojark, and *Solidago canadensis* L., which occupy a large area and are one of the causes of the degradation of populations of rare and endangered plant species.

The area and population sizes of species such as *Epipactis palustris* Crantz, *Cladium mariscus* (L.) R. Br., *Dactylorhiza incarnata*

(L.) Soo, and *Dactylorhiza majalis* (Reichenb.) P.F. Hunt et Summerhayes have significantly decreased. Moreover, the presence of *Pinguicula vulgaris* L. populations could not be confirmed. Conversely, the extensive spread of xeromesophilic species (*Solidago canadensis* L., *Potentilla erecta* (L.) Hampe, *Poa trivialis* L., *P. palustris* L., *Eupatorium cannabinum* L., etc.) and the presence of dense shrub thickets indicate a change in the hydrological regime within the reserve.

The study examined the population sizes and ontogenetic spectra of rare wetland species – *Epipactis palustris* and *Cladium mariscus*. Comparative data from 2014 indicate a decline in the populations and habitat areas of these species over the past ten years.

Keywords: climate change; reserve; wetland ecosystems; populations of rare wetland species; transformation.

Мазепа В. Г., д.с.-г.н., професор (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2149-3409>, vasyl.mazepa@gmail.com), **Хоєцький П. Б., д.с.-г.н., професор**, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9726-953X>, hpb@ua.fm), **Фізик І. В., к.с.-г.н., доцент** (Надслучанський інститут Національного університету водного господарства та природокористування, м. Березне)

ПРОДУКТИВНІСТЬ ДЕРЕВОСТАНІВ ЗА УЧАСТЮ ДУБА У ДП «ВОЛИНСЬКИЙ ВІЙСЬКОВИЙ ЛІСГОСП»

Наведено результати типологічного аналізу насаджень за участю дуба звичайного, що ростуть у різних типах лісу в умовах ДП «Волинський військовий лісгосп». Встановлено фактичну та потенційну продуктивність, типи деревостанів, а також лісівничу ефективність використання лісорослинних умов деревостанами у різних типах лісу військового лісгоспу. Деревостани з участю дуба звичайного в умовах Волинського військового лісгоспу, займають невеликі площі, що зумовлено характерними лісорослинними умовами. У найбільш поширених типах лісу – вологій грабовій судіброві та свіжому грабово-дубово-сосновому сугрудах виявлено зменшення продуктивності насаджень, середній фактичний запас деревостанів становить відповідно 176 та 277 м³·га⁻¹, а потенційні можливості лісорослинних умов використовуються на 84 та 92%. Збільшення середніх запасів деревостанів у даних типах лісу зареєстровано до сьомого класу віку, а з восьмого класу віку у них спостерігається зниження середніх фактичних запасів. Максимальний середній фактичний запас деревостанів в умовах вологого сугруду становить 255 м³·га⁻¹ у віці 101–120 років, середній фактичний запас старовікових (161 рік і старших) – 187 м³·га⁻¹, а стиглих та перестійних деревостанів віком 121–160 років змінюються у межах 203–205 м³·га⁻¹. Перестійні грабово-дубові деревостани вологої грабової судіброви використовують потенційні лісорослинні умови лише на 42–47% і характеризуються найнижчою продуктивністю.

У переважających типах лісу військового підприємства переважають похідні та середньоповнотні деревостани. Частка похідних деревостанів, які в умовах вологого сугруду формують дев'ять видів дерев, у панівних типах лісу становить 59–62%, а високоповнотних похідних – 8–23%. В умовах вологого сугруду військового лісгоспу переважають похідні березняки (50.3%) та дубняки (3.8%). У свіжому сугруді панівними є похідні дубняки (32.0%) та сосняки (23.3%). У вологій грабовій судіброві похідні деревостани граба та сосни поширені на малих площах (1.9% кожна порода), на невеликих ділянках ростуть дубняки з червоного дуба, вільшняки, ялинники та кленняки з клена гостролистого.

Ключові слова: корінні деревостани; похідні деревостани; тип лісу; тип деревостану; використання типологічного потенціалу.

Постановка проблеми. На продуктивність дубових лісостанів в останні роки найбільш суттєво впливають антропогенні та природні фактори, а також їх географічне розміщення у межах ареалу. Найбільш сприятливі умовами для зростання дубових деревостанів в Україні знаходяться у центральній частині ареалу дубових лісів, а його територіальний центр знаходиться у зоні Західного Лісостепу [1]. В умовах Правобережного Полісся України, дуб звичайний формує здебільшого мішані насадження з участю від 3 до 9 одиниць у складі деревостану, а також похідні чисті дубняки, які ростуть на 6,9% площі [2]. Вікова структура дубових деревостанів у Правобережному Поліссі нерівномірна, за віком переважають (56,7%) деревостани середнього віку. Найбільші площі насаджень за участю дуба тут зосереджено у Центральному Поліссі (59,5%).

Сучасний стан дубових насаджень ДП «Волинський військовий лісгосп», які ростуть неподалік м. Луцька, та зазнають різноманітного антропогенного впливу залишається не достатньо вивченим. Відтак вивчення сучасного стану дубових лісів є актуальним, а для вирішення цієї проблеми потрібно встановити їх фактичну і потенційну продуктивність, наявні типи деревостанів, а також лісівничу ефективність використання ґрунтово-кліматичних умов у пануючих типах лісів за участю дуба звичайного. Дослідження фактичної та потенційної продуктивності деревостанів різного віку у різних типах лісу дасть змогу удосконалити ведення лісового господарства у

дубових насадженнях та розробити заходи для підвищення їх продуктивності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Лісостани дуба звичайного, що ростуть на території України в останні десятиріччя зазнають впливу несприятливих факторів природного та антропогенного характеру. Особливо потерпають вони та ушкоджуються внаслідок інтенсивного ведення лісового господарства та рекреаційного їх використання [3]. У Правобережному Поліссі України за даними І. Д. Іванюка [2], «...інтенсивне лісокористування призвело до спрощення структури, зрідження сосново-дубових лісостанів та зниження їх біологічної стійкості».

На думку С. А. Генсірука та інших авторів [1; 3], основною причиною деградації дубових лісів є їхня інтенсивна експлуатація впродовж майже трьох століть та недостатня увага до їх природного поновлення. Ці чинники призвели до формування насаджень зі спрощеною структурою і формою, а також інтенсивного зрідження дубових деревостанів та появи похідних деревостанів. Їх продуктивність та біологічна стійкість зменшуються, також зменшується площа лісостанів природного походження у межах ареалу дуба [4].

Продуктивність і ріст насаджень дуба суттєво залежить від лісорослинних умов. Крім трофності ґрунту, на стійкість і продуктивність дубових насаджень суттєво впливає рівень зволоження едатопу. Так, насадження з домішкою дуба звичайного у Правобережному Поліссі зустрічаються майже у складі всіх едатопів, проте переважаючи їх площі приурочені до вологих (62,1%) та свіжих (21,1%) гігروتопів у сугрудкових умовах [2].

Потрібно зазначити, що інтенсивна лісоексплуатація дубових лісостанів призвела до порушення їх якісної структури і форми, зниження їх стійкості. Причинно-наслідкові чинники пошкодження дубових деревостанів, а саме нераціональне господарювання в них, їх інтенсивні рубки, недостатня увага до природного їх відновлення, обумовлюють ослаблення та деградацію дубняків. Внаслідок інтенсивного лісокористування спостерігається спрощення вікової структури та погіршення якісного складу деревостанів за участю дуба, зрідження дубняків знижує їх біологічну стійкість. Все це призводить до подальшого ослаблення і зріджування деревостанів, руйнування трофічних взаємозв'язків у лісостані, що забезпечують стійкість дуба

[5]. Антропогенний вплив на деревостани дуба підсилюється забрудненням повітря і ґрунтів шкідливими викидами промислових підприємств і автотранспорту. Так, за даними А. А. Новака [6], санітарний стан дубових насаджень у зоні впливу «Миколаївцементу» є незадовільним. Дубняки, що зростають у зоні впливу атмосферного забруднення переважно є помірно або сильно ушкодженими. За віком найбільш пошкодженими є стиглі та перестійні деревостани дуба, а фактична їх продуктивність є найнижчою порівняно з потенційною [6]. Продуктивність дубових насаджень та використання ними лісорослинних умов у різних регіонах України вивчали багато дослідників [2; 5; 6–11]. У Західному Поліссі сучасний стан насаджень за участю дуба досліджували лише окремі вчені [2; 3; 12], які встановили, що в цьому регіоні, як і в інших регіонах України, спостерігається зниження продуктивності дубових та сосново-дубових насаджень. Найнижчими показниками використання лісорослинного (типологічного) потенціалу характеризуються стиглі та перестійні деревостани [2; 7–12].

Таким чином, аналіз літературних джерел з вивчення сучасного стану дубових насаджень показав, що в останні роки зареєстровано зниження їх продуктивності та використання ними лісорослинного потенціалу в усіх регіонах України. Тому вивчення особливостей формування стійких і продуктивних дубових лісостанів є важливим питанням їх охорони та відтворення, яке потребує подальшого вивчення та вдосконалення на лісотипологічній основі з врахуванням впливу на лісостани регіональних чинників довкілля. Встановлення фактичної та потенційної продуктивності деревостанів у різних типах лісу та класах віку дасть змогу обґрунтувати вибір напрямку ведення господарства у насадженнях за участю дуба і розробити лісівничі заходи для підвищення їх продуктивності та стійкості.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження було вивчення фактичної та потенційної продуктивності деревостанів за участю дуба та лісівничої раціональності використання ними ґрунтово-кліматичних умов в різних типах лісу ДП «Волинський військовий лісгосп».

Об'єктом дослідження є деревостани за участю дуба звичайного, які ростуть на території Луцького та Козлинського лісництв ДП «Волинський військовий лісгосп».

Предмет дослідження – фактична та потенційна продуктивність деревостанів за участю дуба, типи деревостанів у переважаючих типах лісу Луцького та Козлинського лісництв військового лісгоспу.

Оцінку продуктивності деревостанів здійснювали за методикою типологічного аналізу, яка передбачає їх розподіл у межах класів віку, визначення максимальної природної та фактичної продуктивності, а також розподіл деревостанів за типами і повнотою [13]. Розрахунки потенційних запасів корінних деревостанів здійснювали з використанням нормативно-довідкових матеріалів для таксації лісостанів [14]. Для дослідження продуктивності деревостанів використано матеріали лісовпорядкування території підприємства (2018 р.), згідно яких дубові деревостани формуються у таких панівних типах лісу – вологій грабовій судіброві (Козлинське лісництво) та свіжому грабово-дубово-сосновому сугруді (Луцьке лісництво). Для підбору типових для підприємства типів лісу з участю дуба використано матеріали лісовпорядкування ДП «Волинський військовий лісгосп» за 2018 рік.

Виклад основного матеріалу дослідження. Внаслідок здійснення типологічного аналізу панівних типів лісу за участю дуба Луцького та Козлинського лісництв ДП «Волинський військовий лісгосп» встановлено, що більшість за площею дубових деревостанів формується в умовах вологій грабовій судіброві Козлинського лісництва. Відтак, лісорослинний потенціал найбільш повно використано у молодняках деревостанами третього класу віку (табл. 1).

Таблиця 1

Фактична та потенційна продуктивність деревостанів вологій грабовій судіброві (Козлинське лісництво)

Група віку, роки	Загальна площа, га	Фактичний запас на всій площі, тис. м ³	Середній фактичний запас, м ³ /га	Середній фактичний приріст, м ³ /га	Існуючий типологічний еталон		Потенційний запас, тис. м ³	Використання типологічного потенціалу, %
					середній приріст, м ³ /га	запас, м ³ /га		
5–10	32,9	0,99	30	3,7	2,5	30	0,99	100
11–20	84,5	6,25	74	4,9	3,3	60	5,07	123
21–30	182,1	24,22	133	5,3	3,6	90	16,39	148
31–40	127,7	19,52	153	4,4	4,0	140	17,88	109
41–50	54,0	10,44	193	4,3	4,2	190	10,26	102
51–60	121,4	27,51	227	4,1	4,2	230	27,92	99
61–70	72,3	17,43	241	3,7	4,2	270	19,52	89
71–80	45,9	10,76	234	3,1	4,0	305	13,99	77

продовження табл. 1

81–90	110.0	24.69	225	2,6	3,9	337	37.07	67
91–100	6.4	1,38	216	2,3	3,8	360	2.3	60
101–120	26.1	6.65	255	2,3	3,5	390	14,94	45
121–140	30.7	6.28	205	1.6	3,2	410	12.59	50
141–160	12.5	2.54	203	1.4	2.9	430	5.37	47
161–180	20.3	3.79	187	1,1	2.6	445	9.03	42
Всього	926.8	162.45	173	–	–	–	193.32	84

Значні фактичні запаси деревостанів у молодняках можна пояснити наявністю у даному типі лісу перегушених похідних деревостанів з перевагою швидкорослих деревних порід, запаси яких перевищують запаси корінних деревостанів у цих класах віку. Висока фактична продуктивність молодняків третього класу віку в умовах вологої грабової судіброви, зумовлена наявністю значних площ похідних чистих та мішаних березняків. Відтак, перегушеність молодняків обумовлює зростання фактичних запасів деревостанів у порівнянні з корінними деревостанами. Найнижчим ступенем використання лісорослинного потенціалу у грабовій судіброві характеризуються стиглі та перестійні деревостани у віці 101–180 років, де він знижується до 42–50%.

Фактичні запаси стиглих та перестійних деревостанів є досить низькими і складають 187–255 м³ · га⁻¹. Зменшення середнього фактичного запасу деревостанів в умовах вологої судіброви спостерігається з 70-річного віку, де середній їх запас становить 173 м³ · га⁻¹. Таке зниження запасу, на нашу думку, пояснюється впливом інтенсивних доглядових та санітарних рубань, які проводились у насадженнях за участю дуба у попередні роки. Наявний на усій площі фактичний запас деревостанів у цьому типі лісу складає 84% від потенційно можливого, що свідчить про значний резерв для підвищення фактичної продуктивності деревостанів.

В умовах свіжого грабово-дубово-соснового сугруду (Луцьке лісництво) найвищим рівнем використання лісорослинного потенціалу вирізняються лісостани шостого та сьомого класів віку (табл. 2).

Таблиця 2

**Фактична та потенційна продуктивність деревостанів свіжого
грабово-дубово-соснового сугруду (Луцьке лісництво)**

Група віку	Кількість ділянок	Загальна площа, га	Сумарний фактичний запас, тис. м ³	Середній запас на 1 га, м ³ /га	Потенційний запас на 1 га, м ³ /га	Потенційний запас на всій площі, тис. м ³	Використання типологічного потенціалу, %
6–10	3	7.1	0.14	20	25	0.18	78
11–20	3	7.4	0.17	23	50	0.37	46
21–30	2	3.9	0.46	118	120	0.47	98
31–40	2	2.0	0.26	130	150	0.30	87
41–50	1	1.0	0.15	150	185	0.18	83
51–60	16	56.1	15.13	270	230	12.9	118
61–70	17	121.3	34.85	287	270	32.75	106
71–80	23	106.3	28.05	264	305	32.42	87
81–90	22	81.7	23.62	289	340	27.78	85
91–100	15	56.8	18.82	331	370	21.02	90
101–110	7	21.0	6.44	307	395	8.3	78
111–120	4	30.2	9.22	305	405	12.23	75
181	1	3.2	0.87	271	450	1.44	60
Разом	116	498.0	138.18	277	–	150.34	92

Висока продуктивність таких деревостанів пояснюється тим, що вони належать до категорії захисних лісів, у яких обмежений режим лісокористування. Найвищим запасом ($331 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) у свіжому сугруді характеризуються насадження у віці 91 – 100 років. У даному типі лісу середній фактичний запас деревостанів складає $277 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. У перестійних та стиглих деревостанах ступінь використання типологічного потенціалу є найменшим і становить відповідно 60% та 75–78%. У межах всього типу лісу лісорослинні умови використовуються на 92%.

Вікова структура деревостанів за участю дуба досить нерівномірна. У складі лісового фонду підприємства переважають середньовікові насадження. Лише на окремих ділянках, які віднесені до лісів з особливим режимом лісокористування, збереглися стиглі та перестійні насадження. У Луцькому лісництві деревостани за участю

дуба старші 120 років відсутні, а збереглась лише одна ділянка захисних лісів віком понад 180 років.

Розподіл деревостанів за переважаючими породами та повнотами показав (табл. 3), що у Волинському військовому лісгоспі переважають похідні та середньоповнотні деревостани. Найбільша частка похідних деревостанів у найбільш поширених типах лісу за участю дуба є характерна для вологої судіброви Козлинського лісництва, де частка похідних складає 62% від площі типу лісу.

Таблиця 3

Розподіл насаджень переважаючих типів лісу ДП «Волинський військовий лісгосп» за типами деревостану та повнотою

Індекс типу лісу	Середній запас деревостану, м ³ ·га ⁻¹	Використання типологічного потенціалу, %	Розподіл площі деревостанів за типи та повнотами, га/%						Всього, га/%
			корінні			похідні			
			1,0-0,8	0,7-0,5	≤0,4	1,0-0,8	0,7-0,5	≤0,4	
С ₂ -гдС	277	92	<u>68,4</u> 14	<u>136,6</u> 27	<u>0</u> 0	<u>40,7</u> 8	<u>233,8</u> 47	<u>18,5</u> 4	<u>498,0</u> 100
С ₃ -гД	176	84	<u>99,9</u> 11	<u>248,3</u> 27	<u>0</u> 0	<u>217,9</u> 23	<u>344,0</u> 37	<u>16,7</u> 2	<u>926,8</u> 100

В умовах свіжого сугруду Луцького лісництва похідні деревостани займають меншу (59%), але переважаючу за типом лісу площу. Деревостани високої повноти займають в лісгоспі друге місце, з яких до корінних віднесено лише 11 та 14% насаджень в умовах свіжого сугруду та вологої судіброви відповідно. У насадженнях Козлинського та Луцького військових лісництв наявні також і низькоповнотні деревостани та рідини за участі дуба на площі 1.8% та 4.0% відповідно (табл. 3, 4). Це переважно деревостани старшого віку та перестиглі, які сильно зріджені унаслідок рубок формування та оздоровлення лісів. Їх наявність суттєво знижує загальну продуктивність деревостанів.

Таблиця 4

Розподіл насаджень вологої грабової судіброви на типи деревостанів та за повнотою (Козлинське лісництво)

Вік, роки	Корінні деревостани (дубина)			Похідні деревостани			Всього, га
	1,0–0,8	0,7–0,5	0,4 і <	1,0–0,8	0,7–0,5	0,4 і <	
6–10	6.5	–	–	25.3	1.1	–	32.9
11–20	16.5	–	–	38.9	29.1	–	84.5
21–30	38.5	16.4	–	71.8	55.4	–	182.1
31–40	31.0	6.5	–	63.5	26.7	–	127.7
41–50	4.4	29.4	–	8.6	11.6	–	54.0
51–60	3.0	41.6	–	2.9	73.9	–	121.4
61–70	–	33.7	–	4.0	34.6	–	72.3
71–80	–	6.5	–	–	39.4	–	45.9
81–90	–	63.7	–	2.9	43.1	0.3	110.0
91–100	–	2.1	–	–	4.3	–	6.4
101–120	–	20.2	–	–	3.5	2.4	26.1
121–140	–	9.9	–	–	17.2	3.6	30.7
141–180	–	9.6	–	–	–	2.9	12.5
Разом, га	99.9	248.3	0	217.9	344.0	16.7	926.8
%	10.8	26.8	0	23.5	37.0	1.8	100

В умовах панівного типу лісу вологої грабової судіброви корінні деревостани сформовано на 37,6% площ ділянок. Це переважно середньоповнотні дубини, які переважають в групах віку 41–50, 51–60 років та у 81–90 років. Високоповнотні корінні деревостани репрезентовані молодняками до 60-річного віку і ростуть на 10,8% площі в межах типу лісу. Починаючи з сьомого і старших класів віку корінні дубини відсутні. Панівними за повнотою в таких умовах є середньоповнотні деревостани, які ростуть на 63,9% площі вологої грабової судіброви. Найбільша частка похідних деревостанів високої повноти є характерною для молодняків, що зумовлено відсутністю проведення у них своєчасних рубок догляду за складом. Відносно невелику площу (16,7 га або 1,8%) займають похідні деревостани з низькою повнотою та рідини. Вони характерні в групах віку 101–180 років. Корінні деревостани з низькою повнотою в даному типі лісу відсутні.

Високий відсоток похідних середньоповнотних деревостанів у вологій грабовій судіброві можна пояснити проведенням у деревостанах старшого віку інтенсивних рубок догляду та вибіркового

санітарних рубок, які є вагомим чинником зниження продуктивності дубових деревостанів з їх віком. Відтак у високоповнотних насадженнях молодого віку, не ведуться своєчасні догляди за дубом. Ці та інші причини призводять до появи низькоповнотних та низькопродуктивних дубових деревостанів у старшому віці.

У насадженнях за участю дуба ДП «Волинський військовий лісгосп» похідні деревостани формують дев'ять деревних порід (табл. 5). Найбільші площі займають другорядні панівні породи в умовах вологого сугруду. Відтак у свіжому сугруді переважають похідні дубняки (32.0%) та сосняки (23,3%), а в вологих умовах Козлинського лісництва переважають березняки (50.3%). Дуб звичайний формує чисті похідні дубняки, які переважають лише в умовах свіжого сугруду Луцького лісництва.

Таблиця 5

Розподіл деревостанів ДП «Волинський військовий лісгосп» за панівними породами, га/%

Тип деревостану	Площа деревостанів за типами лісу, га/%	
	С ₂ -гдС	С ₃ -гД
Корінний	205.0/41.1	348.2/37.6
Похідний:	293.0/59.0	578.6/62.4
- сосняк	115.9/23.3	17.9/1.9
- дубняк (Дз)	154.2/32.0	35.6/3.8
- дубняк (Дчр)	2.9/0.6	1.6/0.2
-осичник	12.0/2.4	22.4/2.4
-грабняк	8.0/1.6	17.2/1.9
-березняк	–	466.4/50.3
-вільшняк	–	7.8/0.8
-ялиник	–	6.7/0.7
-кленняк (Клг)	–	3.0/0.3
Разом, га/%	498,0/100.0	926.8/100.0

*Примітка. С₂-гдС – свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд (Луцьке лісництво); С₃-гД – волога грабова судіброва (Козлинське лісництво)

У вологій грабовій судіброві похідні деревостани граба та сосни поширені на малих площах (1.9% кожна порода), на невеликих ділянках ростуть дубняки з червоного дуба, вільшняки, ялинники та кленняки з клена гостролистого.

Висновки. Насадження за участю дуба звичайного у ДП «Волинський військовий лісгосп» займають найбільші площі в таких панівних типах лісу, як свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд (Луцьке лісництво) та волога грабова судіброва (Козлинське лісництво). У цих типах лісу зареєстровано зменшення фактичної продуктивності дубових деревостанів та наявність переважаючих за площею похідних деревостанів.

У панівних типах лісу за участі дуба звичайного – свіжому грабово-дубово-сосновому сугруді та вологій грабовій судіброві ступінь використання типологічного потенціалу відповідно становить 92 та 84%, а середній фактичний запас деревостанів складає 277 та 176 м³·га⁻¹. Зростання фактичного запасу деревостанів у цих типах лісу спостерігається до сьомого (61–70 років) класу віку, а з восьмого класу віку у них спостерігається зниження середніх фактичних запасів. Найнижчим ступенем використання типологічного потенціалу у підприємстві характеризуються стиглі та перестійні деревостани у віці 101–180 років, що ростуть в умовах вологої грабової судіброви Козлинського лісництва.

У панівних типах лісу Волинського військового лісгоспу переважають похідні та середньоповнотні деревостани. Найбільшу площу (62%) похідні деревостани займають в умовах вологої грабової судіброви Козлинського лісництва. У Луцькому лісництві в умовах свіжого сугрудку похідні деревостани ростуть на меншій, але переважаючій за типом лісу площі (59%).

Для підвищення продуктивності насаджень за участю дуба підприємству потрібно своєчасно здійснювати рубки формування та оздоровлення лісів з дотриманням відповідних нормативів рубок щодо їх проведення та формування корінних деревостанів. Похідні деревостани за участю дуба звичайного доцільно виправляти шляхом застосування рубок переформування та рубок, пов'язаних з їх реконструкцією.

1. Генсірук С. А. Ліси України : монографія. К. : Наукова думка, 1992. 408 с.
2. Іванюк І. Д. Дубові ліси Правобережного Полісся України та їх лісівничо-екологічний потенціал : автореф. дис. ... д-ра сільгосп. наук : 06.03.03. Київ : НУБіп України, 2021. 42 с.
3. Генсірук С. А., Нижник М., Копій Л. Ліси Західного регіону України : монографія. К. : Наукова думка, 1998. 408 с.
4. Діденко М. М., Власов В. М. Формове різноманіття дібров Мохначанського лісництва в умовах свіжої кленово-липової діброви. *Екологізація сталого розвитку*

агросфери, культурний ґрунтогенез і ноосферна перспектива інформаційного суспільства : тези доп. міжнарод. наук. конф. студентів, аспірантів і молодих учених до 190-річчя ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Х., 2006. С. 106–107.

5. Мазепа В. Г., Новак А. А. Типологічна оцінка дубових насаджень техногенної зони ВАТ «Миколаївцемент». *Науковий вісник УкрДЛТУ*. Львів, 2005. Вип. 15.5. С. 34–42.

6. Новак А. А. Сучасний стан дубових насаджень у техногенній зоні ВАТ «Миколаївцемент». *Науковий вісник УкрДЛТУ*. Львів, 2005. Вип. 15.1. С. 53–57.

7. Матусяк М. В. Використання типологічного потенціалу основних лісотвірних порід в умовах Поділля. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 2. С. 20–22. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290203>.

8. Ткач В. П., Кобець О. В., Румянцев М. Г. Використання лісорослинного потенціалу лісами України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2018. Вип. 132. С. 3–12. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.3>.

9. Румянцев М. Г., Кобець О. В. Таксаційні показники та продуктивність дубових насаджень Лівобережного Лісостепу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2020. Вип. 137. С. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.137.2020.9>.

10. Мусієнко С. І., Румянцев М. Г., Тарнопільська О. М., Лук'янець В. А., Бондаренко В. В. Стан і продуктивність дубових насаджень Лісостепу Харківщини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31, № 5. С. 54–59.

11. Луначевський Л. С., Румянцев М. Г. Особливості росту штучних дубових насаджень Лівобережного Лісостепу та використання ними лісо рослинного потенціалу. *Наукові горизонти*. 2020. № 03 (88). С. 106–115. DOI: [10.33249/2663-2144-2020-88-3-106-115](https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-88-3-106-115).

12. Halyna Herasymchuk, Vasyl Mazepa, Nataliya Tolstushko. The productivity of oak stands in the Tsumanska Pushcha of Kivertsi National Natural Park. *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*. 2024. Vol. 66 (4). P. 301–309. DOI: [10.2478/ffp-2024-0022](https://doi.org/10.2478/ffp-2024-0022).

13. Остапенко Б. Ф., Герушинский З. Ю. Типологический анализ лесов. *Экология*. 1975. № 3. С. 36–41.

14. Лісотаксаційний довідник / уклад. А. М. Білоус, С. М. Кашпор, В. В. Миронюк, В. А. Свинчук, О. М. Леснік. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2021. 424 с.

REFERENCES:

1. Hensiruk S. A. *Lisy Ukrainy : monohrafiia*. K. : Naukova dumka, 1992. 408 s.
2. Ivaniuk I. D. *Dubovi lisy Pravoberezhnoho Polissia Ukrainy ta yikh lisivnycho-ekolohichniy potentsial : avtoref. dys. ... d-ra silhosp. nauk : 06.03.03*. Kyiv : NUBip Ukrainy, 2021. 42 s.
3. Hensiruk S. A., Nyzhnyk M., Kopii L. *Lisy Zakhidnoho rehionu Ukrainy : monohrafiia*. K. : Naukova dumka, 1998. 408 s.
4. Didenko M. M., Vlasov V. M. *Formove riznomanittia dibrov Mokhnachanskoho lisnytstva v umovakh svizhoi klenovo-lypovoi dibrovu. Ekolohizatsiia staloho rozvytku ahrosfery, kulturnyi gruntohenez i noosferna perspektyva informatsiinoho*

suspilstva : tezy dop. mizhnarod. nauk. konf. studentiv, aspirantiv i molodykh uchenykh do 190-richchia KhNAU im. V. V. Dokuchaieva. Kh., 2006. S. 106–107. **5.** Mazepa V. H., Novak A. A. Typolohichna otsinka dubovykh nasadzen tekhnohennoi zony VAT «Mykolaivtsement». *Naukovyi visnyk UkrDLTU*. Lviv, 2005. Vyp. 15.5. S. 34–42. **6.** Novak A. A. Suchasnyi stan dubovykh nasadzen u tekhnohennii zoni VAT «Mykolaivtsement». *Naukovyi visnyk UkrDLTU*. Lviv, 2005. Vyp. 15.1. S. 53–57. **7.** Matusiak M. V. Vykorystannia typolohichnoho potentsialu osnovnykh lisotvirnykh porid v umovakh Podillia. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2019. T. 29, № 2. S. 20–22. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290203>. **8.** Tkach V. P., Kobets O. V., Rumiantsev M. H. Vykorystannia lisoroslynnoho potentsialu lisamy Ukrainy. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia*. 2018. Vyp. 132. S. 3–12. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.3>. **9.** Rumiantsev M. H., Kobets O. V. Taksatsiini pokaznyky ta produktyvnist dubovykh nasadzen Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia*. 2020. Vyp. 137. S. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.137.2020.9>. **10.** Musiienko S. I., Rumiantsev M. H., Tarnopilska O. M., Lukianets V. A., Bondarenko V. V. Stan i produktyvnist dubovykh nasadzen Lisostepu Kharkivshchyny. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2021. T. 31, № 5. S. 54–59. **11.** Lunachevskiy L. S., Rumiantsev M. H. Osoblyvosti rostu shtuchnykh dubovykh nasadzen Livoberezhnoho Lisostepu ta vykorystannia nymy liso roslynnoho potentsialu. *Naukovi horyzonty*. 2020. № 03 (88). S. 106–115. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-88-3-106-115. **12.** Halyna Herasymchuk, Vasyl Mazepa, Nataliya Tolstushko. The productivity of oak stands in the Tsumanska Pushcha of Kiverts National Natural Park. *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*. 2024. Vol. 66 (4). P. 301–309. DOI: 10.2478/ffp-2024-0022. **13.** Ostapenko B. F., Herushynskiy Z. Yu. Typolohycheskyi analiz lesov. *Ekolohyia*. 1975. № 3. S. 36–41. **14.** Lisotaksatsiinyi dovidnyk / uklad. A. M. Bilous, S. M. Kashpor, V. V. Myroniuk, V. A. Svynchuk, O. M. Lesnik. Kyiv : Vydavnychy dim «Vinichenko», 2021. 424 s.

Mazepa V. H., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), **Khoietskyi P. B., Doctor of Agricultural Sciences, Professor** (National Forestry University of Ukraine, Lviv), **Fizyk I. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (Nadsluchansk Institute of the National University of Water Management and Environmental Management, Berezhne)

PRODUCTIVITY OF FOREST STANDS WITH THE OAK PARTICIPATION IN THE VOLYN STATE MILITARY FORESTRY ENTERPRISE

The results of typological analysis of stands with the participation

of common oak growing in different types of forest in the conditions of the State Enterprise "Volyn Military Forestry Enterprise" are presented. The actual and potential productivity, types of stands, as well as the silvicultural efficiency of forest vegetation use by stands in different types of forest of the military forestry enterprise are established. In the Volyn Military Forestry Enterprise stands with the participation of common oak occupy small areas, which is due to the characteristic forest vegetation conditions. In the most common forest types such as moist hornbeam forest and fresh hornbeam-oak-pine fairly fertile site type a decrease in stand productivity was detected, the average actual stock of stands is 176 and 277 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ respectively and the potential opportunities of forest vegetation conditions are used by 84 and 92%. An increase in the average stand stocks in these forest types was recorded up to the seventh age class and from the eighth age class onwards a decrease in the average actual stocks was observed. The maximum average actual stock of stands in the wet fairly fertile site type conditions is 255 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ at the age of 101–120 years, the average actual stock of old-growth stands (161 years and older) is 187 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$, and mature and overmature stands aged 121–160 years vary within 203–205 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. Overmature hornbeam-oak stands of moist hornbeam forest use potential forest vegetation conditions by only 42–47% and are characterized by the lowest productivity.

The dominant forest types of the military enterprise are dominated by secondary and medium-density stands. The share of secondary stands, which in humid conditions form nine species of trees in the dominant forest types is 59–62%, and in the high-density secondary stands is 8–23%. In the conditions of the wet fairly fertile site type of the military forestry secondary birch forests (50.3%) and oak forests (3.8%) predominate. In the fresh conditions, secondary oak forests (32.0%) and pine forests (23.3%) dominate. In the humid hornbeam forest secondary stands of hornbeam and pine are common in small areas (1.9% of each species), and small areas of red oak, alder, spruce, and silver maple forests are found rarely.

Keywords: primary stands; secondary stands; forest type; stand type; use of typological potential.

Мошинський В. С., д.с.-г.н., професор, Вознюк С. А., аспірант
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, v.s.moshynskyi@nuwm.edu.ua,
s.a.voznyuk@nuwm.edu.ua)

МОНІТОРИНГ УЩІЛЬНЕННЯ ТА ДЕГРАДАЦІЇ ҐРУНТІВ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ: ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ І ПЕРСПЕКТИВ

У статті розглянуто сучасні підходи до моніторингу ущільнення та вологості ґрунтів із використанням супутникових даних дистанційного зондування Землі. Основну увагу приділено мультиспектральним (Sentinel-2) і радарним (Sentinel-1) даним, що дозволяють виявляти непрямі ознаки фізичної деградації ґрунтового покриву. Проаналізовано ефективність індексів рослинності (NDVI, NDTI) та моделей машинного навчання (Random Forest) у виявленні змін структури ґрунту. Особливу увагу зосереджено на прикладах із застосуванням зображень Sentinel-2 для оцінки яскравості та текстури верхнього шару ґрунту. Отримані результати свідчать про перспективність поєднання супутникових даних з польовими спостереженнями для розробки систем точного моніторингу ґрунтів.

Ключові слова: ущільнення ґрунту; дистанційне зондування; Sentinel-1; Sentinel-2; темно-сірі опідзолені ґрунти; NDVI; структура ґрунту; агроекологічний моніторинг.

Постановка проблеми. Сучасні аграрні системи функціонують в умовах постійного антропогенного тиску, кліматичних змін і зростаючого дефіциту природних ресурсів, що потребує нових підходів до моніторингу стану ґрунтів та агрокліматичних факторів. Однією з важливих проблем в аграрному виробництві є переущільнення ґрунтів. В ущільнених ґрунтах і субстратах обмежується зростання і правильний розвиток кореневої системи, внаслідок чого рослини не в повному обсязі споживають необхідні для них поживні речовини, мікро- та макроелементи. Ґрунт з підвищеною щільністю «збіднюється» за рахунок того, що кисень в меншому обсязі

проникає всередину ґрунту, а також внаслідок зменшення і мінералізації азоту, що може бути причиною слабкого зростання і розвитку рослин, зниження врожайності в цілому та загального зниження родючості ґрунту. Ця проблема особливо актуальна для темно-сірих опідзолених ґрунтів, які поширені на території Західного Лісостепу України, зокрема в Рівненській області.

Мета і завдання дослідження. *Мета дослідження* – проаналізувати сучасні супутникові методи виявлення ущільнення та змін фізичних властивостей ґрунтів, охарактеризувати індикатори, що можуть бути отримані за допомогою дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), а також виявити їх потенціал у моніторингу деградаційних процесів на агроландшафтах.

Об'єкт дослідження – фізичний стан орних ґрунтів, зокрема прояви їх переущільнення.

Предмет дослідження – індикатори ущільнення ґрунтів, що можуть бути визначені за супутниковими мультиспектральними й радарними даними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Структура ґрунту відіграє ключову роль у формуванні його фізичних властивостей, зокрема водно-повітряного, теплового та поживного режимів. Вона безпосередньо впливає на родючість ґрунту та ріст рослин. Процеси руйнування структури орного шару значною мірою залежать від механічного обробітку, мінералізації, накопичення органіки, дії рослин, ґрунтових мікроорганізмів, добрив, а також сезонних перезволоження і промочувань.

У наукових дослідженнях докладно проаналізовано, як агровикористання змінює структурно-агрегатний склад ґрунту. Це стосується зокрема механічного обробітку, застосування органічних і мінеральних добрив, а також вирощування сільськогосподарських культур. В. В. Медведєв зазначає, що довготривале розорювання істотно трансформує структуру ґрунтів, зменшуючи кількість агрономічно цінних агрегатів і сприяючи підвищенню брилуватості [1].

Механічний обробіток істотно впливає на структуру, щільність і мікрорельєф ґрунтової поверхні, а також на процеси інфільтрації та випаровування вологи. За один сезон поле піддається ущільненню сільськогосподарськими агрегатами в середньому 3–5 разів, а під просапними культурами – до 8–12 разів. Як наслідок, погіршуються водні, повітряні та поживні режими ґрунту. За умов систематичного

обробітку технікою структура ґрунту втрачає стійкість до руйнівної дії води та вітру [2; 3].

Зменшення інтенсивності агротехнічного навантаження, зокрема запровадження нульового обробітку, сприяє збереженню структури ґрунту. Це забезпечує покращення його агрегатного стану порівняно з традиційним обробітком [4].

За твердженнями Балюка С. А. та співавторів, ґрунтові ресурси становлять фундамент для розвитку аграрного виробництва в Україні. Близько 60% площ ріллі займають чорноземні ґрунти, що свідчить про унікальність ґрунтового фонду країни [5]. Сучасне виробництво продукції рослинництва переважно базується на інтенсивній експлуатації природної родючості, насамперед чорноземів. Утім, збереження таких ґрунтів вимагає переходу до ґрунтозберігаючих систем землеробства, оскільки подальше виснаження без належного відновлення може призвести до незворотної деградації та втрати продуктивності ґрунтів [6].

Яцук І. П. та колеги підкреслюють, що сьогодні в Україні спостерігається тенденція до виснаження ґрунтового покриву й активізації деградаційних процесів. Серед основних проблем виділяють зниження вмісту гумусу, підкислення, водну ерозію, дефляцію та переущільнення, що зумовлені порушенням або спрощенням технологічних підходів до обробітку ґрунтів [7].

Для ефективного відновлення родючості необхідна надійна інформаційна база щодо якісного стану земель. Дані еколого-агрохімічного оцінювання ґрунтів слугують основою для прогнозування деградаційних змін, своєчасного реагування на негативні тенденції та забезпечення екологічно обґрунтованого використання земельних ресурсів [8; 9].

Останніми роками дедалі більше уваги приділяється дистанційним методам, зокрема супутниковому зондуванню Землі (ДЗЗ) як засобу для оперативного та просторово охоплюючого аналізу змін у стані ґрунтів та супутніх кліматичних умов. Технології ДЗЗ дозволяють виявляти непрямі ознаки переущільнення – наприклад, через індекси рослинності (NDVI, NDRE), відбиття в радарному діапазоні, зниження температури ґрунту та інші показники.

Крім того, дистанційне зондування відкриває можливості для моніторингу агрокліматичних чинників – температури повітря та ґрунту, кількості опадів, вологості поверхні, які безпосередньо впливають на агрофізичні процеси.

Результати досліджень та обговорення. Ущільнення ґрунтів – це процес зменшення об’єму порового простору під впливом зовнішнього навантаження, що призводить до підвищення об’ємної маси, зниження макропористості та загального погіршення водно-повітряного режиму ґрунтів. Ущільнення ґрунту є однією з найпоширеніших форм фізичної деградації ґрунтів, особливо в умовах інтенсивного землеробства. Переущільнення негативно впливає на повітряний і водний режими, біологічну активність і врожайність сільськогосподарських культур.

Основними джерелами механічного навантаження є сільськогосподарська техніка, тварини та кліматичні чинники (наприклад, дощове ущільнення у вологих умовах). За даними [1], на полях, що обробляються важкою технікою без застосування протиущільнювальних заходів, ущільнення може сягати глибини до 50 см.

Для темно-сірих опідзолених ґрунтів Західного Лісостепу характерна легко- або середньоглиниста текстура, достатній природний дренаж, а також помірний вміст гумусу у верхньому горизонті (2–3,5%). Проте ці ґрунти мають послаблену агрегатну стійкість, особливо в орному шарі, що сприяє формуванню щільних горизонтів Bt у нижній частині профілю (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика темно-сірих опідзолених ґрунтів

Параметр	Класифікація ґрунтів України [10]	WRB (FAO, 2022) [11]
Тип ґрунту	Опідзолені ґрунти	Luvisols
Підтип	Темно-сірі опідзолені	Haplic Luvisol
Діагностичний горизонт	Ілювіальний (Bt), елювіальний (EL)	Argic horizon (Bt), можливий Albic (E)
Профіль	A – EL – Bt – BC – C	A – E (можливий) – Bt – BC – C
Гранулометричний склад	Легко- та середньоглинистий	Clayic / Loamic
Вміст гумусу у горизонті A	2.0–3.5%	Medium humus
Кислотність (pH)	5.5–6.5 (слабокисла до нейтральної)	Slightly acidic to neutral
Материнська порода	Лес або лесоподібний суглинок	Endosiltic (лесовидні відклади)
Структура горизонту Bt	Горіхова, призматична, щільна	Cutanic (наявність плівки з Fe/Si на межах)

продовження табл. 1

WRB-кваліфікатори	—	<i>Clayic, Endosiltic, Cutanic</i>
Водний режим / оглеєння	Неоглеєний	Без ознак <i>Stagnic</i> або <i>Gleyic</i>
Сільськогосподарське значення	Висока потенційна родючість	Помірно до високої продуктивності
Ризики деградації	Ущільнення, дегуміфікація, водна ерозія	Compaction, structure loss, erosion

За умов високої зволоженості в осінній або ранньовесняний період ущільнення може виникати навіть під дією відносно легких агрегатів сільськогосподарської техніки. Такий стан призводить до руйнування ґрунтової структури, зниження гідравлічної провідності, утворення плужної підшви, що ускладнює вертикальну фільтрацію та спричиняє локальний застій води, особливо у верхньому горизонті. Через обмежений повітрообмін у кореневій зоні відбувається погіршення кисневого режиму, що негативно впливає на розвиток культур.

За результатами польових досліджень [2; 13; 15], ущільнення в темно-сірих опідзолених ґрунтах може зменшити інфільтрацію води до 50–65%, особливо в зонах із слабким структурним захистом. Врожайність культур, чутливих до температурного і водного стресу (кукурудза, соя, ріпак), може знижуватися на 15–30% залежно від глибини й щільності ущільнення. Водночас спостерігається зниження біологічної активності – зменшення кількості дощових черв'яків, мікрофлори, ферментативної активності, що свідчить про погіршення ґрунтового середовища [3].

Особливо загрозливою є ситуація, коли ущільнення поєднується з низьким рівнем органічної речовини (менше 2%) та надмірною інтенсифікацією обробітку без застосування ґрунтозахисних технологій. За даними [15], в ущільнених ґрунтах цього регіону співвідношення макро- до мікропор часто менше 0,5, що є критичним порогом для нормального дихання та розвитку кореневої системи.

Усі ці чинники обґрунтовують необхідність впровадження системного моніторингу ущільнення, включаючи використання дистанційних методів, що дозволяють оцінити просторове поширення проблеми та вжити запобіжних заходів у межах адаптивного землеробства. Моніторинг ущільнення ґрунтів та пов'язаних з ним

агрокліматичних чинників є необхідною умовою для ефективного управління земельними ресурсами. З розвитком супутникових технологій ДЗЗ стало потужним інструментом у сфері агроекологічного моніторингу. Воно забезпечує можливість спостереження за великими територіями з високою частотою оновлення даних, що особливо важливо для виявлення змін, пов'язаних із фізичним станом ґрунту.

Методи дистанційного зондування Землі відкривають широкі можливості для просторового та оперативного моніторингу фізичного стану ґрунтів [12]. Особливе значення мають дані, які отримуються за допомогою мультиспектральних сенсорів (зокрема Sentinel-2) та радарних систем (Sentinel-1). Мультиспектральні знімки дозволяють аналізувати спектральні характеристики ґрунту та рослинного покриву, зокрема за допомогою індексів NDVI, NDRE, NDTI, Brightness Index, SAVI тощо [14] (табл. 2).

Таблиця 2

Основні вегетаційні, ґрунтові та індекси вологості

NDVI	Нормалізований різницевий вегетаційний індекс	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	Стан і щільність рослинного покриву
NDRE	Нормалізований різницевий індекс червоного краю	<i>Normalized Difference Red Edge Index</i>	Активність фотосинтезу, особливо у зрілих рослин
SAVI	Індекс вегетації, адаптований до ґрунту	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>	NDVI з поправкою на яскравість ґрунту
NDTI	Нормалізований різницевий індекс текстури ґрунту	<i>Normalized Difference Tillage Index</i>	Ступінь обробітку ґрунту, текстурні особливості
BSI	Індекс яскравості ґрунту	<i>Bare Soil Index</i>	Яскравість та сухість оголеного ґрунту
BI	Індекс яскравості	<i>Brightness Index</i>	Загальна відбивна здатність поверхні
NDWI	Нормалізований різницевий індекс вологості	<i>Normalized Difference Water Index</i>	Вміст води в рослинах або ґрунті
NDRGI	Нормалізований індекс зелено-червоного спектру	<i>Normalized Difference Red-Green Index</i>	Для виділення відкритого ґрунту (TDBSS)
VV / VH	Поляризація SAR-сигналу (верт./гор.)	<i>Vertical transmit/vertical or horizontal receive (SAR)</i>	Вологість, структура, щільність ґрунту

продовження табл. 2

TDBSS	Двовимірне виділення оголеного ґрунту	<i>Two-Dimensional Bare Soil Separation</i>	Алгоритм на базі SAVI і NDRGI для очищення зображень
--------------	---------------------------------------	---	--

Такі індекси відображають зміни у стані біомаси, яскравості та структури верхнього шару ґрунту, що може бути пов'язано з ущільненням. Радарні знімки Sentinel-1 забезпечують незалежність від погодних умов і дозволяють аналізувати коефіцієнт зворотного розсіювання (backscatter), який чутливий до текстури, вологості та щільності ґрунту.

Крім того, можуть використовуватися термальні знімки (MODIS, Landsat TIRS) для оцінки температури ґрунту, а також дані з супутників SMAP і SMOS, що вимірюють вологість верхнього шару. Додатково, сучасні цифрові методи ґрунтового картування (Digital Soil Mapping, DSM) дозволяють інтегрувати супутникові, польові та статистичні дані для побудови високоточних моделей розподілу фізичних властивостей ґрунтів. Такі підходи, як Random Forest, Cubist та CNN, забезпечують точність картування до 80–85%, але вимагають ретельної локальної калібровки [17].

Таким чином ДЗЗ забезпечує цінний інструментарій для аналізу ущільнення ґрунтів, особливо у поєднанні з польовими спостереженнями та аналітичними моделями машинного навчання.

Оскільки ущільнення не може бути безпосередньо зафіксоване супутниковими сенсорами, використовуються непрямі індикатори, які виявляють через спектральні характеристики ґрунту та рослинного покриву. Найбільш інформативним індикатором є зниження вегетаційних індексів (NDVI, NDRE, SAVI), що свідчить про уповільнений розвиток рослин у результаті обмеження росту кореневої системи через ущільнення. Яскравість поверхні, яка визначається за допомогою Brightness Index або BSI, зростає на ущільнених ділянках, що мають знижений вміст вологи та слабшу структуру [15; 16].

Вологість ґрунту може бути оцінена за допомогою NDWI або даних SMAP, при цьому знижений рівень вологості може свідчити про низьку інфільтраційну здатність ущільнених ділянок. Крім того, SAR-дані дозволяють виявляти зони з підвищеним зворотним розсіюванням, що є характерним для щільних, зневоднених ґрунтів. Температура поверхні, яку вимірюють MODIS або Landsat, також

підвищується на ущільнених ділянках через знижену теплопровідність та випаровування [18].

Комбіноване використання цих індикаторів забезпечує більш точну діагностику ущільнення. Важливо враховувати, що жоден з індексів не є абсолютно специфічним, тому їх необхідно аналізувати комплексно та порівнювати з польовими даними.

Хоча дистанційне зондування ґрунтів відкриває нові перспективи для агроекологічного моніторингу, ці методи мають низку обмежень, що зумовлюють необхідність їх поєднання з традиційними польовими підходами. Однією з основних проблем є чутливість оптичних даних до погодних умов, зокрема до хмарності, яка значно ускладнює регулярне отримання знімків Sentinel-2 та Landsat у критичні фази вегетації. У таких випадках частково виручають радарні дані Sentinel-1, однак їхнє просторове розрізнення та глибина проникнення обмежені для деталізованого аналізу ущільнення.

Крім того, супутникові сенсори фіксують характеристики лише поверхневого шару ґрунту (0–5 см), тоді як переущільнення найчастіше формується на глибинах 15–35 см [1]. Це знижує точність супутникової діагностики без врахування додаткових польових даних. Моделі машинного навчання, зокрема Random Forest або Cubist, потребують великої кількості тренувальних точок із точними GPS-координатами, які наразі обмежено доступні в Україні.

Також інтерпретація індексів NDVI, NDWI та Brightness Index не є однозначною – зміни в спектральних значеннях можуть бути зумовлені не лише ущільненням, але й посухами, хворобами рослин або дефіцитом поживних речовин [19]. Саме тому критично важливо поєднувати аналіз супутникових індексів з даними польових досліджень: пенетрометрією, аналізом об'ємної маси, визначенням структури та гранулометричного складу ґрунту. Лише такий комплексний підхід дозволить підвищити достовірність оцінки ступеня ущільнення та розробити надійні моделі управління земельними ресурсами.

Висновки та перспективи. Супутникове зондування є ефективним інструментом у виявленні непрямих ознак ущільнення ґрунтів і може слугувати основою для оперативного моніторингу великих територій. У перспективі доцільно створити відкриті національні бази ґрунтових даних, інтегровані з супутниковими

платформами, для побудови карт деградаційних процесів, включаючи ущільнення. Така інтеграція відкритих даних із польовими спостереженнями є важливим кроком до впровадження цифрового землеробства та моніторингу деградаційних процесів в Україні.

Поєднання супутникових технологій з польовими методами сформує надійне підґрунтя для сталого управління ґрунтовими ресурсами.

1. Медведев В. В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков : Изд. «13 типография», 2008. 406 с.
2. Цюк О. А., Манько І. П., Ямковий В. Ю. Зміна агрофізичних властивостей ґрунту залежно від систем землеробства. *Таврійський науковий вісник*. 2007. Вип. 52. С. 102–108.
3. Цюк О. А., Цепцова І. В., Мельник В. П. Структурно-агрегатний склад ґрунту залежно від основного обробітку та удобрення. *Біоресурси і природокористування*. 2018. № 5–6. Т. 10. С. 139–145. doi: 10.31548/bio2018.05.017.
4. Танчик С. П., Ямковий В. Ю. Вплив систем основного обробітку ґрунту на його структурно-агрегатний склад та продуктивність озимої пшениці в Лісостепу України. *Наукові доповіді НУБіП*. 2009. № 2. С. 14–22.
5. Балюк С. А., Мірошніченко М. М., Медведев В. В. Наукові засади сталого управління ґрунтовими ресурсами України. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 11. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-01>.
6. Балаєв А. Д., Ковальчук О. П., Гаврилюк М. В., Стопа В. П. Родючість ґрунтів Лісостепу України за різної інтенсивності їх використання. *Наукові праці*. 2011. № 140 (152). С. 63–65. DOI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue_2011_152_140_16.
7. Яцук І. П., Моклячук Л. І., Ліщук А. М., Романова С. А. Інноваційний розвиток сільського господарства за використання індикаторів «зеленого зростання». *Агроекологічний журнал*. 2019. № 2. С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174011>.
8. Булигін С. Ю., Вітвіцький С. В., Кучер Л. І., Вітвіцька О. І. Концепція оцінки якості та охорони земель в Україні. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. № 11(2). С. 30–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.02.030>.
9. Балюк С. А., Медведев В. В., Воротинцева Л. І., Шимель В. В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>.
10. Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. К. : Аграрна наука, 2005. 300 с.
11. IUSS Working Group WRB: World Reference Base for Soil Resources, fourth edition. *International Union of Soil Sciences*. Vienna 2022. ISBN 979-8-9862451-1-9.
12. Skyba V., Vozniuk N., Likho O., Vozniuk S., Buhaiev O. Alternative Tools for Modern Agroecological Research. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024»* : Lviv, Ukraine, 2024. P. 1–5. URL:

<https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510033>. **13.** Nichols K. A., Toro M. A. A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. *Soil Till. Res.* 2011. Vol. 111. P. 99–104. DOI: 10.1016/j.still.2010.08.014. **14.** Вегетаційні індекси в сільському господарстві: NDVI, NDRE, MSAVI, NDMI. WEAGRO. 2025. URL: <https://weagro.com.ua/blog/vegetacijni-indeksy-v-silskomu-gospodarstvi-ndvi-ndre-msavi-ndmi/>. (дата звернення: 10.05.2025). **15.** Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 2004. Vol. 79. P. 7–31. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.008. **16.** Xue J., Zhang X., Huang Y., Chen S., Dai L., Chen X., Yu Q., Ye S., Shi Z. A two-dimensional bare soil separation framework using multi-temporal Sentinel-2 images across China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2024. Vol. 134. P. 104181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104181>. **17.** Chen S., Arrouays D., Mulder V. L. and all Digital mapping of GlobalSoilMap soil properties at a broad scale: A review. *Geoderma*. 2022. Vol. 409. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115567>. **18.** Wang J., Zhen J., Hu W. and all Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and Water Conservation Research*. 2023. Vol. 11(3). P. 429–454. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>. **19.** Haoyuan Yin, Ce Chen, Yujie He and all. Synergistic estimation of soil salinity based on Sentinel-1 image texture and Sentinel-2 salinity spectral indices. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2023. Vol. 17. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.17.018502>

REFERENCES:

1. Medvedev V. V. Struktura pochvy (metody, henezys, klasyfikatsiya, evoliutsiya, heohrafiya, monitorynh, okhrana). Kharkov : Yzd. «13 typhrafiya», 2008. 406 s. **2.** Tsiuk O. A., Manko I. P., Yamkovyi V. Yu. Zmina ahrofizychnykh vlastyvostei gruntu zalezno vid system zemlerobstva. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2007. Vyp. 52. S. 102–108. **3.** Tsiuk O. A., Tseptsova I. V., Melnyk V. P. Strukturno-ahrehatnyi sklad gruntu zalezno vid osnovnoho obrobittu ta udobrennia. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*. 2018. № 5–6. T. 10. S. 139–145. doi: 10.31548/bio2018.05.017. **4.** Tanchyk S. P., Yamkovyi V. Yu. Vplyv system osnovnoho obrobittu gruntu na yoho strukturno-ahrehatnyi sklad ta produktyvnist ozymoi pshenytsi v Lisostepu Ukrainy. *Naukovi dopovidi NUBiP*. 2009. № 2. S. 14–22. **5.** Baliuk S. A., Miroshnychenko M. M., Medvediev V. V. Naukovi zasady staloho upravlinnia gruntovymy resursamy Ukrainy. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2018. № 11. S. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-01>. **6.** Balaiev A. D., Kovalchuk O. P., Havryliuk M. V., Stopa V. P. Rodiuchist gruntiv Lisostepu Ukrainy za riznoi intensyvnosti yikh vykorystannia. *Naukovi pratsi*. 2011. № 140 (152). S. 63–65. DOI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchdue_2011_152_140_16. **7.** Yatsuk I. P.,

Mokliachuk L. I., Lishchuk A. M., Romanova S. A. Innovatsiyni rozvytok silskoho hospodarstva za vykorystannia indykatoriv «zelenoho zrostannia». *Ahroekologichnyi zhurnal*. 2019. № 2. S. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174011>. **8.** Bulyhin S. Yu., Vitvitskyi S. V., Kucher L. I., Vitvitska O. I. Kontseptsiiia otsinky yakosti ta okhorony zemel v Ukraini. *Roslynnystvo ta gruntoznavstvo*. 2020. № 11(2). S. 30–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.02.030>. **9.** Baliuk C. A., Medvediev V. V., Vorotyntseva L. I., Shymel V. V. Suchasni problemy dehradatsii gruntiv i zakhody shchodo dosiahnennia neitralnoho yii rivnia. *Visnyk ahrarynoi nauky*. 2017. № 8. S. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>. **10.** Polupan M. I., Solovei V. B., Velychko V. A. Klasyfikatsiia gruntiv Ukrainy. K. : Ahraryna nauka, 2005. 300 s. **11.** IUSS Working Group WRB: World Reference Base for Soil Resources, fourth edition. *International Union of Soil Sciences*. Vienna 2022. ISBN 979-8-9862451-1-9. **12.** Skyba V., Vozniuk N., Likho O., Vozniuk S., Buhaiiev O. Alternative Tools for Modern Agroecological Research. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024»* : Lviv, Ukraine, 2024. P. 1–5. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510033>. **13.** Nichols K. A., Toro M. A. A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. *Soil Till. Res*. 2011. Vol. 111. P. 99–104. DOI: 10.1016/j.still.2010.08.014. **14.** Vehetatsiini indeksy v silskomu hospodarstvi: NDVI, NDRE, MSAVI, NDMI. WEAGRO. 2025. URL: <https://weagro.com.ua/blog/vegetacijni-indeksy-v-silskomu-gospodarstvi-ndvi-ndre-msavi-ndmi/>. (data zvernennia: 10.05.2025). **15.** Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res*. 2004. Vol. 79. P. 7–31. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.008. **16.** Xue J., Zhang X., Huang Y., Chen S., Dai L., Chen X., Yu Q., Ye S., Shi Z. A two-dimensional bare soil separation framework using multi-temporal Sentinel-2 images across China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2024. Vol. 134. P. 104181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104181>. **17.** Chen S., Arrouays D., Mulder V. L. and all Digital mapping of GlobalSoilMap soil properties at a broad scale: A review. *Geoderma*. 2022. Vol. 409. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115567>. **18.** Wang J., Zhen J., Hu W. and all Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and Water Conservation Research*. 2023. Vol. 11(3). P. 429–454. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>. **19.** Haoyuan Yin, Ce Chen, Yujie He and all. Synergistic estimation of soil salinity based on Sentinel-1 image texture and Sentinel-2 salinity spectral indices. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2023. Vol. 17. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.17.018502>

**Moshynskiy V. S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vozniuk S. A.,
Post-graduate Student** (National University of Water and Environmental
Engineering, Rivne)

MONITORING SOIL COMPACTION AND DEGRADATION WITH SATELLITE DATA: A REVIEW OF CURRENT APPROACHES AND PERSPECTIVES

This review article presents a comprehensive analysis of current remote sensing approaches for assessing soil compaction and surface physical properties, with a particular focus on dark-grey podzolized soils typical of the Western Forest-Steppe of Ukraine. The study emphasizes the use of multispectral (Sentinel-2), radar (Sentinel-1), and thermal (MODIS, Landsat) data to identify indirect indicators of soil structural degradation. Vegetation and bare-soil indices such as NDVI, Brightness Index, NDWI, and SAR backscatter are evaluated as proxies for compaction-related stress on crops and soil hydrology. Additionally, the article highlights recent advances in Digital Soil Mapping (DSM) and machine learning applications (e.g., Random Forest, Cubist, CNN), which enable accurate spatial modeling of compaction risks and topsoil texture variations.

Case studies from Ukraine and Central Europe are reviewed, including the application of the Two-Dimensional Bare Soil Separation (TDBSS) algorithm, which combines SAVI and NDRGI indices for precise detection of bare soil from Sentinel-2 images. Field-validated results demonstrate that integration of remotely sensed indices with in-situ penetrometer measurements can achieve mapping accuracies exceeding 80%. Limitations of current methods—such as atmospheric interference, shallow sensor penetration, and the need for local calibration—are discussed in detail. The authors conclude that hybrid systems combining satellite imagery, field observations, and AI-based soil models represent a promising pathway for implementing national-scale soil monitoring frameworks. Future research directions include the development of open-access soil data platforms and operational systems for early detection of physical soil degradation under climate change and intensive farming.

***Keywords:* soil compaction; remote sensing; Sentinel-2; Sentinel-1; Digital Soil Mapping; NDVI; TDBSS; machine learning; bare soil; Ukraine.**

Новак А. А., к.с.-г.н., доцент, Копій Л. І., д.с.-г.н., професор, (Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, novak@gmail.com; kopiy@nltu.edu.ua), **Клименко О. М., д.с.-г.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.m.klymenko@nuwm.edu.ua), **Копій С. Л., к.с.-г.н., доцент** (Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, s.kopiy@nltu.edu.ua)

РУБКИ ФОРМУВАННЯ І ОЗДОРОВЛЕННЯ ЯК ІНДИКАТОР ПОСТАВАРІЙНОГО СТАНУ ЛІСІВ ОЖИДІВСЬКОГО ЛІСНИЦТВА

Наведено результати досліджень поставарійного стану лісів Ожидівського лісництва. Аварія в с. Ожидів спричинила значне забруднення лісових екосистем, викликала гостре ушкодження деревостанів Ожидівського лісництва, послабила їхню природну стійкість, сприяла поширенню шкідників, захворювань та процесів усихання.

Для оцінки динаміки стану та стійкості лісових екосистем, після гострого ураження фосфатами внаслідок Ожидівської техногенної аварії, було здійснено ретроспективний аналіз рубок догляду та санітарних рубок, які проводяться Ожидівським лісництвом. Лісогосподарські заходи проаналізовано за поставарійний період (за 2010–2021 рр.) на основі даних з книги рубок Ожидівського лісництва.

Наведено площі та обсяги вибірових санітарних рубок в деревостанах Ожидівського лісництва за 2010–2021 роки. Відзначено, що спостерігається тенденція до скорочення площ вибірових санітарних рубок, проте обсяг вибірки з 1 га невпинно зростає, що свідчить про погіршення санітарного стану насаджень. Однак, на фоні скорочення площ вибірових санітарних рубок, невпинно зростають обсяги вилученої пошкодженої деревини, а відтак, і їх інтенсивність, що є безперечним індикатором погіршення санітарного стану насаджень.

Проаналізовано динаміку частки ділової деревини у вирубаній кубомасі від вибірових та суцільних санітарних рубок. Встановлено, що ще одним характерним показником погіршення стану та якості

насаджень Ожидівського лісництва є зниження виходу ділової деревини від вибіркових та суцільних санітарних рубок.

Встановлено, що обсяги та інтенсивність окремих видів рубок формування та оздоровлення лісів зберігають стійку тенденцію до зростання в останні роки, що свідчить також про погіршення життєвості та біологічної стійкості насаджень Ожидівського лісництва.

Ключові слова: техногенна аварія; лісові екосистеми; рубки догляду; санітарні рубки; інтенсивність проріджувань.

Постановка проблеми. Внаслідок техногенних аварій і антропогенного навантаження на тлі зміни кліматичних умов відбувається ослаблення лісових екосистем, погіршення санітарного стану та всихання деревостанів [1–4].

16 липня 2007 року в районі села Ожидів Львівської області відбулася одна з наймасштабніших техногенних аварій в історії незалежної України – аварія вантажного потяга, який перевозив небезпечні хімічні речовини, зокрема жовтий фосфор. У результаті сходження з рейок цистерн відбулося займання фосфору, викид токсичних речовин в атмосферу та забруднення навколишньої території. Подія спричинила серйозні екологічні, наслідки для регіону.

Після аварії в повітря потрапили токсичні сполуки, насамперед продукти горіння жовтого фосфору (зокрема фосфорний ангідрид), які осіли на поверхню лісових ділянок. Таке забруднення здатне спричинити зміну pH ґрунту, посилення його кислотності; токсичний вплив на мікроорганізми ґрунту, пригнічення процесів мінералізації органіки; накопичення сполук фосфору у верхньому шарі ґрунту. Окрім того, безпосередня дія на деревостани газоподібних сполук, утворених в результаті горіння фосфору, провокує ураження асиміляційного апарату дерев (опіки, некротизація) і, як наслідок, зниження приросту деревини в перші роки після аварії, зниження стійкості дерев до хвороб, дії негативних біотичних та абіотичних чинників (шкідників, посух). Цілком імовірні також і довготермінові наслідки, як-от зміни видового складу в результаті вибіркової чутливості видів до забруднення, можливе накопичення токсичних сполук у тканинах дерев, із потенційними негативними ефектами для лісової фауни, зниження рекреаційної та природоохоронної цінності лісів, а також послаблення захисних функцій лісових екосистем.

Аварія в с. Ожидів спричинила значне забруднення лісових екосистем, викликала гостре ушкодження деревостанів Ожидівського лісництва, послабила їхню природну стійкість, сприяла поширенню шкідників, захворювань та процесів усихання. У результаті відбулось істотне погіршення санітарного стану лісів, зменшення їхньої екологічної, захисної й рекреаційної функцій. Такі зміни вимагають проведення цілеспрямованих заходів із формування і оздоровлення насаджень для відновлення стійкості лісових екосистем. Тільки системний догляд, видалення пошкоджених дерев, контроль поширення шкідників і хвороб здатні забезпечити поступове відновлення лісів. Відтак, лісові насадження Ожидівського лісництва потребують тривалої уваги, комплексної підтримки й моніторингу для повернення їхньої природної функціональності й екологічної рівноваги.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведення рубок догляду та санітарних рубок є прямим показником санітарного стану лісових насаджень. Такі заходи відображають ступінь пошкодження деревостанів, рівень їхньої ослабленості, ураження ентомошкідниками, грибковими захворюваннями та інших відхилень від природного розвитку.

Загальні біологічні особливості стовбурових шкідників є схожими, тож вилучення придатних до заселення ушкоджених деревостанів забруднених лісових екосистем, вітровальних дерев і дерев, із яких ще не вилетіло молоде покоління шкідника (тобто проведення оперативних рубок), може мати позитивний ефект для запобігання його поширенню [5–8]. В такому випадку власне оперативні рубки покликані не тільки стримати шкідників, але й отримати деревину, яка ще не втратила своєї економічної цінності. Отже, проведення оперативних рубок у лісах, орієнтованих на заготівлю деревини, може бути доцільним.

Водночас застосування таких заходів має бути виваженим і ґрунтуватися на біоекологічних особливостях конкретного виду шкідника. Зокрема, результати досліджень щодо ураження ясена (*Fraxinus spp.*) інвазійним видом – ясеневою златкою (*Agrilus planipennis*) – свідчать про те, що зменшення повноти деревостану внаслідок вибіркового санітарного рубок призводить до зниження стійкості залишених дерев, оскільки навантаження на них з боку шкідника значно зростало [9].

Проведення суцільних рубок також може негативно впливати на деревостани, що безпосередньо примикають до зрубу: зміна

абіотичних факторів (освітлення, вологість тощо) часто негативно впливає на крайові дерева, роблячи їх менш стійкими до заселення шкідниками [10].

В Україні поширена практика вибіркового санітарного рубки дерев, які вже були повністю колонізовані та залишені безхребетними шкідниками, внаслідок чого повністю всохли та втратили кору. Однак проведення таких рубок не має ані економічної, ані лісопатологічної доцільності, оскільки зазвичай вони є збитковими і не сприяють зниженню чисельності шкідників, які завершили розвиток у відповідних деревах. Більше того, видалення таких «відпрацьованих» дерев негативно впливає на залишковий деревостан: знижується його продуктивність, погіршується кормова база для природних ентомофагів стовбурових шкідників, підвищується ризик механічних пошкоджень живих дерев, різко збільшується інсоляція, що, своєю чергою, сприяє їхній уразливості до повторного заселення шкідниками. Крім того, такі рубки часто супроводжуються знищенням молодого підросту, що негативно позначається на природному поновленні лісу [11].

Результати дослідження та їх обговорення. Для оцінки динаміки стану та стійкості лісових екосистем після гострого ураження фосфатами внаслідок Ожидівської техногенної аварії, нами було здійснено ретроспективний аналіз рубок догляду та санітарних рубок, які проводяться Ожидівським лісництвом. Лісогосподарські заходи проаналізовано за поставарійний період (за 2010–2021 рр.) на основі даних з книги рубок Ожидівського лісництва.

З метою покращення санітарного стану насаджень та підвищення їх продуктивності, в лісостанах Ожидівського лісництва регулярно проводяться рубки, пов'язані з формуванням і оздоровленням лісів. Найбільш характерними індикаторами санітарного стану насаджень є обсяги санітарних рубок лісу, а також деяких видів рубок догляду (здебільшого проріджувань і прохідних рубок), оскільки раціональне призначення дерев до цих рубок догляду здійснюється також на санітарній основі.

В останні роки спостерігається тенденція до скорочення площ вибіркового санітарного рубки, проте обсяг вибірки з 1 га невпинно зростає, що свідчить про погіршення санітарного стану насаджень Ожидівського лісництва. Якщо у 2010 році площа вибіркового санітарного рубки становила 110,0 га, то протягом 2013–2016 років цей показник скоротився до 10,0–13,0 га, а в 2013 році вибірково санітарні рубки були взагалі відсутні серед лісогосподарських заходів, що

проводяться Ожидівським лісництвом (рис. 1).

Однак, на фоні скорочення площ вибірових санітарних рубок, невпинно зростають обсяги вилученої пошкодженої деревини, а відтак, і їх інтенсивність, що є безперечним індикатором погіршення санітарного стану насаджень. Так, якщо у 2010–2011 роках обсяг вибірки вибірових санітарних рубок Ожидівського лісництва становив 560–600 м³, то впродовж 2012–2016 років цей показник знизився до 0,0–150,0 м³. Однак, з 2017 року обсяги вибірових санітарних рубок починають зростати і за період 2017–2021 рр. сягають 700–1000 м³ з піком у 2019 році.

Водночас, в останні роки зростає інтенсивність вибірових санітарних рубок. Якщо протягом 2010–2012 рр. інтенсивність вибірових санітарних рубок Ожидівського лісництва становила 5,1–7,7 м³/га, то у 2014–2016 рр. цей показник зріс до 6,0–13,2 м³/га, а у 2017–2021 роках уже складав 14,2–25,0 м³/га (рис. 2). На наш погляд, попри площі та обсяги вибірових санітарних рубок, саме їх інтенсивність характеризує динаміку санітарного стану насаджень. У цьому випадку, ми чітко бачимо покращення стану протягом 2013–2015 років, однак і його різке погіршення, починаючи з 2016 року.

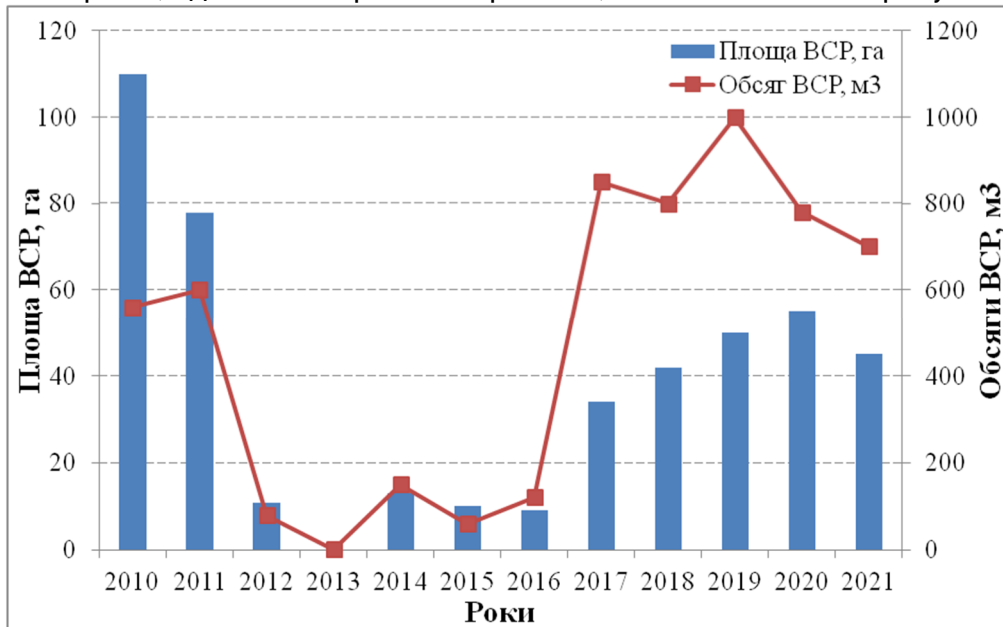


Рис. 1. Площі та обсяги вибірових санітарних рубок в деревостанах Ожидівського лісництва (2010–2021 рр.)

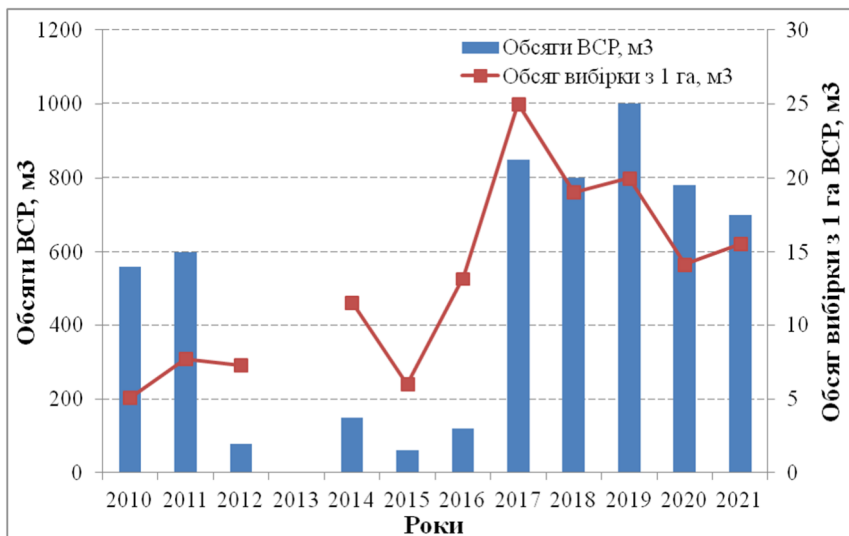


Рис. 2. Інтенсивність вибіркового санітарного рубу в деревостанах Ожидівського лісництва (2010–2021 рр.)

Ще одним характерним показником погіршення стану та якості насаджень Ожидівського лісництва є вихід ділової деревини від вибіркового санітарного рубу. Так, якщо у 2010–2012 рр. цей показник становив 25,6–33,3% з середнім показником 29,8%, то за період 2014–2021 він знизився до 0,0–25,0% із середнім показником 13,9% (рис. 3).

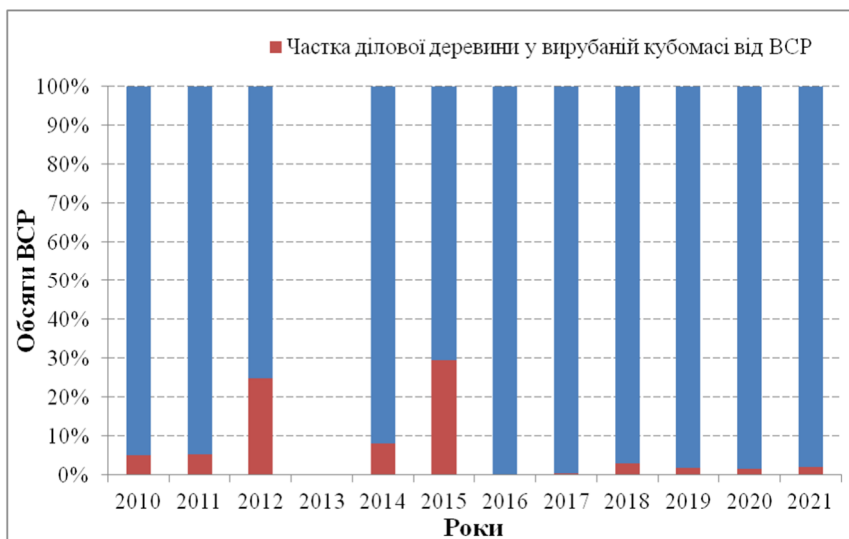


Рис. 3. Динаміка частки ділової деревини у вирубаній кубомасі від вибіркового санітарного рубу (Ожидівське лісництво (2010–2021 рр.))

Аналогічна тенденція простежується і у вирубаній деревині від суцільних санітарних рубок, при яких, на відміну від вибіркового санітарного, лісові ділянки вирубуються повністю, а відтак, відсоток вирубаного деревини є характерним показником, що відображає якість насаджень до рубки. Оскільки суцільні санітарні рубки проводились у Ожидівському лісництві лише у 2013–2016 роках, то вихід ділової деревини від цих рубок характеризуватимемо лише за цей період. Так, якщо у 2013 році частка ділової деревини у загальній кубомасі суцільних санітарних рубок становила 16,7%, то у 2015 році цей показник становив уже 1,9%, а у 2016 році ще знизився до 0,7% (рис. 4). На наш погляд, це є відображенням деградації та погіршення якості насаджень Ожидівського лісництва, що може бути спричинене техногенним забрудненням лісового середовища внаслідок аварії 2007 року.

Аналіз обсягів рубок догляду, характер проведення яких також має, значною мірою, санітарну складову, вказує на стійке зростання обсягів та інтенсивності проріджувань та прохідних рубок (рис. 5 та 6). Якщо у 2010 році обсяг проріджувань становив 97,0 м³. То протягом наступних років цей показник щороку збільшувався на 0,8–80,8% і до 2021 року сягнув 152 м³.



Рис. 4. Динаміка частки ділової деревини у вирубаній кубомасі від суцільних санітарних рубок (Ожидівське лісництво (2013–2016 рр.))

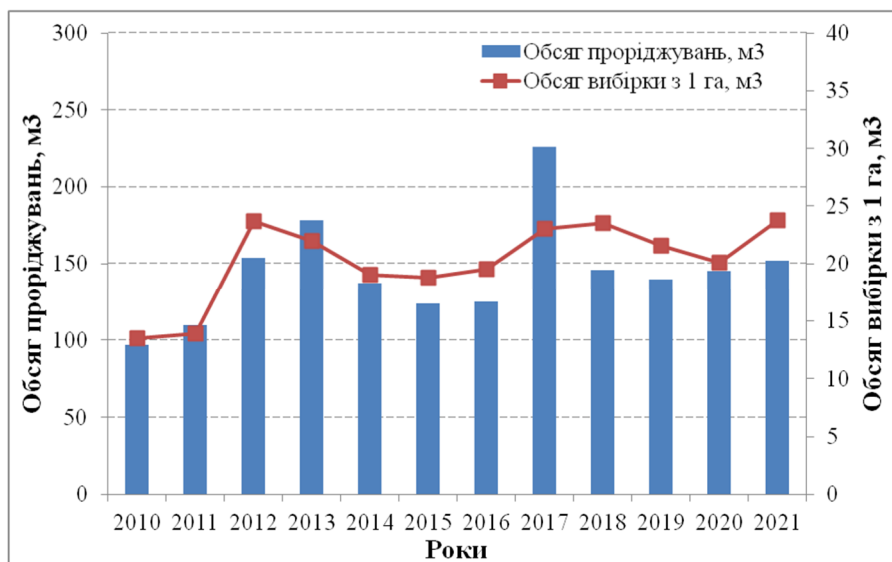


Рис. 5. Обсяги та інтенсивність проріджувань по Ожидівському лісництву (2010–2021 рр.)

Однак це не найвищий показник за аналізований період. Максимального значення обсяг проріджувань сягнув у 2017 році – 226 м³.

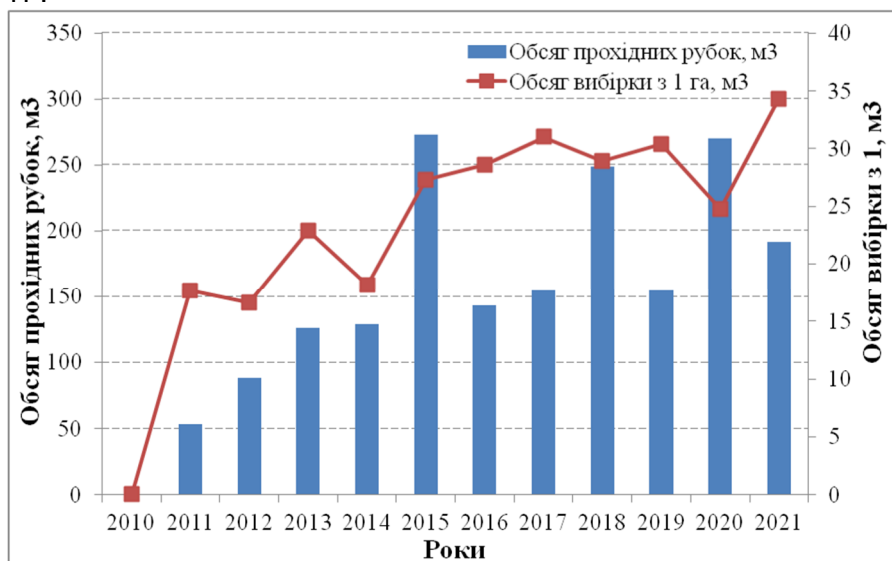


Рис. 6. Обсяги та інтенсивність прохідних рубок по Ожидівському лісництву (2010–2021 рр.)

Інтенсивність проріджувань також невпинно зростає. Якщо у 2010–2011 роках обсяг вибірки при проріджуваннях становив 13,5–13,9 м³/га, то до 2021 року цей показник досяг свого максимального значення у 23,8 м³/га. При цьому площа проріджувань в умовах Ожидівського лісництва суттєво не змінюється, знаходиться в межах розрахункової лісосіки і становила, протягом 2010–2021 років 6,2–9,8 га.

Прохідні рубки за аналізований період проводились на площі 3,0–10,9 га. При цьому, якщо у 2011 році обсяг прохідних рубок становив 53,0 м³, то до 2021 року цей показник зріс до 192,0 м³. Максимальні обсяги прохідних рубок нами відмічено у 2015 та 2018 роках з вибіркою 273 м³ та 249 м³ відповідно.

Інтенсивність прохідних рубок зросла із 17,7 м³/га у 2011 році до 34,3 м³/га у 2021 році. Щорічне зростання інтенсивності прохідних рубок складає 4,8–50,3%

Висновки. Отже, збільшення обсягів рубок догляду говорить про активне втручання лісівників для оптимізації структури насаджень, видалення відсталих у рості, пошкоджених чи конкурентно слабких дерев. Такі рубки сприяють формуванню здоровіших, стійкіших до зовнішніх чинників деревостанів, забезпечують їхню екологічну рівновагу. Чим вищий відсоток санітарно-оздоровчих заходів у лісництві, тим чіткіше простежуються негативні наслідки аварії для лісових екосистем. З іншого боку, своєчасне проведення цих робіт є важливим способом відновлення лісів, забезпечення їхньої захисної, екологічної та рекреаційної функцій.

Відтак, за показниками господарської діяльності Ожидівського лісництва бачимо, що обсяги та інтенсивність окремих видів рубок формування та оздоровлення лісів зберігають стійку тенденцію до зростання в останні роки, що свідчить про погіршення життєвості та біологічної стійкості насаджень.

Для зменшення та подолання наслідків всихання лісових насаджень Ожидівського лісництва потрібно застосовувати комплекс лісгосподарських і захисних заходів.

1. Бородавка В. О., Гетьманчук А. І., Кичиліюк О. В., Войтюк В. П. Патологічні процеси у всихаючих соснових насадженнях Волинського Полісся. *Наук. Вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Лісівництво та декоративне садівництво*. 2016. Вип. 238. С. 102–118.
2. Краснов В. П., Ландін В. П., Захарчук В. А. Становлення радіоекології

лісових екосистем в Україні. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 2. С. 76–82. **3.** Жежкун А. М., Порожняк І. В. Всихання соснових деревостанів Східного Полісся: поширення, наслідки, заходи подолання. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2020. Вип. 21. С. 126–134. **4.** Шпарик Ю. С., Вітер Р. М. Вплив техногенних емісій на стан лісових екосистем Західного Лісостепу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.3. С. 56–61. **5.** F. M. Thomas, R. Blank, G. Hartmann. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology*. 2002. Vol. 32. P. 277–307. **6.** Nikica Ogris, Maja Jurc. Sanitary felling of Norway spruce due to spruce bark beetles in Slovenia: A model and projections for various climate change scenarios. *Ecological Modelling*. 2010. Vol. 221. Issue 2. P. 290–302. **7.** Beat Wermelinger. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management*. 2004. Vol. 202. Issue 1–3. P. 67–82. **8.** Дебринюк Ю. М. Всихання смерекових лісів: причини та наслідки. *Урбанізаційні процеси в гірських ландшафтах і шляхи їхнього регулювання* : наук. Вісник : зб. наук.-техн. праць Нац. лісотехн. ун-ту України. 2011. Вип. 21.16. С. 32–38. **9.** Knight et al. Factors affecting the survival of ash (*Fraxinus* spp.) trees infested by emerald ash borer (*Agrilus planipennis*). *Biol.Inv.* 2013. Vol. 15. P. 371–383. **10.** Grodzki et al. Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col.: Curculionidae, Scolytinae) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia. *Ann. For. Sci.* 2006. Vol. 63. P. 55–61. **11.** Bobiec et al. The Afterlife of a Tree. WWF Polska, 2005.

REFERENCES:

1. Borodavka V. O., Hetmanchuk A. I., Kychyliuk O. V., Voitiuk V. P. Patolohichni protsesy u vsykhaiuchykh sosnovykh nasadzhenniakh Volynskoho Polissia. *Nauk. Visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Lisivnytstvo ta dekoratyvne sadivnytstvo*. 2016. Vyp. 238. S. 102–118. **2.** Krasnov V. P., Landin V. P., Zakharchuk V. A. Stanovlennia radioekolohii lisovykh ekosystem v Ukraini. *Ahroekolohichni zhurnal*. 2017. № 2. S. 76–82. **3.** Zhezhkun A. M., Porokhniach I. V. Vsykhannia sosnovykh derevostaniv Skhidnoho Polissia: poshyrennia, naslidky, zakhody podolannia. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy*. 2020. Vyp. 21. S. 126–134. **4.** Shparyk Yu. S., Viter R. M. Vplyv tekhnohennykh emisii na stan lisovykh ekosystem Zakhidnoho Lisostepu. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2011. Vyp. 21.3. S. 56–61. **5.** F. M. Thomas, R. Blank, G. Hartmann. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology*. 2002. Vol. 32. P. 277–307. **6.** Nikica Ogris, Maja Jurc. Sanitary felling of Norway spruce due to spruce bark beetles in Slovenia: A model and projections for various climate change scenarios. *Ecological Modelling*. 2010. Vol. 221. Issue 2. P. 290–302.

7. Beat Wermelinger. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management*. 2004. Vol. 202. Issue 1–3. P. 67–82. 8. Debryniuk Yu. M. Vsykhannia smerekovykh lisiv: prychny ta naslidky. *Urbanizatsiini protsesy v hirskykh landshaftakh i shliakhy yikhnoho rehuliuвання* : nauk. Visnyk : zb. nauk.-tekhn. prats Nats. lisotekhn. un-tu Ukrainy. 2011. Vyp. 21.16. S. 32–38. 9. Knight et al. Factors affecting the survival of ash (*Fraxinus* spp.) trees infested by emerald ash borer (*Agrilus planipennis*). *Biol. Inv.* 2013. Vol. 15. P. 371–383. 10. Grodzki et al. Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col.: Curculionidae, Scolytinae) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia. *Ann. For. Sci.* 2006. Vol. 63. P. 55–61. 11. Bobiec et al. The Afterlife of a Tree. WWF Polska, 2005.

Novak A. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Kopii L. I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (National Forestry University of Ukraine, Lviv, novak@gmail.com; kopiy@nltu.edu.ua), **Klymenko O. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, o.m.klymenko@nuwm.edu.ua), **Kopii S. L., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (National Forestry University of Ukraine, Lviv, s.kopiy@nltu.edu.ua)

FORMATION AND SANITARY FELLING AS INDICATORS OF THE POST-ACCIDENT CONDITION OF FORESTS IN OZHIDIV FORESTRY

This paper presents the results of a study assessing the post-accident condition of forest ecosystems within the Ozhydiv Forestry enterprise.

The industrial accident that occurred near the village of Ozhydiv led to significant environmental contamination, causing acute damage to forest stands, weakening their natural resilience, and accelerating the spread of pests, pathogens, and physiological decline, including widespread tree dieback.

In order to evaluate the post-accident dynamics of forest health and resilience following phosphate contamination, the authors conducted a retrospective analysis of silvicultural interventions – specifically formation and sanitary fellings. The analysis covered the

period from 2010 to 2021 and was based on official forest operations records (felling registers) maintained by Ozhydiv Forestry.

The article presents the data on the area and volume of selective sanitary fellings within the forest stands of Ozhydiv Forestry over the studied period. The study observed decreasing trend in the area subjected to selective sanitary felling, alongside a consistent increase in harvested volume per hectare, indicating progressive deterioration in the phytosanitary condition of the stands. Simultaneously, the intensity of removals and the total volume of damaged timber extracted continue to rise, underscoring the worsening health status of the forest.

The study also analyses the proportion of merchantable timber within the total felled volume from both selective and clear sanitary fellings. A notable decline in the share of commercial-grade timber was identified, which serves as an additional indicator of declining stand quality and structural stability.

Furthermore, the intensity and volume of formation and rehabilitation fellings have demonstrated a steady upward trend in recent years, suggesting a sustained decrease in the vitality and biological stability of forest stands managed by Ozhydiv Forestry.

***Keywords:* technogenic accident; forest ecosystems; maintenance felling; sanitary felling; thinning intensity.**

Пятковська І. О., к.геол.н., ORCID: 0009-0001-1590-5561, **Матвійчук О. В.**, головний інженер-ґрунтознавець, ORCID: 0009-0009-4854-4748, **Налужний Р. І.**, завідувач лабораторії, ORCID: 0009-0004-0847-6588, **Сончак А. А.**, завідувач лабораторії, ORCID: 0009-0007-9531-3972 (Івано-Франківський регіональний центр ДУ «Держґрунтохорона», ifroduchist@ukr.net), **Турчина К. П.**, к.с.-г.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, k.p.turchina@nuwm.edu.ua)

ЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЬ ҐРУНТІВ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ РУХОМОЮ СІРКОЮ ТА ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ ЇЇ ДЕФІЦИТУ

На основі агрохімічних досліджень проаналізовано та висвітлено сучасний стан угідь сільськогосподарського призначення Івано-Франківської області на предмет умісту рухомої сірки за два останні тури в розрізі районів.

Узагальнено розподіл площ за ступенем забезпеченості їх рухомою сіркою та співвідношення між сіркою та азотом.

Запропоновано шляхи подолання дефіциту рухомої сірки в ґрунтах області.

Ключові слова: азот; баланс; ґрунт; гумус; дефіцит; мінералізація; моніторинг; паспортизація; родючість; сірка.

Вступ. Причиною недобору врожаю сільськогосподарських культур та втрат його якості дедалі частіше виявляється дефіцит сірки, що характерно для 80% ґрунтів України. Якщо азоту, фосфору і калію приділяється достатня увага, то сірка практично завжди відсувається на другий план. Цю ситуацію потрібно змінювати, адже сірка – один із найважливіших макроелементів для життя рослин, потреба в якому приблизно така сама, як у фосфорі.

Сірка є основою майже всіх білків, вітамінів і незамінних амінокислот, які є важливими для росту вегетативної маси рослин. Бере участь в окисно-відновних процесах, впливає на білковий та вуглеводний обміни речовин. За її нестачі уповільнюється синтез білків, затримується ріст та розвиток рослин, погіршується

продуктивність фотосинтезу, що призводить до зменшення врожаю та погіршення його якості [1].

Забезпеченість ґрунтів рухомою сіркою залежить від материнської породи, напряму ґрунотворного процесу, віддаленістю від промислових об'єктів, а також особливостями ведення сільськогосподарського виробництва.

Найголовніше джерело сірки – ґрунотворні материнські породи. В основному цей елемент живлення знаходиться в ґрунтах у валовій формі, середній вміст по Україні складає 180–240 мг/кг. Але ця форма сірки рослині недоступна, а її доступність залежить від ступеня мінералізації гумусу в ґрунті. Чим вища ступінь мінералізації гумусу в ґрунті, тим більше рухомої сірки, оскільки кожна тонна органічної речовини містить 50 кг азоту і 5,9 кг сірки. Отже, найбільший дефіцит сірки спостерігається на ґрунтах із низьким вмістом гумусу.

Важливим джерелом збагачення ґрунту цим елементом є сірка атмосфери, куди вона потрапляє переважно у вигляді газоподібних викидів із промислових підприємств, що утворюються під час згоряння палива, переплавляння сірчаних руд тощо. Близько 50% сірки потрапляє в атмосферу в результаті біологічного перетворення її сполук у ґрунті і воді, в яких провідну роль відіграють мікроорганізми. Основна частина сірки з атмосфери адсорбується ґрунтом у вигляді SO_2 і незначна її кількість (5–15 кг/га, у промислових районах – 25–45 кг/га в рік) потрапляє з атмосферними опадами. Основна частина атмосферної сірки надходить зі снігом у зимовий період і в значній кількості виноситься з ґрунту талими і промивними водами [6].

Існує кілька факторів, що впливають на поглинання сірки рослинами. Ґрунтові ерозії хаотично вимивають та вивітрюють цей елемент разом з іншими з площ. В Україні втрати сірки внаслідок вимивання за рік становлять 27–30 кг/га. Інтенсивні технології, що допомагають отримувати все більші врожаї, призводять до підвищення виносу сірки з ґрунтів разом з урожаєм. Натомість агровиробники не дотримуються балансу поповнення цим елементом своїх площ, не так багато використовують сірковмісних препаратів. І тому сірка стає ключовим обмежуючим фактором у землеробстві, чого раніше у нас не спостерігалось.

З урахуванням важливого значення цього елемента в живленні рослин, науковці державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» з 2012 року визначення вмісту рухомої сірки внесли до

переліку обов'язкових показників при проведенні агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення. За результатами аналітичних досліджень визначається потреба у внесенні сірковмісних добрив.

Питання внесення сірчаних добрив набуває актуальності, оскільки дедалі частіше в різних регіонах виявляється від'ємний, а то й різко дефіцитний баланс у ґрунті сірки. Основними причинами цього є постійне зменшення надходження сірки в ґрунт і збільшення виносу її з урожаєм сільськогосподарських культур, особливо за вирощування в сівозміні вибагливих до сірки культур (цукрові буряки, ріпак, капуста, цибуля, зернобобові). Надходження сірки з добривами зменшується внаслідок більшого застосування концентрованих добрив [6].

Зменшення застосування у сільськогосподарській практиці простого суперфосфату, сульфату амонію, що містять сірку, може призвести до нестачі в ґрунті рухомих форм сірки.

За даними науковців, між сіркою і азотом існує тісний зв'язок. Нестача цих двох елементів суттєво впливає на врожайність, крім того нестача сірки позначається і на ефективності азотних добрив в цілому.

Матеріали та методи досліджень. Результати аналізів одержані на основі польових і лабораторних досліджень, їх вивчення та узагальнення. Ґрунтові проби відібрано відповідно до керівного нормативного документу «Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення». Лабораторні вимірювання проведено за ДСТУ 8347:2015. Якість ґрунту. Визначення рухомої сірки в модифікації ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського [4].

Результати та їх обговорення. Загальна площа земель Івано-Франківської області становить 1392,7 тис. га. Із них на сільськогосподарські угіддя припадає 630,4 тис. га (45,3%), з яких орні землі – 396,1 тис. га, найбільше їх знаходиться в зоні Лісостепу, менше – в зонах Карпатського передгір'я та гірських Карпат.

За ґрунтово-кліматичними умовами область поділяється на три агроґрунтові зони: Придністровська, Прикарпатська і Карпатська.

Ґрунтовий покрив Придністровської зони представлений опідзоленими ясно-сірими, сірими і темно-сірими ґрунтами, чорноземами опідзоленими і вилугуваними та різного ступеня змитості й оглеєння їх різновидностями. В долинах річок та балок цієї

зони зустрічаються лучні, дернові й болотні ґрунти. Ґрунти Прикарпатської зони дернові опідзолені, дерново-підзолисті та буроземно-підзолисті. У гірській зоні виражена вертикальна зональність, де найбільш поширені бурі лісові, дерново-буроземні та буроземно-підзолисті ґрунти [2].

У структурі ґрунтового покриву сільськогосподарських угідь області переважають сірі та чорноземи опідзолені на лесових породах (15,9%), які є найбільш потенційно родючими, і дерново-підзолисті на давньоалювіальних та делювіальних відкладах (15,1%), природна родючість яких значно нижча (рис. 1).

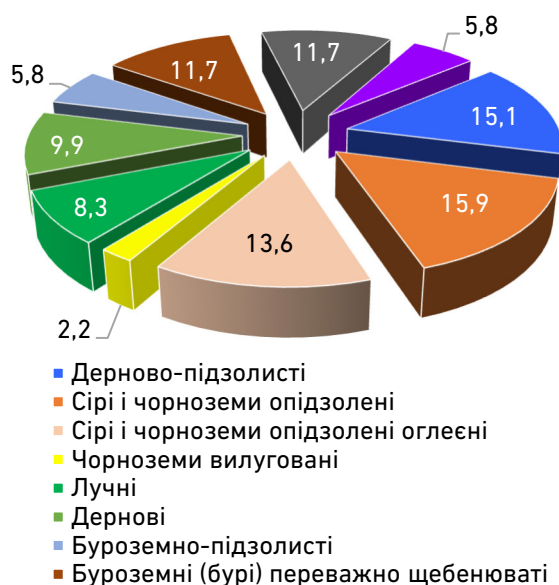


Рис. 1. Номенклатурний список ґрунтів Івано-Франківської області, %

Наукові дослідження проведені на території всіх адміністративних районів Івано-Франківської області загальною площею 438,7 тис. га за період з 2012 по 2020 роки. Обстеженням охоплено всі ґрунтово-кліматичні зони та основні типи ґрунтів, які є в області. Отримані результати підтверджують актуальність визначення вмісту рухомої сірки в ґрунтах області та відтворюють загальні характеристики об'єкта досліджень.

В області переважають угіддя з дуже низькою (170,8 тис. га або 38,9%) та низькою (148,9 тис. га або 34,0%) забезпеченістю рухомою сіркою. Середній вміст на площі 66,0 тис. га або 15,0%. Ґрунти з підвищеною, високою та дуже високою забезпеченістю займають 53,0 тис. га, що становить тільки 12,1% обстежених угідь області (рис. 2).

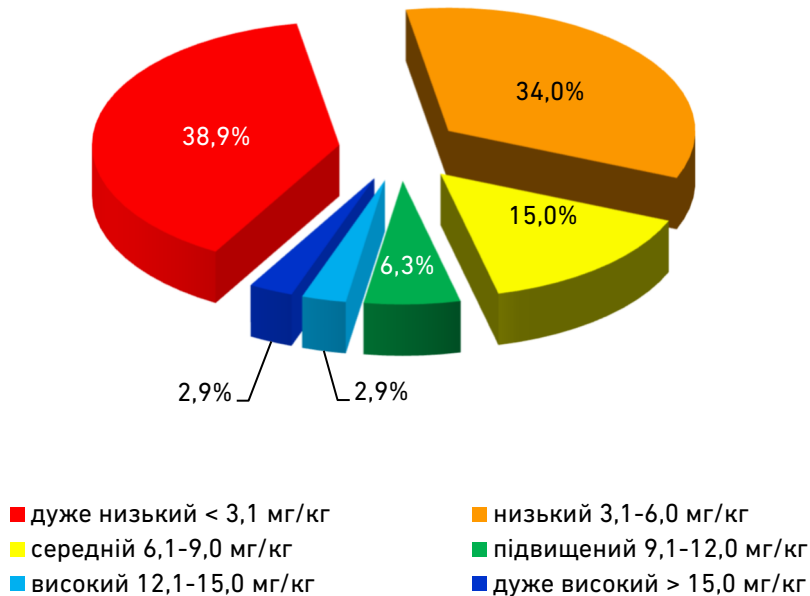


Рис. 2. Розподіл обстежених сільськогосподарських угідь за вмістом рухомої сірки, тис. га

Як результат, середньозважені показники вмісту рухомої сірки за два тури обстеження становлять, відповідно, 4,3 та 5,3 мг/кг ґрунту, що відповідає низькому рівневі забезпеченості.

Оцінка ґрунтів агрокліматичних районів Івано-Франківської області свідчать, що найбільшим умістом рухомої сірки характеризуються угіддя Передкарпаття, а саме: Калуського (8,7 мг/кг ґрунту), Тисменицького (6,7 мг/кг ґрунту) та Рожнятівського (6,1 мг/кг ґрунту) районів, завдяки чому їх відносять до середньозабезпечених. Ця тенденція спостерігається протягом двох турів обстеження.

За даними останнього туру, в розряд середньозабезпечених потрапили обстежені угіддя Рогатинського району, середньозважений показник вмісту рухомої сірки – 6,8 мг/кг ґрунту. Крім того, в результаті перерозподілу площ обстежених земель Долинського району, а саме: майже вдвічі збільшилися площі угідь з середньою забезпеченістю рухомою сіркою, відбулося підвищення середньозваженого показника на 3,2 мг/кг ґрунту. Тобто відбувся перехід з низької до середньої забезпеченості рухомою сіркою.

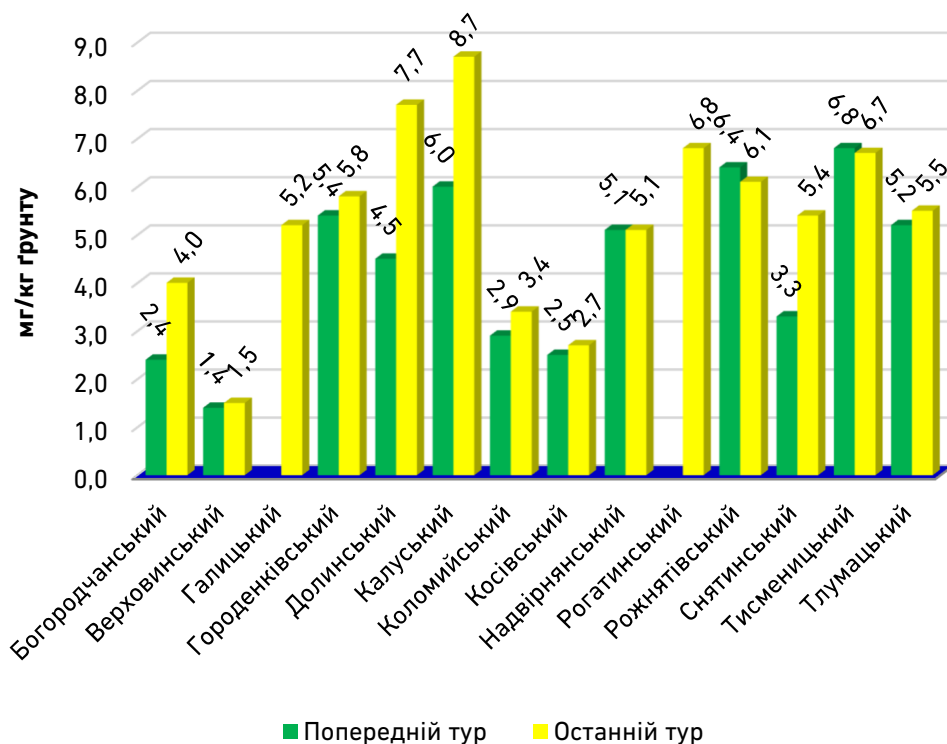


Рис. 3. Уміст рухомої сірки по районах Івано-Франківської області, мг/кг ґрунту

Найнижчим умістом рухомої сірки характеризуються гірські райони області. Так, у Верховинському районі площі з низьким та дуже низьким рівнем складають 99,2% від обстежених. На ґрунти із середнім вмістом рухомої сірки припадає тільки 0,8% обстежених площ. Як результат, середньозважений показник умісту рухомої сірки по району найнижчий в області (1,5 мг/кг ґрунту). Аналогічна ситуація серед обстежених угідь Косівського (2,5 мг/кг ґрунту) району, де площі

угідь з дуже низьким та низьким умістом рухомої сірки займають 94,0% обстежених. Серед обстежених угідь Богородчанського району відбувся перехід частина ґрунтів із розряду дуже низько забезпечених (20,3%) у розряд низько (7,9%) та середньозабезпечених (2,5%). Крім того, в останньому турі обстеження з'явилися угіддя з високою (7,3%) та дуже високою (1,8%) забезпеченістю, що вплинуло на підвищення середньозваженого показника на 1,6 мг/кг ґрунту і спричинило перехід ґрунтів з розряду дуже низькозабезпечених в розряд низькозабезпечених [3].

Як бачимо, у землеробстві області відбувається поступове вичерпання природного запасу сірки в ґрунтах, так як 72,9% обстежених угідь відчувають дефіцит цього елемента.

Основні причин низького вмісту рухомої сірки в ґрунтах області:

1. Збільшення урожайності сільськогосподарських культур. Чим вона вища, тим більше виноситься сірки основною та побічною продукцією.

2. Вимивання в нижні горизонти при високому зволоженні.

3. Вапнування ґрунтів. Кальцій закріплює сірку та на певний час перешкоджає її доступності рослинам.

4. Застосування амонійних добрив, зокрема безводного аміаку, на певний період робить сірку менш доступною.

Сірка потрібна рослинам упродовж всієї вегетації, але найбільше – перед цвітінням. Вона підвищує стійкість рослин до несприятливих погодних умов, зокрема, й посухи. Сірка допомагає глинистим фракціям ґрунту хімічно зв'язувати воду, тим самим захищаючи його від пересихання. До того ж внесення доступної сірки (сульфатні форми) покращує засвоюваність наявних в ґрунті азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, бору, міді, цинку і, в деяких випадках, молібдену [5].

Основним джерелом надходження сірки в ґрунт є органічні та мінеральні добрива, проте останні є найбільш дієвими, бо містять у своєму складі значно більше цього елемента живлення. Тому для підтримання позитивного балансу сірки в ґрунті необхідно щороку вносити сірковмісні добрива як в основне удобрення, так і перед посівом сільськогосподарських культур у нормі 50–90 кг/га. Насамперед сірчані добрива треба вносити під капустяні (ріпак, капуста), бобові (соя, горох), коренеплоди, картоплю та кукурудзу.

Отже, сірковмісні добрива вкрай необхідні нашим ґрунтам. Оптимальні дози внесення сірки залежать насамперед від біологічних властивостей культур, що вирощують, потреби рослин у цьому елементі, фізико-хімічних й агрохімічних властивостей ґрунту (гранулометричний склад, реакція ґрунтового розчину, вміст гумусу), а також кліматичних умов (температурний режим, кількість опадів).

За узагальненими даними багатьох досліджень, природи врожаю від внесення сірковмісних добрив становлять: пшениці озимої – 0,3–0,5 т/га, жита озимого – 0,15–0,30 т/га, ячменю ярого – 0,2–0,3 т/га, сіна конюшини – 1,5 т/га, бульб картоплі – 3,0–3,5 т/га [7].

Нестача сірки призводить до затримки синтезу білків, накопичення азоту в небілковій (нітратній) формі, зменшення вмісту цукру, жирів, особливо в олійних культурах. За зовнішніми ознаками дефіцит сірки подібний до браку азоту, оскільки азот і сірка мають подібні функції в метаболізмі рослин. Від забезпеченості культур сіркою залежить засвоєння сполук мінерального азоту. Тому високоефективна дія азоту неможлива без достатнього забезпечення сіркою. Оскільки сірка, як і азот, відіграє важливу роль у синтезі білка, існує зв'язок між живленням рослини азотом і сіркою. Завдяки оптимальному поєднанню азоту з сіркою інтенсивність засвоєння азоту з мінеральних добрив і ґрунту зростає на 15–25%. Найчастіше неправильне співвідношення цих елементів лімітує врожайність сільськогосподарських культур.

Як свідчать літературні джерела, оптимальне співвідношення азоту до сірки для росту рослин залежить від конкретної культури та ґрунту, але загалом в межах від 7:1 до 15:1. Для більшості рослин оптимальним співвідношенням між азотом і сіркою є 10:1 [8].

За результатами досліджень співвідношення між умістом азоту, що легко гідролізується, і рухомою сіркою в розрізі районів Івано-Франківської області та по зонах за останній тур агрохімічного обстеження подано в таблиці.

Таблиця

Співвідношення азоту, що легко гідролізується, до рухомої сірки по зонах Івано-Франківської області, 2016–2020 рр.

Назва зони	Азот, що легко гідролізується, мг/кг ґрунту	Рухома сірка, мг/кг ґрунту	Співвідношення N:S
Придністров'я	92	5,9	16:1
Передкарпаття	100	5,0	20:1
Карпати	106	3,7	28:1

Як свідчать результати, співвідношення N:S найбільш оптимальне в Придністровській зоні (16:1), де поширені в основному чорноземи опідзолені та сірі опідзолені ґрунти. Вони містять в орному шарі достатню кількість гумусу та мають близьку до нейтральної або нейтральну реакцію ґрунтового розчину.

Для Карпатського Передгір'я, де переважають дернові та дерново-підзолисті ґрунти, співвідношення N:S становить 20:1.

У межах гірського рельєфу Карпат, де переважають бурі лісові та дерново-буроземні ґрунти, співвідношення N:S становить 28:1, що свідчить про значний дефіцит рухомої сірки. Середньозважений показник цього елемента живлення становить 3,7 мг/кг ґрунту, характеризує ґрунти цієї зони як низькозабезпечені.

Висновки. Встановлено, що на території обстежених районів Івано-Франківської області переважають ґрунти з дуже низьким та низьким ступенем забезпечення рухомою сіркою. 72,9% обстежених угідь характеризуються недостатнім вмістом для росту і розвитку рослин та потребують внесення сірковмісних мінеральних добрив, що є найбільш дієвими для подолання дефіциту сірки.

Підтвердженням цього є співвідношення азоту до сірки, що корелює з ґрунтово-кліматичними умовами області. Через відхилення від оптимального значення в ґрунтах більшості районів внесення добрив, які містять сірку, сприятиме збільшенню врожайності сільськогосподарських культур і поліпшенню якості ґрунтів.

1. Городній М. М. Агрохімія : підручник. 4–те вид. перероб. та доп. К. : Арістей, 2008. 936 с. 2. Агрохімічний та агроекологічний стан ґрунтів Івано-Франківської області : довідник. Івано-Франківськ, 2005. 82 с. 3. Звіт Івано-

Франківської філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» про виконання проєктно-технологічних та науково-дослідних робіт у 2016–2020 роках (заклучний). Івано-Франківськ, 2021. 238 с. **4.** Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. І. П. Яцука, С. А. Балюка. К., 2019. 108 с. **5.** Сірка в оптимізації живлення рослин. URL: <https://surl.li/sjrlxw>. (дата звернення: 10.05.2025). **6.** Сірка і сірчані добрива : сайт. Навчальні матеріали онлайн. Агрохімія. URL: https://pidruchniki.com/76191/agropromislovist/sirka_sirchani_dobryva (дата звернення: 10.05.2025). **7.** Сірка – критично важливий елемент урожайності. *Зерно* : журнал. 2015. № 11(116). С. 90–92. **8.** Сірка : сайт. Інститут живлення рослин. URL: https://pni.com.ua/optimizatsiya-zhivlennya/mineralne_zhivlennya/sirka/ (дата звернення: 10.05.2025).

REFERENCES:

1. Horodnii M. M. Ahrokhimiia : pidruchnyk. 4-te vyd. pererob. ta dop. K. : Aristei, 2008. 936 s. **2.** Ahrokhimichniy ta ahroekolohichniy stan gruntiv Ivano-Frankivskoi oblasti : dovidnyk. Ivano-Frankivsk, 2005. 82 s. **3.** Zvit Ivano-Frankivskoi filii derzhavnoi ustanovy «Instytut okhorony gruntiv Ukrainy» pro vykonannia proektno-tekhnologichnykh ta naukovo-doslidnykh robot u 2016–2020 rokakh (zakliuchnyi). Ivano-Frankivsk, 2021. 238 s. **4.** Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia: kerivnyi normativnyi dokument / za red. I. P. Yatsuka, S. A. Baliuka. K., 2019. 108 s. **5.** Sirka v optymizatsii zhyvlennia roslyn. URL: <https://surl.li/sjrlxw>. (data zvernennia: 10.05.2025). **6.** Sirka i sirchani dobryva : sait. Navchalni materialy onlain. Ahrokhimiia. URL: https://pidruchniki.com/76191/agropromislovist/sirka_sirchani_dobryva (data zvernennia: 10.05.2025). **7.** Sirka – krytychno vazhlyvyi element urozhainosti. *Zerno* : zhurnal. 2015. № 11(116). S. 90–92. **8.** Sirka : sait. Instytut zhyvlennia roslyn. URL: https://pni.com.ua/optimizatsiya-zhivlennya/mineralne_zhyvlennia/sirka/ (data zvernennia: 10.05.2025).

Piatkovska I. O., Candidate of Geological Sciences (Ph.D.), Matviichuk O. V., Chief Engineer-Soil Scientist, Naluznyi R. I., Head of the Laboratory, Sonchak A. A., Head of the Laboratory (Ivano-Frankivsk Regional Center of the State Institution «Derzgruntohorona»), **Turchyna K. P., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

PROVIDING MOBILE SULFUR TO THE SOILS OF THE IVANO-FRANKIVSK REGION AND WAYS OF OVERCOMING ITS DEFICIT

This article analyzes the current status of available sulfur content in soils of the Ivano-Frankivsk region based on agrochemical studies conducted during 2012–2020. A detailed distribution of agricultural land by levels of available sulfur was carried out across administrative districts and agro-soil zones of the region. The results showed that over 70% of the surveyed lands have low or very low levels of available sulfur, indicating a widespread deficiency of this element. The best indicators were recorded in the Prykarpattia area, particularly in Kalush, Tysmenytsia, and Rozhnativ districts, where sulfur levels exceeded the regional average.

The main factors leading to sulfur deficiency in soils were identified: intensive sulfur removal with crop harvest, leaching due to moisture, application of ammonium fertilizers, and liming of soils. Sulfur is highlighted as a key macronutrient essential for plant growth and development because it affects protein synthesis, metabolic processes, and photosynthetic productivity. The important interaction between nitrogen and sulfur in plant nutrition is noted, where sulfur deficiency reduces the efficiency of nitrogen fertilizers and crop yields.

It was determined that mineralization of humus is the primary source of available sulfur in soils, so the greatest deficiency occurs in soils with low organic matter content. Atmospheric sulfur inputs vary by region but generally do not compensate for the losses of this element.

To overcome sulfur deficiency in soils, the authors recommend regular application of sulfur-containing fertilizers at rates of 50–90 kg/ha, especially for crops with high sulfur demand such as cruciferous, leguminous, root crops, potatoes, and maize. The necessity

of monitoring available sulfur content as part of agrochemical soil certification is emphasized.

The obtained data can serve as a basis for developing effective agrotechnical measures to improve soil fertility and balance plant nutrition with sulfur in the agricultural lands of the Ivano-Frankivsk region.

***Keywords:* nitrogen; balance; soil; humus; deficiency; mineralization; monitoring; certification; fertility; sulfur.**

Паламарчук Р. П., перший заступник генерального директора (Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ; prp777@ukr.net). **Городиська І. М.**, к.с.-г.н., с.н.с., завідувач відділу, **Безноско І. В.**, д.б.н., с.н.с., зав. лабораторії (Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ, anni0479@gmail.com, beznoskoirina@gmail.com)

ВМІСТ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ ТА ОСНОВНІЙ ПРОДУКЦІЇ КУЛЬТУР П'ЯТИПІЛЬНОЇ СІВОЗМІНИ ЗАЛЕЖНО ВІД НОРМ УДОБРЕННЯ

Дослідження проведено на дерново-підзолистому ґрунті у стаціонарному досліді з вивчення впливу норм удобрення на вміст мікроелементів у ґрунті та основній продукції культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни, закладеному в 2015 році (с. Христинівка Народицького району Житомирської області), територія якого належить до другої зони радіоактивного забруднення.

Технологія вирощування сільськогосподарських культур у досліді загальноприйнята і рекомендована для зони проведення досліджень. На передбачених схемою досліджень варіантах застосовували хімічні засоби захисту рослин для вирощування конкурентоспроможної товарної продукції.

Результати досліджень, проведених у стаціонарному польовому досліді впродовж 2015–2019 рр., переконливо свідчать про те, що застосовані норми удобрення під сільськогосподарські культури п'ятипільної зерно-просапної сівозміни (овес – люпин – тритикале яре – буряки кормові – кукурудза на зерно) в період проведення досліджень і фактор сівозміни мали значний ефект на вміст мікроелементів у дерново-підзолистому ґрунті та отриманій основній продукції рослинництва. Зокрема, виявлено, що забезпеченість ґрунту мікроелементами в середньому по сівозмінах була низькою або дуже низькою: Cu – 0,091 мг/кг, Co – 0,158 мг/кг, Mn – 6,15 мг/кг, Zn – 2,27 мг/кг, B – 0,87 мг/кг, Mo – 0,083 мг/кг. Кращі показники були при внесенні добрив, зокрема другої норми, однак питання мікроелементного підживлення є актуальним, особливо для чутливих культур, таких як овес, люпин і тритикале.

Встановлено, що вміст мікроелементів у основній продукції культур п'ятипільної сівозміни був у межах ГДК для кормів і продовольчих цілей. Найбільше накопичення міді зафіксовано у зерні тритикале (4,84 мг/кг), цинку – люпину (40,61 мг/кг), кобальту, марганцю та заліза – у коренеплодах буряків кормових (0,923; 30,05 і 50,85 мг/кг відповідно). Ефективнішою виявилася друга норма добрив. Найменший вміст мікроелементів був у зерні кукурудзи.

Ключові слова: продуктивність; якість; інтенсифікація; агроценоз; екологічна безпека; землеробство.

Постановка проблеми. На сучасному етапі аграрної науки проблема оптимізації структури посівних площ і добору культур у сівозмінах різної ротації залишається недостатньо теоретично та практично обґрунтованою. Це особливо стосується дерново-підзолистих ґрунтів, які вирізняються низьким рівнем природної родючості та потребують застосування комплексу агротехнічних заходів для забезпечення стабільної продуктивності [1; 2].

В умовах обмеженої кількості органічних добрив, зокрема гною, що традиційно розглядався як ключовий елемент системи удобрення, надзвичайної актуальності набуває питання раціонального управління поживним режимом ґрунту [3; 4].

У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення короткоротаційних сівозмін шляхом оптимізації набору вирощуваних культур. Особливу увагу слід приділяти їх агробіологічним властивостям – здатності до накопичення продуктивної вологи, біологічного азоту, а також ефективному використанню добрив і мікроелементів для підтримання збалансованого поживного режиму ґрунту [5].

Таким чином, дослідження є актуальними й своєчасними, в них передбачалося встановлення впливу норм удобрення на вміст мікроелементів у дерново-підзолистому ґрунті та основній продукції культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дерново-підзолисті ґрунти формуються під умовами надмірного зволоження та промивного типу водного режиму, що обумовлює активні процеси вилугування й підзолистості. Для них характерні: кисла реакція ґрунтового розчину (рН 4,5–5,5), низький вміст гумусу (зазвичай 1,0–1,5%), мала ємність катіонного обміну, що обмежує акумуляцію

поживних речовин, переважання легкого гранулометричного складу (піски й супіски), що посилює вимивання катіонів. Такі ґрунти, поширені в зоні Полісся, є об'єктом численних агрохімічних і ґрунтознавчих досліджень у зв'язку з їхньою низькою родючістю та специфічним режимом мікроелементів.

За результатами *Національної доповіді про стан ґрунтів України* [6], встановлено, що ґрунтовий покрив Полісся характеризується дефіцитом рухомих форм цинку, бору та молібдену. Цей дефіцит зумовлений, з одного боку, кислою реакцією ґрунтового середовища, а з іншого – низькою ємністю катіонного обміну, що обмежує акумуляцію поживних речовин. Просторовий аналіз показав значне поширення зон нестачі цинку, що прямо корелює зі зниженням урожайності культур.

У *періодичній доповіді ІОГУ* уточнено критерії оцінки забезпеченості ґрунтів мікроелементами. Підкреслено, що в дерново-підзолистих ґрунтах рухомі форми бору й молібдену є вкрай нестабільними та значною мірою залежать від вапнування: нейтралізація кислотності сприяє їхній мобілізації та доступності для рослин [7].

Отже, Національні та періодичні доповіді ІОГУ підтверджують системний дефіцит мікроелементів у ґрунтах Полісся. Найбільш проблемними є:

- *цинк (Zn)* – один із найдефіцитніших елементів. Його нестача пов'язана з низьким вмістом органічної речовини, кислою реакцією та слабкою буферністю. Дефіцит Zn прямо впливає на врожайність зернових і кормових культур;
- *бор (B)* – в умовах кислої реакції бор легко вимивається у нижні горизонти. Недостатність бору особливо небезпечна для буряків, ріпаку та картоплі;
- *молібден (Mo)* – малорухомий у кислих ґрунтах, через що доступність для рослин різко знижується. Дефіцит Mo негативно позначається на бобових культурах, які потребують його для азотфіксації;
- *кобальт (Co) та мідь (Cu)* – спостерігається низька забезпеченість, що обмежує розвиток бобових та впливає на вміст протеїну в зерні.

Дослідження польських учених (*Polish J. Soil Sci.*) засвідчують, що природний фон Pb, Cd, Hg, Cu у дерново-підзолистих ґрунтах є

низьким. Однак техногенні джерела (промислові викиди, транспорт, локальні забруднення) можуть призводити до накопичення цих елементів на рівнях, небезпечних для агросистем [8].

За даними *Alloway*, найбільш уразливими до цинкового дефіциту є кислі піщані та супіщані ґрунти з низьким вмістом органічної речовини. Ця характеристика повністю відповідає властивостям дерново-підзолистих ґрунтів Полісся [9].

Kabata-Pendias & Pendias стверджують, що кислі умови різко знижують доступність молібдену та бору, але підвищують рухомість марганцю й цинку. Така подвійність зумовлює агрономічні труднощі: одночасне внесення добрив може викликати антагонізм елементів [10].

Таким чином, ці особливості створюють значні агрономічні ризики – передусім зниження врожайності культур і погіршення їх мінерального складу. Для компенсації дефіциту мікроелементів необхідним є диференційоване внесення мікродобрив з урахуванням просторової неоднорідності ґрунтового покриття та агроекологічних умов.

Мета і завдання дослідження. Мета досліджень полягає у встановленні впливу норм добрив на вміст мікроелементів у дерново-підзолистому ґрунті та основній продукції культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни.

Дослідження з вивчення впливу норм удобрення та сівозмінного фактору на вміст мікроелементів у ґрунті та основній продукції сільськогосподарських культур проводили в стаціонарному досліді на території с. Христинівка Народицького району Житомирської області, яке належить до другої зони радіоактивного забруднення, впродовж 2015–2019 рр.

Повторення дослідів – триразове. Розмір дослідної ділянки – 28 м², облікової – 18 м². Розміщення ділянок – систематичне.

Технологія вирощування сільськогосподарських культур у досліді загальноприйнята і рекомендована для зони проведення досліджень.

Сільськогосподарські культури вирощували в п'ятипільній зерно-просапній сівозміні з наступним чергуванням: овес – люпин – тритикале яре – буряки кормові – кукурудза на зерно за відповідних норм удобрення, передбачених робочою програмою (без добрив (контроль), перша норма та друга норма добрив). Розрахунок азотних

добрив проводився під кожен культуру на запланований урожай. Норма фосфорних добрив збільшена у 1,5 рази, а калійних добрив – у 2 рази у третьому варіанті.

Лабораторні дослідження ґрунтових та рослинних зразків проводили за загальноприйнятими методиками у лабораторіях Житомирської філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», зокрема, вміст мікроелементів згідно з нормативними документами і методичними вказівками [11; 12].

Результати. Надзвичайно важливими та необхідними є мікроелементи, які стимулюють ріст рослин і прискорюють їх розвиток, впливають на стійкість до несприятливих умов зовнішнього середовища, підвищують урожайність рослин і якість отриманої продукції, а найголовніше, що вони входять до складу ферментів, які є каталізаторами біохімічних процесів.

За результатами проведених досліджень і лабораторних аналізів визначено, що вміст міді, в середньому за 2015–2019 рр., знаходився на дуже низькому рівні, який варіював від 0,085 до 0,103 мг/кг ґрунту залежно від досліджуваних факторів. Зокрема, норми добрив забезпечили дещо більший вміст міді порівняно до контролю (без застосування добрив) за вищих показників при застосуванні другої норми добрив під посівами вівса та кукурудзи. У посівах люпину, тритикале та буряків кормових кращим варіантом виявилася перша норма добрив. Середнє значення по варіантах дослідів становить 0,091 мг/кг ґрунту, а коефіцієнт варіації 5,5% (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст рухомих сполук мікроелементів у ґрунті, мг/кг, середнє за 2015–2019 рр.

Удобрення	Cu	Co	Mn	Zn	B	Mo
Овес Чернігівський 27						
Без добрив (контроль)	0,086	0,158	4,89	2,43	0,85	0,082
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	0,090	0,160	5,06	2,63	0,88	0,083
N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	0,098	0,164	5,25	2,97	0,88	0,083
Люпин Індустріальний						
Без добрив (контроль)	0,090	0,166	4,77	1,84	0,83	0,081
N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	0,090	0,162	5,24	1,97	0,87	0,081
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	0,085	0,157	5,43	1,97	0,82	0,084

продовження табл. 1

Тритикале яре Аіст Харківський						
Без добрив (контроль)	0,087	0,140	5,27	2,59	0,87	0,084
N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	0,088	0,135	5,39	1,98	0,91	0,085
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	0,086	0,149	5,08	1,75	0,92	0,085
Буряки кормові Екендорфський жовтий						
Без добрив (контроль)	0,092	0,154	4,62	2,03	0,85	0,081
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	0,097	0,160	5,98	2,04	0,89	0,081
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	0,090	0,154	9,47	1,77	0,89	0,089
Кукурудза Харківська 195 МВ						
Без добрив (контроль)	0,089	0,171	6,59	2,50	0,85	0,081
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	0,095	0,161	9,69	3,01	0,88	0,082
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	0,103	0,175	9,48	2,58	0,90	0,088
Середнє	0,091	0,158	6,15	2,27	0,87	0,083
Sx	0,001	0,003	0,47	0,11	0,01	0,001
V, %	5,5	6,7	29,7	18,7	3,1	3,1
S	0,005	0,011	1,82	0,42	0,03	0,003

Вміст рухомих сполук кобальту також був на дуже низькому рівні, де цей показник становив від 0,135 до 0,175 мг/кг ґрунту за всіма варіантами досліду. Норми добрив мали деякий позитивний вплив, зокрема дещо більший вміст кобальту був під посівами кукурудзи, тритикале ярого та вівса за другої норми добрив, тоді як за першої – посіви буряків кормових порівняно до контролю. У посівах люпину кращим був варіант без застосування добрив. Середнє значення по варіантах досліду становить 0,158 мг/кг ґрунту за коефіцієнта варіації 6,7%.

За результатами лабораторних аналізів визначено, що вміст рухомих сполук марганцю в дерново-підзолистому ґрунті був дещо вищим порівняно з міддю та кобальтом, але його вміст залишався на низькому рівні забезпеченості.

Так, вміст марганцю, в середньому за 2015–2019 рр., знаходився на рівні від 4,62 до 9,69 мг/кг ґрунту за найвищих показників забезпеченості в посівах кукурудзи, а найменше – у посівах вівса. Таку суттєву різницю по культурах сівозміни чітко видно за коефіцієнтом варіації, який становить 29,7%. Норми добрив мали позитивний вплив

на вміст рухомих сполук марганцю за вищих значень при застосуванні другої норми, що на 12–30% більше ніж на контролі.

Вміст рухомих сполук цинку був дещо вищим по рівню забезпеченості, де середнє значення становило 2,27 мг/кг, а за варіантами досліду – від 1,75 до 3,01 мг/кг ґрунту. Поміж досліджуваних культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни найбільшим вмістом цього елемента відзначилися посіви кукурудзи (2,50–3,01 мг/кг) та вівса (2,43–2,97 мг/кг ґрунту), а найнижчим – посіви люпину. Кращою нормою добрив по забезпеченості цинку в дерново-підзолистому ґрунті виявилася перша норма.

Згідно з отриманими результатами видно, що вміст рухомих сполук молібдену був на дуже низькому рівні, цей показник знаходився в межах від 0,081 до 0,089 мг/кг ґрунту. Суттєвої різниці по варіантах досліду не виявлено, про що свідчить коефіцієнт варіації, який знаходиться в дуже вузькому проміжку та становить лише 3,1%.

Така ж тенденція відбувалася й по вмісту бору, де різниця по варіантах була незначною ($V = 3,1\%$), а вміст рухомих сполук бору був на рівні 0,82–0,92 мг/кг ґрунту. Дещо більшою забезпеченістю відзначилася друга норма добрив, а серед досліджуваних культур – тритикале яре (табл. 1).

Також були проведені дослідження з визначення вмісту мікроелементів у основній продукції рослинництва сільськогосподарських культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни. Згідно з отриманими даними лабораторних аналізів визначено, що вміст мікроелементів, у середньому за 2015–2019 рр., не перевищував гранично допустимих концентрацій по всіх елементах. Зокрема, вміст міді за різних норм добрив і культур сівозміни був на рівні від 2,71 до 4,84 мг/кг, а середнє значення 3,58 мг/кг за найбільшого вмісту в зерні тритикале ярого: 4,41 мг/кг за першої норми, 4,84 за другої норми добрив і 4,47 мг/кг на контролі, при цьому ГДК становить 10,0 мг/кг, що пов'язано з морфологічними особливостями культури щодо накопичення цього елемента. Найменший же вміст міді був у зерні кукурудзи – 2,71 мг/кг на варіанті без внесення добрив, 2,77 за першої норми та 2,84 мг/кг за другої норми добрив. Коефіцієнт варіації за вмістом міді по досліду – 18,7%.

Встановлено, що більший вміст міді був зафіксований за застосування другої норми добрив, де цей показник був у межах від 2,84 до 4,84 мг/кг за всіма досліджуваними культурами п'ятипільної

сівозміни, тоді як за першої норми – 2,77–4,41 мг/кг за найменшого накопичення на контролі – 2,71–4,47 мг/кг, що на 2–4% менше ніж за першої та на 5–8% менше ніж за другої норми добрив, що вказує на ефективність досліджуваних норм добрив (табл. 2).

Вміст цинку за всіма культурами сівозміни та різних норм добрив був на рівні від 19,36 до 40,61 мг/кг за ГДК 50,0 мг/кг. Найбільший вміст цинку зафіксовано в зерні люпину – 39,23 мг/кг за першої норми та 40,61 мг/кг за другої норми добрив, тоді як на контролі цей показник становив 39,15 мг/кг, що на 0,08 та 1,46 мг/кг менше ніж за першої та другої норм відповідно.

Найнижче накопичення цинку було в зерні кукурудзи – 19,36–21,14 мг/кг за більшого вмісту при застосуванні другої норми добрив. Достатньо низький вміст цинку був у зерні вівса 28,74–31,92 мг/кг за дещо більшого накопичення цього елементу при першій нормі добрив.

Таблиця 2

Вміст мікроелементів у основній продукції культур п'ятипільної сівозміни, мг/кг, середнє за 2015–2019 рр.

Удобрєння	Cu	Co	Mn	Zn	Fe
Овес Чернігівський 27					
Без добрив	3,11	0,594	23,09	28,74	36,99
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	3,02	0,600	23,41	31,92	38,70
N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	3,13	0,638	24,27	29,25	38,43
Люпин Індустріальний					
Без добрив	3,41	0,586	19,76	39,15	32,53
N ₃₀ P ₄₀ K ₅₀	3,73	0,592	19,52	39,23	32,64
N ₃₀ P ₆₀ K ₁₀₀	4,14	0,578	19,45	40,61	35,05
Тритикале яре Аїст Харківський					
Без добрив	4,47	0,474	17,46	30,77	30,02
N ₉₀ P ₆₀ K ₈₀	4,41	0,480	19,26	31,66	30,82
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₆₀	4,84	0,511	19,65	31,58	32,22
Буряки кормові Екендорфський жовтий					
Без добрив	3,54	0,864	24,24	35,75	45,78
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₁₆₀	3,63	0,848	29,23	35,33	48,68
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₃₂₀	3,98	0,923	30,05	37,25	50,85
Кукурудза Харківська 195 МВ					
Без добрив	2,71	0,594	23,68	19,36	22,07
N ₁₂₀ P ₁₀₀ K ₈₀	2,77	0,629	23,54	19,95	22,37
N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₆₀	2,84	0,674	23,87	21,14	22,87

продовження табл. 2

ГДК	10,0	2,0	150,0	50,0	50,0
Середнє	3,58	0,639	22,70	31,45	34,67
Sx	0,17	0,035	0,93	1,78	2,31
V, %	18,7	21,3	15,9	22,0	25,8
S	0,67	0,136	3,62	6,91	8,94

Середній вміст по досліді був у межах 31,45 мг/кг, а коефіцієнт варіації – 22,0%.

За результатами отриманих даних видно, що вміст кобальту був на рівні від 0,474 до 0,923 мг/кг залежно від досліджуваних норм добрив і культури в сівозміні (ГДК – 2,0 мг/кг). Середнє значення по досліді становить 0,639 мг/кг. Найбільше накопичення кобальту було зафіксоване в коренеплодах буряків кормових, де цей показник був у межах 0,864 мг/кг на контролі, 0,848 за першої норми та 0,923 мг/кг за другої норми добрив відповідно, що на 0,075 мг/кг більше порівняно до першої норми та на 0,059 мг/кг більше ніж на контролі. Це свідчить про ефективність досліджуваних норм добрив.

Серед зернових злакових культур найбільше накопичення кобальту, в середньому за п'ять років, було в зерні вівса (0,594 мг/кг – контроль, 0,600 – перша норма, 0,638 мг/кг – друга норма добрив) та кукурудзи (0,594 мг/кг – контроль, 0,629 – перша норма, 0,674 мг/кг – друга норма добрив). Найменший же вміст кобальту поміж досліджуваних культур п'ятипільної сівозміни був у зерні тритикале ярого, де цей показник знаходився у межах 0,474 мг/кг на контролі, 0,480 за першої норми та 0,511 мг/кг за другої норми добрив. Коефіцієнт варіації за вмістом кобальту по досліді становить 21,3%.

За результатами отриманих даних лабораторних аналізів визначено, що вміст марганцю залежно від норм добрив і культур п'ятипільної зерно-просапної сівозміни знаходився на рівні від 17,46 до 30,05 мг/кг (ГДК – 150,0 мг/кг) за найвищого вмісту марганцю в коренеплодах буряків кормових, де накопичення цього елементу становило 24,24 мг/кг на контролі, 29,23 за першої норми та 30,05 мг/кг за другої норми добрив, що на 5,81 мг/кг більше ніж на контролі. Серед зернових культур найбільше накопичення марганцю було в зерні вівса (23,09 мг/кг – контроль, 23,41 – перша норма, 24,27 мг/кг – друга норма добрив) та кукурудзи (23,68 мг/кг – контроль, 23,54 – перша норма, 23,87 мг/кг – друга норма добрив), що

вказує на достатньо високу ефективність застосовуваних норм добрив. Середнє значення по досліді становить 22,70 мг/кг, а коефіцієнт варіації – відповідно 15,9%.

Вміст заліза за всіма культурами сівозміни та різних норм добрив, у середньому за 2015–2019 рр., був на рівні від 22,07 до 50,85 мг/кг за ГДК 50,0 мг/кг. Найбільший вміст заліза поміж досліджуваних культур п'ятипільної сівозміни був у коренеплодах буряків кормових, де цей показник становив 45,78 мг/кг на контролі, 48,68 за першої норми добрив, що наближено до ГДК та 50,85 мг/кг за другої норми добрив, що перевищує ГДК на 0,85 мг/кг відповідно та більший вміст на 5,07 мг/кг ніж на контролі. Найменше накопичення заліза було в зерні кукурудзи (22,07 мг/кг – контроль, 22,37 – перша норма, 22,87 мг/кг – друга норма добрив). Вміст заліза в зерні вівса, люпину та тритикале незалежно від норм добрив знаходився у межах від 30,02 до 38,70 мг/кг відповідно, що вказує на високу ефективність досліджуваних факторів. Середній вміст по досліді становить 34,67 мг/кг. Коефіцієнт варіації – 25,8% відповідно (табл. 2).

Висновки. За результатами досліджень виявлено, що забезпеченість ґрунту мікроелементами, в середньому за 2015–2019 рр., була низькою або дуже низькою: Cu – 0,091 мг/кг, Co – 0,158 мг/кг, Mn – 6,15 мг/кг, Zn – 2,27 мг/кг, B – 0,87 мг/кг, Mo – 0,083 мг/кг. Дещо кращі показники були при внесенні добрив, зокрема другої норми, однак навіть за цих умов значення не досягали оптимальних рівнів, особливо для чутливих культур, як-от овес, люпин і тритикале.

Згідно з отриманими даними лабораторних аналізів встановлено, що вміст мікроелементів (мідь, цинк, кобальт, марганець, залізо) у основній продукції культур п'ятипільної сівозміни був у межах ГДК для кормів і продовольчих цілей. Найбільше накопичення міді зафіксовано у зерні тритикале (до 4,84 мг/кг), цинку – у люпину (до 40,61 мг/кг), кобальту, марганцю та заліза – у коренеплодах буряків кормових (до 0,923 мг/кг, 30,05 та до 50,85 мг/кг відповідно). Загалом більш ефективною була друга норма добрив, що сприяла підвищенню засвоєння мікроелементів, особливо за високої біологічної потреби культур. Найменший вміст елементів накопичувався в зерні кукурудзи.

землеробства НААН». 2015. Вип 2. С. 3–15. **2.** Агроекономічне та екологічне оцінювання сівозміни : наукове видання / за ред. Харченка О. В., Міщенко Ю. Г. Суми : Мрія. 2015. 70 с. **3.** Гамаюнова В. В., Хоненко Л. Г., Бакланова Т. В., Коваленко О. А., Пилипенко Т. В. Сучасні підходи до застосування мінеральних добрив за збереження ґрунтової родючості в умовах зміни клімату. *Наукові горизонти*. Житомир, 2020. № 02(87). С. 90–101. **4.** Камінський В. Ф. Наукові основи оптимізації живлення рослин в сучасних системах землеробства. *Землеробство : міжвідомчий тематичний науковий зб.* 2018. Вип. 2. С. 3–6. **5.** Гандзало Я., Камінський В., Сайко В. Сівозміни в землеробстві України. *Аграрний тиждень : Всеукраїнський діловий журнал*. 2015. № 4–5. С. 14–16. **6.** Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / за ред. С. А. Балюка та ін. Київ, 2010. 111 с. **7.** Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України (2011–2015 рр.). Х туп. ДУ «Інститут охорони ґрунтів України». Київ, 2020. 207 с. **8.** Kowalska J., Mazurek R. Heavy metals in sod-podzolic loam soils. *Polish Journal of Soil Science*. 2015. Vol. 48, № 2. P. 121–134. **9.** Alloway B. J. Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2nd ed. Paris : International Fertilizer Industry Association; Brussels: International Zinc Association. 2014. 139 p. **10.** Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2001. 403 p. **11.** ДСТУ 4770 (1,2,4,5,6)-2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук Mn, Zn, Fe, Co, Cu в буферній ацетатно-амонійній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. **12.** Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. Яцука І. П., Балюка С. А. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с.

REFERENCES:

1. Kaminskyi V. F. Sivozmyna yak osnova staloho zemlekorystuvannya ta prodovolchoi bezpeky Ukrainy. *Zbirnyk naukovykh prats NNTs «Instytut zemlerobstva NAAN»*. 2015. Vyp 2. S. 3–15. **2.** Ahroekonomichne ta ekolohichne otsiniuvannya sivozmyny : naukove vydannia / za red. Kharchenka O. V., Mishchenka Yu. H. Sumy : Mriia. 2015. 70 s. **3.** Hamaiunova V. V., Khonenko L. H., Baklanova T. V., Kovalenko O. A., Pylypenko T. V. Suchasni pidkhody do zastosuvannya mineralnykh dobryv za zberezhenntia gruntovoi rodiuchosti v umovakh zminy klimatu. *Naukovi horyzonty*. Zhytomyr, 2020. № 02(87). S. 90–101. **4.** Kaminskyi V. F. Naukovi osnovy optymizatsii zhyvlennia roslын v suchasnykh systemakh zemlerobstva. *Zemlerobstvo : mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zb.* 2018. Vyp. 2. S. 3–6. **5.** Handzalo Ya., Kaminskyi V., Saiko V. Sivozmyny v zemlerobstvi Ukrainy. *Ahrarnyi tyzhden : Vseukrainskyi*

dilovyi zhurnal. 2015. № 4–5. S. 14–16. **6.** Natsionalna dopovid pro stan rodiuchosti gruntiv Ukrainy / za red. S. A. Baliuka ta in. Kyiv, 2010. 111 s. **7.** Periodychna dopovid pro stan gruntiv na zemliakh silskohospodarskoho pryznachennia Ukrainy (2011–2015 rr.). Kh tur. DU «Instytut okhorony gruntiv Ukrainy». Kyiv, 2020. 207 s. **8.** Kowalska J., Mazurek R. Heavy metals in sod-podzolic loam soils. *Polish Journal of Soil Science*. 2015. Vol. 48, № 2. P. 121–134. **9.** Alloway B. J. Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2nd ed. Paris : International Fertilizer Industry Association; Brussels: International Zinc Association. 2014. 139 p. **10.** Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2001. 403 p. **11.** DSTU 4770 (1,2,4,5,6)-2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk Mn, Zn, Fe, Co, Cu v bufernii atsetatno-amoniinii vytiazhtsi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009–01–01]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. **12.** Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia: kerivnyi normatyvnyi dokument / za red. Yatsuka I. P., Baliuka S. A. 2-he vyd., dopov. Kyiv, 2019. 108 s.

Palamarchuk R. P., First Deputy General Director (State Institution «Institute of Soil Protection of Ukraine», Kyiv), **Horodyska I. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Research Fellow, Department Head,** **Beznosko I. V., Doctor of Biological Sciences (Ph.D.), Senior Research Fellow, Head of the Laboratory** (Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS, Kyiv)

TRACE ELEMENT CONTENT IN SOD-PODZOLIC SOIL AND MAIN CROP PRODUCTS IN A FIVE-FIELD CROP ROTATION AS AFFECTED BY FERTILIZER RATES

A stationary field experiment was conducted on sod-podzolic soil to determine the effect of fertilizer application rates on the concentration of trace elements in soil and major crop products within a five-field grain–row crop rotation. The trial was established in 2015 in Khrystynivka village (Narodychi district, Zhytomyr region, Ukraine), located within the second zone of radioactive contamination. The cultivation practices followed standard technologies recommended for the region, and chemical crop protection products were applied in accordance with the experimental scheme to ensure competitive marketable yields.

The findings obtained over 2015–2019 clearly indicate that both fertilizer rate and crop rotation structure exerted a significant influence on trace element distribution in the soil and harvested plant products. On average across crop rotations, the soil was characterized by low to very low trace element availability: Cu – 0.091 mg/kg, Co – 0.158 mg/kg, Mn – 6.15 mg/kg, Zn – 2.27 mg/kg, B – 0.87 mg/kg, and Mo – 0.083 mg/kg. Higher values were observed under fertilizer application, particularly at the second rate. Nevertheless, the necessity for additional micronutrient supplementation remains evident, especially for sensitive crops such as oats, lupine, and triticale.

Trace element concentrations in crop products were within maximum permissible limits for feed and food use. The highest copper accumulation occurred in triticale grain (4.84 mg/kg), zinc in lupine seeds (40.61 mg/kg), and cobalt, manganese, and iron in fodder beet roots (0.923, 30.05, and 50.85 mg/kg, respectively). The second fertilizer rate was the most effective overall, whereas maize grain exhibited the lowest trace element content.

Keywords: productivity; quality; intensification; agrocenosis; ecological safety; agriculture.

ЗМІСТ

Бедункова О. О., Статник І. І., Левківський Р. В., Вечорка В. В., Михалко О. Г.	Біорізноманіття риб як відображення екологічних умов у притоках середньої течії річки Горинь 3
Веремєєнко С. І., Ровна Г. Ф., Швець М. М.	Динаміка формування площі листової поверхні посівів кукурудзи залежно від вапнування і норм добрив в умовах Західного Полісся 22
Герасимчук Г. В.	Санітарний стан дубових деревостанів Ківерцівського національного природного парку «Цуманська пуща» 31
Гриб Й. В., Сорока В. С., Троцюк В. С., Войтишина Д. Й., Роменський М. М., Ногачевський Ю. В.	Аквапарки у комплексній системі просторового планування водоохоронної діяльності місцевих громад 48
Гриб Й. В., Троцюк В. С., Войтишина Д. Й.	Активація процесів протидії незворотності еволюції органічного світу водного середовища Західного Полісся України 68
Гунчак М. В., Пасічник В. І., Грищенко О. М., Колесник Т. М.	Стан родючості ґрунтів Лісостепової зони Чернівецької області 80

Клименко М. О., Колесник Т. М., Сорока В. С., Налобіна О. О., Ковальчук Н. С., Голотюк М. В.	Моделювання зміни родючості ґрунту під впливом багаторічного вирощування пшениці озимої 94
Клименко М. О., Борщевська І. М., Турчина К. П., Клименко Л. В.	Оцінка якості середовища міста Рівного за показниками флуктуючої асиметрії 107
Клименко М. О., Степаненко М. А.	Методологія створення лісових екосистем на деградованих землях Лісостепу України 121
Копій Л. І., Лісовий М. М., Новак А. А., Клименко О. М., Фізик І. В., Гончар В. М., Копій М. Л., Хоєцький П. Б., Копій С. Л., Агій В. О.	Вплив регулювання інтенсивності рубок догляду на формування видової структури дубово-соснових деревостанів Західного Полісся 135
Куліджанов Е. В., Мартиненко В. М.	Науково-методичні аспекти агрохімічної паспортизації сільськогосподарських угідь .. 152
Лісовий М. М., Копій Л. І., Клименко О. М., Фізик І. В., Гончар В. М., Копій С. Л., Хоєцький П. Б., Копій М. Л., Агій В. О., Гожан М. Я.	Вплив речовин-стерилантів на деконтамінацію експлантів <i>Pinus sylvestris</i> L. в культурі <i>in vitro</i> 161

Логвиненко І. П., Лико Д. В., Дацюк В. В., Портухай О. І.	Трансформація природних екосистем як наслідок зміни клімату на прикладі ботанічного заказника «Колобанки» (Рівненська область, Україна) 175
Мазепа В. Г., Хоєцький П. Б., Фізик І. В.	Продуктивність деревостанів за участю дуба у ДП «Волинський військовий лісгосп» 189
Мошинський В. С., Вознюк С. А.	Моніторинг ущільнення та деградації ґрунтів за супутниковими даними: огляд сучасних підходів і перспектив 203
Новак А. А., Копій Л. І., Клименко О. М., Копій С. Л.	Рубки формування і оздоровлення як індикатор поставарійного стану лісів Ожидівського лісництва 215
Пятковська І. О., Матвійчук О. В., Налужний Р. І., Сончак А. А., Турчина К. П.	Забезпеченість ґрунтів Івано-Франківської області рухомою сіркою та шляхи подолання її дефіциту 227
Паламарчук Р. П., Городиська І. М., Безноско І. В.	Вміст мікроелементів у дерново- підзолистому ґрунті та основній продукції культур п'ятипільної сівозміни залежно від норм удобрення 239

CONTENT

Biedunkova O. O., Statnyk I. I., Levkivskyi R. V., Vechorka V. V., Mykhalko O. H.	Fish Biodiversity as a Reflection of Ecological Conditions in Tributors of the Middle Course of the Horyn River	3
Veremeienko S. I., Rovna H. F., Shvets M. M.	Dynamics of leaf area formation in maize crops depending on liming and fertilizer rates in the conditions of Western Polissia	22
Herasymchuk H. V.	Sanitary Condition of the Oak Forest Stands in Tsumanska Pushcha Kiverts National Nature Park	31
Hryb Y. V., Soroka V. S., Trotsiuk V. S., Voityshyna D. Y., Romenskyi M. M., Nogachevskyi Yu. V.	Water Parks in the Comprehensive System of Spatial Planning of Water Protection Activities of Local Communities	48
Hryb Y. V., Trotsiuk V. S., Voityshyna D. Y.	Activation of Counteraction Processes Against the Irreversibility of Evolution of the Organic World in the Aquatic Environment of Western Polissia, Ukraine.....	68
Hunchak M. V., Pasichnyak V. I., Hryshchenko O. M., Kolesnyk T. M.	Soil Fertility State of the Forest-Step Zone of the Chernivtsi Region	80

Klymenko M. O., Kolesnyk T. M., Soroka V. S., Nalobina O. O., Kovalchuk N. S., Holotiuk M. V.	Simulation of Changes in Soil Fertility under the Influence of Multi-Year Cultivation of Winter Wheat 94
Klymenko M. O., Borshchevska I. M., Turchyna K. P., Klymenko L. V.	Assessment of the Environmental Quality of the City of Rivne Based on Fluctuating Asymmetry Indicators 107
Klymenko M. O., Stepanenko M. A.	Methodology for the Establishment of Forest Ecosystems on Degraded Lands in the Forest- Steppe Zone of Ukraine 121
Kopii L. I., Lisovyi M. M., Novak A. A., Klymenko O. M., Fizyk I. V., Honchar V. M., Kopii M. L., Khoietskyi P. B., Kopii S. L., Ahii V. O.	Influence of Thinning Intensity on the Development of Species Composition in Oak- Pine Stands of Western Polissia 135
Kulidzhanov E. V., Martynenko V. M.	Scientific and Methodological Aspects of Agricultural Lands Agrochemical Pasportization 152
Lisovyi M. M., Kopii L. I., Klymenko O. M., Fizyk I. V., Honchar V. M., Kopii S. L., Khoietskyi P. B., Kopii M. L., Ahii V. O., Hozhan M. Ya.	Influence of Sterilant Substances on the Decontamination of <i>Pinus sylvestris</i> L. Explants in Culture <i>in Vitro</i> 161

Lohvynenko I. P., Lyko D. V., Datsiuk V. V., Portukhai O. I.	Transformation of Natural Ecosystems as a Consequence of Climate Change: a Case Study of the «Kolobanky» Botanical Reserve (Rivne Oblast, Ukraine)	175
Mazepa V. H., Khoietskyi P. B., Fizyk I. V.	Productivity of Forest Stands with the Oak Participation in the Volyn State Military Forestry Enterprise	189
Moshynskyi V. S., Vozniuk S. A.	Monitoring Soil Compaction and Degradation with Satellite Data: a Review of Current Approaches and Perspectives	203
Novak A. A., Kopii L. I., Klymenko O. M., Kopii S. L.	Formation and Sanitary Felling as Indicators of the Post-Accident Condition of Forests in Ozhydiv Forestry	215
Piatkovska I. O., Matviichuk O. V., Naluznyi R. I., Sonchak A. A., Turchyna K. P.	Providing Mobile Sulfur to the Soils of the Ivano- Frankivsk Region and Ways of Overcoming Its Deficit	227
Palamarchuk R. P., Horodyska I. M., Beznosko I. V.	Trace Element Content in Sod-Podzolic Soil and Main Crop Products in a Five-Field Crop Rotation as Affected by Fertilizer Rates	239

Наукове видання

ВІСНИК
Національного університету водного
господарства та природокористування

Збірник наукових праць

Випуск 2(110)

Сільськогосподарські науки

Комп'ютерна верстка
Технічний редактор
Літературний редактор

Галина Сімчук
Галина Сімчук
Ольга Якимчук

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 30.05.2025 р. Формат 70×100¹/₁₆.
Ум.-друк. арк. 14,9. Обл.-вид. арк. 16,6.
Тираж 150 прим. Зам. № 5670.

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.