

ЛІСОВІ КУЛЬТУРФІТОЦЕНОЗИ ЯК ПРИРОДООХОРОННИЙ ЧИННИК ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ КРИВОРІЗЬКОГО ГІРНИЧО- МЕТАЛУРГІЙНОГО РЕГІОНУ

М. О. КВІТКО*,

Криворізький державний педагогічний університет

E-mail: kvitko.max@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3713-7620

В. М. САВОСЬКО, кандидат біологічних наук,

доцент кафедри ботаніки та екології

E-mail: savosko1970@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6943-1111

Ю. В. ЛИХОЛАТ, доктор біологічних наук, професор,

завідувач кафедри фізіології та інтродукції рослин

Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара

E-mail: lykholat2006@ukr.net

ORCID: 0000-0003-3354-8251

І. П. ГРИГОРІЙК, доктор біологічних наук, професор,

*член-кореспондент НАН України, професор кафедри фізіології, біохімії
рослин та біоенергетики*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: grigoryik@ukr.net

ORCID: 0000-0002-1706-9077

Анотація. Радіологічно, екологічно та біологічно безпечна грибна сировина є необхідною для виготовлення екологічно якісних біоорганічних стимуляторів росту та розвитку рослин та багатьох інших продуктів. Тому ми досліджували щільність популяції *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) P. Karst., *Agaricus bisporus* (J.E.Lange) Imbach, *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P.Kumm, *Armillariella mellea* (Vah1. ex Fr.) Karst., які часто використовуються для створення стимуляторів росту рослин, у їхніх біотопах за умов радіоактивного забруднення та ураження патогенами.

Дослідження проводилось у шести біогеоценозах: Шацький національний природний парк (Волинська область, Україна), Регіональний ландшафтний парк «Ізмаїльські острови» (Одеська область, Україна), околиці смт Корнин (Житомирська область, Україна), околиці села Королівка (Житомирська область, Україна), околиці села Лисівка (Житомирська область, Україна), околиці міста Вишгород (Київська область, Україна). Патогени були ідентифіковані стандартними мікологічними, бактеріологічними та вірусологічними методами. Щільність забруднення ґрунту радіоцезієм, як параметр радіоактивного забруднення, визначалася спектрофотометричним методом.

Найвища щільність популяції *Ganoderma lucidum* була в регіональному ландшафтному парку «Ізмаїльські острови». У цьому біогеоценозі *G. lucidum* майже неуражувався патогенами, а щільність забруднення радіоцезієм ґрунту становила 18,5 кБк / м². *Agaricus bisporus* та *Armillariella mellea* росли в біотопах із високою щільністю забруднення ґрунту радіоцезієм. Наприклад, у лісових екосистемах навколо міста Вишгород, де середня щільність забруднення ґрунту радіоцезієм становила 111,0 кБк / м², щільність популяції *A. mellea* становила 0,39 плодівих тіл на м². Заразом 15% *A. mellea* в цьому біогеоценозі уражувалися різними патогенами. Отже, використанню дикорослих грибів як сировини повинно передувати їхнє тестуванням на біологічне та радіологічне забруднення.

Ключові слова: лісові культурфітоценози, екологічна безпека, дендрометричні показники, лісистість, Криворіжжя.

Актуальність.

На початок XXI століття більшість промислових регіонів світу та України відзначаються вагомими обсягами викидів / скидів поллютантів у довкілля. На їх теренах рівні забруднення атмосферного повітря поверхневих / ґрунтових вод й ґрунтів сягають критичних значень [2, 5, 14, 21]. Окрім того, у цих регіонах на значних площах відбувається повна руйнація ґрунтового покриву та формування антропогенного мезорельєфу [3, 28, 31]. У результаті значно погіршуються умови життєдіяльності людини [15, 16, 20]. У зв'язку з цим, надважливо розробити і впровадити систему ЕБ у промислових регіонах, зокрема в Криворізькому гірничо-металургійному регіоні.

Нині, надзвичайно актуальні проблеми стану довкілля для м. Кривий Ріг і прилеглих територій, де функціонують п'ять великих гірничо-збагачувальних комбінатів, зокрема металургійний, коксохімічний, гірничо-цегловий, суриковий та рудо-ремонтний заводи. За даними численних досліджень, у регіоні сумарні викиди у атмосферне повітря забруднювачів становить понад 10 % від валових в Україні [3, 13], що спричинює швидке зростання показників смертності, поширення серед дорослих і дітей бронхо-легеневої патології та погіршення репродуктивних можливостей [19, 33]. Усе це актуалізує дослідження з ЕБ у Криворізькому гірничо-металургійному регіоні.

За останні часи проблема ЕБ промислових регіонів України регулярно

була темою численних наукових публікацій [4, 9, 10, 12, 40, 41]. Проте, у більшості випадків увага науковців була зосереджена суто на технічних та організаційних аспектах цієї проблеми. Найчастіше наголос акцентувався на попередженні надзвичайних природно-техногенних ситуацій [40, 41]. Водночас, поза увагою дослідників фактично залишилися стратегічні аспекти ЕБ промислових регіонів, які мають бути спрямовані на повноцінне забезпечення комфортних і безпечних умов життя мешканців усього промислового регіону впродовж тривалого часу.

Мета роботи – з позицій екосистемного підходу проаналізувати лісові культурфітоценози як перспективний чинник екологічної безпеки Криворізького гірничо-металургійного регіону.

Матеріал і методи дослідження.

Матеріалами роботи слугували багаторічні результати власних досліджень, а також наукові публікації з ЕБ промислових регіонів.

Упродовж 2013-2019 рр. нами були досліджені природні і штучно створені лісові фітоценози Криворіжжя, які розташовані в контрастних екологічних умовах та репрезентують основні різновиди деревних насаджень. Зокрема, це фітоценози Гурівського лісу (умовний контроль), об'єкти садово-паркового господарства і санітарні / водні / міські лісозахисні урочища.

У наявних лісових фітоценозах на 34 моніторингових ділянках за класичними методиками [1, 7, 39] вивчали флористичний склад, вертикальну структуру, дендрометричні показники та життєвість деревостану. У камеральних умовах уточнювали

флористичний склад, а також розраховували показники запасу стовбурної деревини, суми площ поперечного перерізу та відносного життєвого стану деревних рослин.

Результати дослідження та їхнє обговорення.

Екологічна безпека: сучасні дефініції та типологія. Серед досягнень наукової думки останніх років є поняття ЕБ. Незважаючи на численні наукові публікації і проведення наукових конференцій, досі продовжуються дискусії з приводу загально-визнаної дефініції цього поняття та його класифікації.

Більшість експертів вважають, що ЕБ – це новий напрямок в екологічній та природоохоронній галузі, нова навчальна дисципліна, місією якої є формування новітніх підходів до оцінювання / прогнозування стану довкілля, а також виявлення чинників, які спричиняють порушення безпечного для людини функціонування природного середовища [11, 23, 26]. Також визначають певні вектори ЕБ. По перше, ЕБ – сукупність дій, станів і процесів, що прямо чи опосередковано не зумовлюють серйозні збитки (або загрози таких збитків) природному середовищу, окремим людям та людству загалом. По-друге, ЕБ – і комплекс станів, явищ і дій, що забезпечують екологічний баланс на Землі і в будь-яких її регіонах на рівні, до якого фізично, соціально, економічно, технологічно та політично готове (може без серйозних збитків адаптуватися) людство. По-третє, ЕБ – це такий стан навколишнього середовища, за якого стає неможливим погіршення екологічного стану і виникнення небезпеки для здоров'я людей.

Існує теза, що ЕБ – це сукупність певних властивостей навколишнього середовища і створюваних цілеспрямованою діяльністю людини умов, за яких з урахуванням економічних, соціальних чинників й науково-обґрунтованих допустимих навантажень на об'єкти біосфери, утримуються на мінімально можливому рівні ризику антропічний вплив на навколишнє середовище і негативні зміни, що відбуваються в ньому, забезпечується збереження здоров'я й життєдіяльність людей, виключаються віддалені наслідки цього впливу для теперішнього та наступних поколінь [8, 22, 25, 37].

Окремі науковці схильні до думки, що ЕБ у природокористуванні – сукупність умов, що забезпечують мінімальний несприятливий вплив природи та технологічних процесів її опанування на здоров'я людей. Безпеку в природокористуванні розглядають в межах усіх форм галузевого природокористування і в області прямого та опосередкованого впливу на людину (глобальній, регіональній й локальній) [10, 32, 41].

Більшість дослідників і експертів доходять згоди, що ЕБ – це компонент національної безпеки, що забезпечує захищеність життєво важливих функцій людини, суспільства, довкілля та держави від реальних чи потенційних загроз, які створюються антропічними чи природними чинниками відносно навколишнього середовища [9, 10, 40].

Відповідно до сучасних уявлень, ЕБ може бути розглянута в глобальних, регіональних, локальних і умовно точкових межах, у тому числі в межах держав та будь яких їхніх підрозділів. Фактично вона характеризує геосистеми (екосистеми) різного ієрархічного рангу – від біогеоценозів (агро-

урбоценозів) до біосфери загалом. ЕБ обмежена часом й розмірами акцій, що проводяться в її межах: нетривала дія може бути відносно безпечною, а тривала – небезпечною, локальні зміни майже нешкідливі, а широкомасштабні – фатальні [12, 24, 37].

Аналіз наукових публікацій [10, 40, 41] дозволив нам сформулювати таке узагальнення – в наш час ефективного застосування ідеї ЕБ можливо лише за умов вираховування комплексу певних чинників. Зокрема, це: 1) прогнозування впливу техногенних забруднень на здоров'я людей і стан природних екосистем; 2) визначення специфіки взаємовідношень прилеглих техногенних об'єктів з навколишнім середовищем; 3) вивчення специфіки і кількості відходів техногенних об'єктів, особливостей їхнього зберігання та утилізації; 4) плани і програми оптимізації стану довкілля об'єктів та територій; 5) підвищення рівня екологічної культури населення.

На нашу думку, перспективним чинником ЕБ промислового регіону є лісові культурфітоценози, які відіграють ключову роль у формуванні середовища життєдіяльності мешканців цього регіону. Лісові насадження здатні значно збагачувати мікроклімат мегаполісів, упорядкувати його архітектурно-планувальну структуру та регулювати психічний стан людей в умовах їхнього емоційно-навантаженого ритму життя [25, 26].

Сучасний стан лісових культурфітоценозів Криворіжжя. Штучні лісові масиви на Криворіжжі створювали в основному у два етапи: перший – в 30-х рр., другий – в 50 – 60 рр. ХХ ст. на територіях з різноманітними екологічними умовами [3, 13, 27, 29]. Тому цілком логічно, співставляючи ефект дії природних (грунтово-гідрологічних

умов) та антропогенних чинників (рівень забруднення атмосферного повітря) нами були виділені зони екологічних умов росту та розвитку лісових культур-фітоценозів Криворіжжя [27, 29]. Зокрема це: 1) зона сприятливих екологічних умов; 2) зона відносно сприятливих екологічних умов; 3) зона відносно несприятливих екологічних умов; 4) зона несприятливих екологічних умов.

За результатами наших досліджень, лісові культурфітоценози Криворізького регіону в різних екологічних зонах, відзначаються відмінностями у структурній та функціональній організації. У зоні сприятливих екологічних умов знаходяться фітоценози Гурівського лісу, які мають цілком природне походження і розвиваються на сирих грудах за умов періодично незначного забруднення атмосфери (таблиця). У насадженнях (віком 110-160 років) домінують дуб звичайний (*Quercus robur* L.), ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.) та клен польовий (*Acer platanoides* L.). На всіх ділянках повністю сформована вертикальна структура, тобто зростають дерева першого-третього ярусів, а також чагарниковий та трав'яний яруси. Дендрометричні показники є типовими для заплавних лісів степової зони України [6, 34, 35].

Фітоценози Гурійського лісу характеризуються максимальними значеннями показників відносного життєвого стану деревних рослин та оцінюються як здорові – 85,7 умовних балів (у.б.) за шкалою В.А. Алексєєва [1]. Природна густота насаджень становить 1200 шт./га, їхня середня висота 18 м, діаметр стовбура 20 см, запас стовбурної деревини 530 м³/га та сума площ поперечних перерізів 46 м²/га (таблиця).

Лісові культурфітоценози Криворіжжя в зоні відносно сприятливих екологічних умов представлені

насадженнями дендропарку «Веселі Терни», урочищем «Дубки» та водозахисними насадженнями р. Бокова та Карачунівського водосховища (частково). Вони інтенсивно розвиваються на вологих і сирих грудах за умов незначного забруднення атмосфери. У насадженнях 50-120 років домінують дуб звичайний, ясен звичайний, в'яз гладкий (*Ulmus laevis* L.) та клен ясенелистий (*Acer negundo* L.). Установлено, що їхня вертикальна структура сформована лише частково – подекуди відсутній III ярус та/або є незначна кількість чагарників. Відносний життєвий стан деревних рослин оцінено як здоровий – 84,2 у.б. Мінімальні значення стану окремих компонентів деревостану виявлено у гілок (78,2 у.б.) – стан ослаблений, максимальні показники у крони та листків (82,9-83,0 у.б.) – стан здоровий (таблиця).

Дендрометричні показники лісових культурфітоценозів у зоні відносно сприятливих екологічних умов, дещо відрізняються від контролю. Так, середня густота деревних рослин становить 866 шт./га., висота 16 м, діаметр стовбура 25 см, середній запас деревини в фітоценозах – 216 м³/га, а сума площ поперечних перерізів – 36 м²/га. Такі показники також є типовими для штучних лісів інших регіонів України [35, 36].

У зоні відносно несприятливих екологічних умов розташовані фітоценози Довгинцівського дендропарку і водозахисних насаджень Карачунівського водосховища (частково), які мають виключно штучне походження й розвиваються на сухих грудах і сугрудах за умов періодично досить високого забруднення атмосфери, антропогенно-рекреаційного та зоогенного навантаження. Вік насаджень коли-

1. Характеристика лісових культурфітоценозів Криворізького гірничо-металургійного регіону

Показники	Зони екологічних умов росту та розвитку лісових культурфітоценозів			
	Сприятливих	Відносно сприятливих	Відносно несприятливих	Несприятливих
Грунтово-гідрологічні умови	Сирі груди D4	Вологі і сирі груди D3-D4	Свіжі і сухі сугруди C1-C2	Сухі сугруди C1
Зони забруднення атмосфери	Періодичного незначного	Періодичного незначного та середнього	Середнього та порівняно значного	Порівняно значного та значного
Домінуючі види	<i>Quercus robur</i> L., <i>Acer platanoides</i> L., <i>Fraxinus excelsior</i> L.	<i>Quercus robur</i> L., <i>Fraxinus excelsior</i> L., <i>Ulmus laevis</i> L., <i>Acer negundo</i> L.	<i>Quercus robur</i> L., <i>Fraxinus excelsior</i> L., <i>Acer negundo</i> L., <i>Quercus rubra</i> L., <i>Tilia cordata</i> L.	<i>Quercus robur</i> L., <i>Fraxinus excelsior</i> L., <i>Acer campestre</i> L., <i>Acer negundo</i> L., <i>Acer platanoides</i> L., <i>Populus nigra</i> L.
Походження	Природне	Природне штучне	Штучне	Штучне
Вік, роки / відносний	160 / стиглі	50-120 / молоді - старі	40-80 / молоді - стиглі	50-90 / молоді - старі
Вертикальна структура	AI	++	++	++
	AII	++	+-	++
	AIII	++	+-	+-
	Fr	++	-+	-+
	H	++	+-	--
Життєвий стан, бал оцінка	Крона	85,6 здоровий	84,2 здоровий	63,5 ослаблений
	Листки	78,1 ослаблений	83,0 здоровий	61,7 ослаблений
	Гілки	86,9 здоровий	78,2 ослаблений	63,7 ослаблений
	Разом	85,6 здоровий	82,9 / здоровий	63,8 ослаблений
Густота насаджень, шт./га	1200	866	1448	1415
Середня висота, м	18	16	13	11
Середній діаметр, см	20	25	17	15
Запас стовбурної деревини, м³/га	530	216	216	209
Сума площ поперечних перерізів, м²/га	46	36	32	28

Яруси ЛКФЦ: AI – I деревний; AII – II деревний; AIII – III деревний; Fr – чагарниковий; H – трав'яний.

вається в межах від 40 – до 80 років, в яких домінують дуб звичайний, ясен звичайний, дуб червоний (*Quercus rubra* L.) та клен ясенелистий. Також трапляються насадження, де поширені липа серцелиста (*Tilia cordata* L.),

береза повисла (*Betula pendula* Roth.) та сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.).

У зоні відносно несприятливих екологічних умов на наявних ділянках прослідковується недостатньо сформована вертикальна структура:

зростають деревні рослини I ярусу, з частково виявленими II та III ярусами, чагарниковий та трав'яний ярус слабо виражений. Стан дерев оцінено як ослаблений – 63,8 у.б.. Значення окремих компонентів деревостану майже однакові, а їхній стан ослаблений: крона – 63,5 у.б., листки – 61,7, гілки – 63,7 у.б.. Середня густота насаджень становить 1448 шт/га, висота – 13 м та діаметр стовбура – 17 см. Водночас запас деревини насаджень складає 216 м³/га, а сума площ поперечних перерізів – 32 м²/га (таблиця).

У зоні з несприятливими екологічними умовами культурфітоценози представлені санітарно-захисними (ПАО «АрселорМіттал Кривий Ріг») і містозахисними смугами, які розвиваються переважно на свіжих та сухих ґрунтах за умов постійного значного забруднення атмосфери. Також на ділянках трапляються антропогенні стихійні сміттєзвалища. Вік насаджень дорівнює 50 – 90 років (таблиця). У зоні з несприятливими екологічними умовами на моніторингових ділянках домінують дуб звичайний, субдомінують – ясен звичайний, клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), тополя чорна (*Populus nigra* L.). Наявні повноцінні I-II яруси, відсутній III ярус. Чагарниковий та трав'яний яруси деградовані або відсутні. Лісові культурфітоценози цієї зони види деревних рослин мають найменші показники життєвого стану. Так, загальний стан деревних рослин оцінений як ослаблений – 62,7 у.б.. Значення окремих компонентів деревостану також ослаблені: крона – 62,3 у.б., лиски – 68,4 у.б., гілки – 60,01 у.б.. Густота цих насаджень становить 1415 шт/га, висота 11 м, діаметр стовбура 15 см, запас деревини 209 м³/га і сума площ поперечних перерізів – 28 м²/га (таблиця).

Отже, значення дендрометричних показників (густина насаджень, середня висота і діаметр, сума площ поперечних перерізів, запас стовбурної деревини) лісових культурфітоценозів Криворіжжя фактично є типовими для інших регіонів України й залежать від екологічних умов територій їхнього зростання. Проте, у фітоценозах простежується дисбаланс у співвідношенні окремих показників (висота, діаметр) між першим, другим та третім ярусами насаджень. Зокрема, за чисельністю переважно домінують екземпляри деревних рослин другого ярусу, частка яких коливається в межах від 35 до 50 %. Окрім того, у досліджених насадженнях визначено надзвичайно високу (25-30 %) частку деревних рослин першого ярусу. Деструктуризація деревостану лісових культурфітоценозів Криворізького регіону також прослідковується в розподілі за вертикальними ярусами показників запасу стовбурної деревини та суми площ поперечних перерізів. Простежується чітка тенденція до зменшення частки дерев першого ярусу. Водночас встановлено збільшення частки деревних рослин другого ярусу. Вплив несприятливих екологічних чинників (у першу чергу аеротехногенного забруднення повітря та дефіцит вологи) спричиняє інтенсивніший ріст і розвиток деревних рослин у лісових культурфітоценозах.

Життєвий стан деревних рослин деревостану лісових культурфітоценозів оцінюється як сильно ослаблений, ослаблений та здоровий. Показники життєвого стану закономірно зменшуються в ряду погіршення екологічних умов територій розташування лісових насаджень. Загалом, досліджені нами ботаніко-екологічні показники

деревостану підтверджують, що види деревні рослин лісових культурфітоценозів Криворізького гірничо-металургійного регіону в більшості випадків перебувають у стресовому стані внаслідок постійного впливу несприятливих екологічних чинників натурагенного та антропоїчного генезису.

Лісові культурфітоценози та ЕБ Криворіжжя. Під системою ЕБ розуміють сукупність заходів (правових, економічних, технічних, гуманітарних і медичних), спрямованих на підтримання рівноваги між природними екосистемами, антропоїчними та природними навантаженнями [9, 10, 32]. Система ЕБ створюється і розвивається відповідно до Конституції України, указів Президента України, постанов Уряду, державних програм у цій сфері [40, 41].

На нашу думку, стратегічним заходом реалізації політики ЕБ у промислових регіонах, у тому числі й у Криворізькому гірничо-металургійному регіоні, є упорядкування існуючих та створення нових лісових культурфітоценозів. Так, за результатами досліджень [6, 34, 36] доведено, що лісові культурфітоценози здатні покращувати мікрокліматичні умови окремих регіонів. Зокрема, внаслідок фітомеліоративного впливу лісових насаджень на 5-25 % більше випадає атмосферних опадів і на 15-20 % збільшується сумарний річковий стік, що є надзвичайно актуальним для вододефіцитних умов Криворіжжя. Окрім того, природні і штучні ліси зменшують рівні забруднення ґрунтів й ґрунтових вод, запобігають поширенню водної і вітрової ерозії ґрунтів та деградації ґрунтового покриву взагалі.

За даними науковців [17, 18], лісові культурфітоценози здатні до інтенсивного депонування вуглецю. Так,

загальний обсяг вуглецю, накопиченого в природних та штучних лісах, становить 610-620 млн. т. Щорічний обсяг поглиненого вуглецю знаходиться на рівні 16,5-17,5 млн. т [35, 36]. Тобто, лісові культурфітоценози здатні істотно зменшувати шкідливий антропоїчний вплив на глобальні зміни клімату. Загалом, природні і штучні лісові культурфітоценози є найпотужнішим чинником, що стабілізує функціональну організацію природних екосистем й посилює їхню стійкість проти антропоїчного впливу та глобальних змін клімату. У зв'язку з цим, неможливо не погодитися з думкою член-кореспондента НААН України, директора Українського НДІ лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького Держлісагенства України та НАН України В.П. Ткача [35], який стверджує: «У сучасних умовах роль лісів набуває статусу одного з ключових природоохоронних чинників, які визначають ЕБ України» [34].

За офіційними даними [34, 36], в Україні площа земель, вкритих лісовою рослинністю, складає 9,4-9,6 млн. га, або 15,9 % від загальної площі. За цим показником (лісистість) вона фактично займає останнє місце серед країн Європи. Лісистість України закономірно змінюється від 5-6 % у Степу до 40-45 % у Карпатах [35, 36]. За даними наукових публікацій [27, 30, 34], у Дніпропетровській області 198,6 тис. га земель лісового фонду, у тому числі підпорядкованих Дніпропетровському обласному управлінню лісового та мисливського господарства – 94,5 тис. га, з них 90 % – рукотворні ліси. Вони не мають промислового значення і виконують, в основному, екологічні, захисні й рекреаційні функції та віднесені до I групи. За розрахунками вчених

[6, 34, 36], оптимальна лісистість у нашому регіоні повинна досягти 8–10 %, а нині вона становить лише 4,8 %. За даними наукових публікацій [3, 13], на території Криворіжжя природні заплавні та байрачні ліси не збереглися. Площа штучних лісових насаджень складає 17,0–18,0 тис. га і лісистість лише 4,5 %, що є майже в 2 рази меншою за науково-обґрунтований показник у 8–10 %.

Для практичного впровадження тези «Лісові культурфітоценози як природоохоронний чинник екологічної безпеки Криворізького гірничо-металургійного регіону» доцільно реалізувати низку заходів. У першу чергу, необхідно створити нові насадження для досягнення оптимальної лісистості регіону. Також важливо окремо обґрунтовувати оптимальні площі і місце розташування масивних культурфітоценозів й систем цільового призначення (цільових груп захисних насаджень), а також насаджень зелених зон населених місць регіону і мікрорайонів м. Кривий Ріг, санітарно-захисних, водозахисних природоохоронних, протиерозійних та полезахисних. У разі створення нових лісових культурфітоценозів у регіоні варто інтегрувати їх у компоненти існуючої та потенційно можливої Екологічної мережі. У зв'язку з цим, перспективним буде не порушувати особливо цінні (за різноманітними точками зору) угруповання, природну цілісність усіх їхніх компонентів – тваринного, рослинного світу та мікроорганізмів.

На нашу думку, перед початком створення нових лісових культурфітоценозів на Криворіжжі необхідно провести поглиблене дослідження типізації його території за якісними ознаками можливої дії екологічних чинників натуралізованого та антропогенного

генезису. У перспективі доцільно буде диференційовано для різних екологічних умов розробити зональні екологічно адаптовані системи заходів зі створення лісових культурфітоценозів різного цільового призначення для максимально ефективного захисту довкілля та збереження біорізноманіття Криворізького регіону.

Одночасно зі створенням нових лісових культурфітоценозів на Криворіжжі надзвичайно пріоритетним залишається упорядкування лісових насаджень. Як нами зазначалося вище, лісові культурфітоценози в регіоні мають збіднений флористичний склад, спрощену вертикальну структуру, певний дисбаланс у співвідношенні дендрометричних показників між першим, другим та третім ярусами насаджень, інколи ослаблений життєвий стан рослин. У більшості випадків їхні деревостани перебувають у стресовому стані внаслідок постійного впливу несприятливих екологічних чинників. Проте лісові культурфітоценози в регіоні вже утворили намет, мають молодий і стиглий відносний вік, накопичили значну кількість фітомаси та потенції щодо формування ценотичного середовища / фітогенного поля. Окрім того, вони вже виконують надважливі природоохоронні, санітарно-захисні фітомеліоративні та інші функції. Тому їхнє упорядкування вкрай актуальне та важливе для сьогодні, першим етапом якого може стати наукове обґрунтування можливості використання біогеохімічних характеристик системи «Листковий опад – ґрунт» як маркерів та предикторів стану деревостанів лісових культурфітоценозів. Так, за результатами наших досліджень [30], концентрації лужноземельних металів (Ca, Mg, K та Na) в листковому опаді доцільно вважати

точним еколого-біогеохімічним маркером, який інформативно відображає життєвий стан деревних рослин лісових культурфітоценозів Криворіжжя.

Висновки і перспективи.

Лісові культурфітоценози Криворізького гірничо-металургійного регіону були створені, переважно, у середині минулого століття з використанням тогочасної наукової думки та досягнень агротехніки. Нині в більшості випадків види деревних рослин перебувають у стресовому стані внаслідок постійного впливу несприятливих екологічних чинників натурагенного (дефіцит води та зміни клімату) та антропогенного (забруднення довкілля) генезису.

Нині вони повинні набути статусу одного з ключових природоохоронних чинників, що визначають ЕБ як окремого регіону, так і України в цілому. Для цього необхідно досягнути оптимальних показників лісистості регіону шляхом створення нових насаджень з урахуванням оптимальних площ окремих лісових масивів та місць розташування культурфітоценозів різного призначення.

За умов створення нових лісових культурфітоценозів важливо інтегрувати їх у компоненти існуючої і потенційно можливої Екологічної мережі. Надактуальним залишається упорядкування існуючих лісових насаджень, які вже виконують вкрай важливі природоохоронні, санітарно-захисні фіто-меліоративні та інші функції. Першим етапом такого упорядкування може стати наукове обґрунтування можливості використання біогеохімічних показників системи «Листковий опад – ґрунт» як маркерів та предикторів стану рослин деревостанів лісових культурфітоценозів.

References

1. Alekseev, V. A. (1989). Dyahnostyka zhyznennoho sostoiannya derev y drevostoev [State of health of trees and stands diagnostics]. Lesovedenye [Forestry], 4, 51–57 (in Russian).
2. Anguluri, R., & Narayana, P. (2017). Role of green space in urban planning: outlook towards smart cities. Urban Forestry and Urban Greening, 25, 58–65 DOI: 10.1016/j.ufug.2017.04.007.
3. Antoniuk, O. P., & Pistunov, I. M. (2013). Prohnozuvannya obsiahiv ekonomichnoho vidshkoduvannya naslidkiv tekhnohennoho zabrudnennia Kryvorizkoho rehionu [Forecasting the volume of economic compensation for the consequences of man-made pollution in the Kryvyi Rih region]. National Mining University, Dnipropetrovsk. (in Ukrainian)
4. Bokhan, A. V. (2014). Biznes ta mizhnarodna polityka ekolohichnoi bezpeky [Business and international politics of environmental safety]. Ekonomichniy prostir [Economic Scope], 82, 14–23 (in Ukraine).
5. Chivulescu, S., Leca, S., Silaghi, D., & Cristea, V. (2018). Structural biodiversity and dead wood in virgin forests from Eastern Carpathians. Agriculture and Forestry, 64 (1), 177–188 DOI: 10.17707/AgricultForest.64.1.20.
6. Hensiruk, S. A. (1992). Lisy Ukrainy [Forests of Ukraine]. Naukova dumka, Kyiv. (in Ukrainian)
7. Hrom, M. M. (2005). Lisova taksatsiia. [Forest Taxaon]. Ukrainian State Forestry University, Lviv (in Ukrainian).
8. Ivaniuta, S. P., & Kachynskiy A. B. (2012). Ekolohichna ta pryrodno-tekhnohenna bezpeka Ukrainy rehionalnyi vymir zahroz i ryzykiv [Environmental and technogenic security of Ukraine is a regional dimension of threats and risks]. NISD, Kyiv (in Ukraine).
9. Ivaniuta, S. P., & Kachynskiy, A. B. (2013). Ekolohichna bezpeka rehioniv Ukrainy porivnialni otsinky [Environmental safety of Ukrainian regions comparative assessments]. Stratehichni priorityty [Strategic priorities], 3 (28), (in Ukraine).

10. Kachynskiy, A. B. (2001). Ekolohichna bezpeka Ukrainy systemnyi analiz perspektiv pokrashchannia [Ukraine's environmental safety a systematic analysis of prospects for improvement]. NISD, Kyiv (in Ukraine).
11. Khvesyk, M. A. (editor), Stepanenko, A. V., & Obykhod, H. O. (2014). Ekolohichna i pryrodno-tekhnohenna bezpeka Ukrainy v rehionalnomu vymiri [Environmental and technogenic safety of Ukraine in the regional dimension]. Public Institution «Institute of Environmental Economics and Sustainable Development of the National Academy of Sciences of Ukraine», Kiev (in Ukraine).
12. Khylyk, M. I. (2017). Ekolohichna bezpeka Ukrainy [Ecological safety of Ukraine]. Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv (in Ukraine).
13. Krynychna I. P., & Kostenko V. O. (2017). Priorytety rehionalnoi polityky u sferi ekolohichnoi bezpeky Ukrainy (na prykladi dniproperetrovskoi oblasti) [Regional policy priorities in environmental security of Ukraine (as exemplified by Dnipropetrovsk region). Derzhavne budivnytstvo [State Formation], 1, 1-13. (in Ukrainian)
14. Kuuluvainen, T., & Gauthier, S. (2018). Young and old forest in the boreal: critical stages of ecosystem dynamics and management under global change. *Forest Ecosystems*, 5, 26 DOI: 10.1186/s40663-018-0142-2.
15. Kvitko, M. O., & Savosko, V. M. (2018). Ekolohichni osoblyvosti vidnosnogo zhyttievoho stanu lisovykh kulturfitotsenoziv Kryvorizhzhia [Ecological features of the relative life state of the forest plantations at Kryvorizhzhia]. Pytannia bioindykatsii ta ekolohii [Problems of Bioindication and Ecology], 23 (2), 34-57, doi: 10.26661/2312-2056/2018-23/2-03 (in Ukrainian).
16. Kvitko, M. O., Mogir, S. P., & Aleksandrova, O. A. (2019). Dosvid rozvytku ekolohichnoho vykhovannia v Kryvorizkii zahalnoosvitnii shkoli I–III stupeniv No108 [Experience of development of environmental education in Kryvyi Rih general school No108]. Ekolohichniy visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District], 4, 143–150, DOI: 10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2586 (in Ukrainian).
17. Lakyda, P. I. (2002). Fitomasa lisiv Ukrainy [Phytomass of Forests at Ukraine]. Zbruch, Ternopil. (in Ukrainian)
18. Lakyda, P. I., Shvydenko, A. Z., Shchepashchenko, D. H. (2013) Biotychna produktyvnist lisiv Ukrainy v yevropeiskomu ekoresurnomu vymiri [Biotic productivity of forests of Ukraine in the European ecoresource dimension]. Bioresursy i pryrodokorystuvannia [Bioresources and nature use], 5/6, 99-106. (in Ukrainian)
19. Lyisyiy, A. E., Ryizhenko, S. A., & Kozyatin, I. P. (2007). Ekologicheskie i sotsialnye problemy i puti ozdorovleniya krupnogo promyshlennogo regiona (na primere Krivorozhskogo zhelezorudnogo basseyina) [Environmental and social problems and improvement's ways of a large industrial region (on the example of Krivoy Rog iron ore basin)]. Etud Servis, Krivoy Rog. (in Russian)
20. Lykholat, Y. V., Khromykh, N. O., Didur, O. O., Okovytyy, S. I., Matyukha, V. L., Savosko, V. M., & Lykholat, T. Y. (2019). Suchasnyi stan antropohennoi transformatsii ekosystem stepovoho Prydniprovia [The current state of anthropogenic transformation of the steppe Dnieper' ecosystems]. Publishing house Cherniavskiy D., Kryvyi Rih (in Ukrainian).
21. Lykholat, Yu. V., Khromykh, N. O., & Alexeyeva, A. A. (2019). Stan invaziinosti Ulmus Pumila L. v urboekosystemi za klimatychnykh zmin [Condition of invasiveness of Ulmus pumila L. in urboecosystem because of climatic changes]. Ekolohichniy visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District], 4, 7–21, DOI: 10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2525 (in Ukrainian).
22. Lykholat, Yu. V., Khromykh, N., Ivanko, I., Kovalenko, I., Shupranova, L., & Kharytonov, M. (2016). Metabolic responses of steppe forest trees to altitude-as-sociated local environmental changes. *Agriculture and Forestry*, 62 (2), 163-171.

23. Lysychenko, H. V., Khmil, H.A., & Barbashev, S.V. (2011). Metodolohiia otsiniuvannia ekolohichnykh ryzykiv [Methodology for environmental risk assessment]. Astroprynt, Odesa (in Ukraine).
24. Miller, R. W., Hauer, R. J., & Werner, L. P. (2015). Urban forestry: Planning and managing urban green spaces. Waveland Press, USA.
25. Pavlychenko, A.V., Ulytskyi (editor), O.A., Yermakov, V.M., & Buzylo, V.I. (2014). Hidroheolohichni ta heomekhanichni faktory ekolohichnoi bezpeky navkolyshnoho seredovyscha v umovakh reformuvannia vuhilnoi haluzi [Hydrogeological and geo-mechanical factors of environmental safety in the conditions of coal industry reform]. Litohraf, Dnipropetrovsk (in Ukraine).
26. Rudko, H. I., & Hoshovskiy, S. V. (2006). Ekolohichna bezpeka tekhnopryrodnykh heosystem (naukovi i metodychni osnovy) [Ecological safety of techno-natural geosystems (scientific and methodological foundations): scientific monograph]. Nichlava, Kyiv (in Ukraine).
27. Savosko, V. M. & Kvitko, M. O. (2017). Suchasnyy zhyttyevyj stan lisovykh kulturfitocenozi Kryvorizhzhya [Current life state of cultivated forest community in Kryvorizhzhya]. Visnyk Lvivskoho universytetu Seriya biolohichna [Visnyk of the Lviv University Series Biology], 75, 75-82 (in Ukrainian).
28. Savosko, V. M., & Tovstolyak, N. V. (2017). Ecological conditions of garden and park territories of former iron mines (Kryvyi Rih Basin, Ukraine). Ukrainian Journal of Ecology, 7 (4), 12–17 (in Ukrainian).
29. Savosko, V. M., Kvitko, M. O., Grygoryuk, I. P., Serga, O. I., Lykholat, Yu. W. & Andrits'o M. O. (2018). Heterohennist biometrychnykh pokaznykiv lisovykh kulturfitotsenoziv v ekolohichnykh umovakh Kryvorizhzhya [Heterogeneity of biometric characteristics of cultivated forest communities in environmental conditions at Kryvorizhzhya]. Biorosursi i prirodokorystuvannâ [Biological Resources and Nature Management], 10 (1-2), 14-23, DOI: 10.31548/bio2018.01.002 (in Ukrainian).
30. Savosko, V. M., Kvitko, M. O., Lykholat, Yu. V., Grygoryuk, I. P., Bogach, E. M., & Yakubenko B. E. (2017). Ekoloho-bioheokhimichni markery zhyttievoho stanu derevnykh roslyn lisovykh kulturfitotsenoziv v umovakh stepu ta promyslovoho rehionu [The ecological and biogeochemical markers of vital state's arboreal plants in cultivated community at steppe and industrial region's conditions]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu biorosursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya «Biolohiia, biotekhnolohiia, ekolohiia» [Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Biology, Biotechnology, Ecology], 270, 44-52. (in Ukrainian).
31. Savosko, V., Lykholat, Yu., Domshyna, K., & Lykholat, T. (2018). Ekolohichna ta heolohichna zumovlenist poshyrennia derev i chaharnykyv na devastovanykh zemliakh Kryvorizhzhya [Ecological and geological determination of trees and shrubs' dispersal on the devastated lands at Kryvorizhzhya]. Journal of Geology, Geography and Geoecology, 27 (1), 116-130, DOI: 10.15421/111837 (in Ukraine).
32. Sokur, M. I., Shmandii, V. M., & Havrylov, P. S. (2011). Ekonomichni aspekty ekolohichnoi bezpeky [Economic aspects of environmental safety]. Private enterprise Shcherbatykh, Kremenchuk (in Ukraine).
33. Sytalo, S. H. (2008). Zabrudnennia dovkillia Kryvbasu ta yoho vplyv na zakhvoriuvanist naselennia [Air pollution of Krivoy Rog city and evaluation of influence of people health]. Dovkillia ta zdorovia [Environment & Health], 4, 31-34. (in Ukrainian)
34. Tkach, V. P. (1999). Zaplavni lisy Ukrainy [Floodplain forest of Ukraine]. Kharkiv, Pravo. (in Ukrainian)
35. Tkach, V. P. (2012). Lisy ta lisystist v Ukraini suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku [Forests and forest cover of Ukraine the current state and perspectives of development]. Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian geographical journal], 2, 49-55. (in Ukrainian)
36. Tkach, V. P., Kobets, O. V., & Rumiantsev M. G. (2018). Vykorystannia lisoroslynnoho po-

- tentsialu lisamy Ukrainy [Use of forest site capacity by forests of Ukraine]. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia* [Forestry and forest melioration], 132, 3-12. (in Ukrainian)
37. Trotska, M. V., Homlia, I. A., & Kovalenko, O. O. (2018). Ekolohichna bezpeka yak skladova natsionalnoi bezpeky Ukrainy cherez pryzmu mizhnarodnoho dosvidu [Environmental security as a component of the national security of Ukraine through the prism of international experience]. *Molodyi vchenyi* [Young Scientist], 10 (62), 248-251 (in Ukraine).
 38. Verma, P., & Raghubanshi, A. S. (2018). Urban sustainability indicators: challenges and opportunities. *Ecological Indicators*, 93, 282-291 DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.05.007.
 39. West, P. W. (2009). *Tree and Forest Measurement*. Springer-Verlag, Germany.
 40. Zahorodniuk, P. O. (2005). Ekolohichna bezpeka yak vazhlyva skladova natsionalnoi bezpeky Ukrainy [Environmental safety as an important component of Ukraine's national security]. *Ekolohiia dovkillia ta bezpeka zhyttiediialnosti* [Environmental ecology and life safety], 4, 5-12 (in Ukraine).
 41. Zerkalov, D. V. (2012). Ekolohichna bezpeka ta okhrona dovkillia [Environmental safety and environmental protection]. *Osnova*, Kyiv (in Ukraine).

M. O. Kvitko, V. M. Savosko, Yu. V. Likholat, I. P. Hrygoruk (2020) The ARTIFICIAL FOREST COMMUNITIES AS AN ENVIRONMENTAL FACTOR OF ECOLOGICAL SAFETY at KRYVYI RIH ORE-MINING AND METALLURGICAL DISTRICT. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 11(4):6-17. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/14535>. <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.04.001>.

Abstract. It is shown that the finding environment importance artificial forest communities are an important prerequisite for optimizing the state environment in the industrialized regions of Ukraine. The aim of this work is to analyze from the point of ecosystem approach to analyze artificial forest communities as a promising factor of ecological safety of the Kryvyi Rih mining and metallurgical region. The materials of the work were scientific publications and the results of their own field studies, which were performed during 2013-2019 on the territory of natural and artificially created forest phytocenoses, located in contrasting ecological conditions and representing the main varieties of tree plantations. It is proved that in the forest cultivar phytocenoses of the region tree species of plants are in a stressful state, because they are constantly affected by adverse environmental factors of natural and anthropogenic genesis. We have made the assumption that the artificial forest communities of the Kryvyi Rih region should become one of the key environmental factors that determine its ecological safety, both individually in this region and in Ukraine as a whole. To solve this problem, it is necessary to achieve optimal forest cover of Kryvyi Rih region (8-10%) by creating new plantations and taking into account scientific prerequisites and ordering existing ones. To solve this problem, it is necessary to achieve optimal forest cover of Kryvyi Rih region (8-10%) by creating new plantations and taking into account scientific prerequisites and ordering existing ones. To resolve this issue, it is necessary to achieve optimal forest cover of the Kryvyi Rih region (8-10%) by creating new forest plantations and arranging existing trees, taking into account the scientific prerequisites.

Keywords: artificial forest communities, ecological safety, dendrometric characteristics, forest cover, Kryvyi Rih district

ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИМІКРОБНОЇ ДІЇ ХІТОЗАНУ ТА БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ЙОГО ОСНОВІ

В. В. БОРОДАЙ, доктор сільськогосподарських наук, доцент
e-mail: veraboro@gmail.com, Orcid ID 0000-0002-8787-8646

О. В. СУБІН

Національний університет біоресурсів і природокористування України
e-mail: subin.oleksandr@gmail.com Orcid ID 0000-0001-6209-2439

А. Ф. ЛІХАНОВ, кандидат біологічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
e-mail: likhanov.bio@gmail.com, Orcid ID 0000-0001-6580-7241

Анотація. Завдяки великій кількості функціональних груп хітозан здатний взаємодіяти з іншими хімічними сполуками з утворенням полімерних комплексів з новими фізико-хімічними властивостями та біологічною активністю. Тому хітозан широко використовують у якості біополімерного носія для створення ефективних препаратів різної спрямованості та пролонгованої дії. На особливу увагу заслуговують композиції хітозану з природними біоконсервантами, які дають змогу отримувати перспективні засоби захисту рослин і сільськогосподарської продукції. Необхідність у безпечних і ефективних консервантах для продуктів харчової промисловості викликає підвищений інтерес до таких речовин, як сорбат, його сумісного використання з хітозаном. Упродовж останніх десятиріч сорбати та хітозан були випробувані й широко використовувались під час зберігання різних харчових продуктів у всьому світі. Маловивченими залишаються питання адаптагенної дії, антимікробної активності хітозану в поєднанні з іншими біологічно активними компонентами. Зважаючи на глобальну тенденцію до росту популярності органічного виробництва, вивчення механізмів дії хітозану та його сполук з органічними кислотами є перспективним напрямом досліджень у контролі патогенних мікроорганізмів за зберігання плодоовочевої продукції. Метою досліджень було вивчення ефективності комплексного застосування хітозану із сорбіновою кислотою щодо фітопатогенних мікроорганізмів. У дослідженнях використовували загально прийняті в мікробіології та фітопатології методи. Встановлено специфічність антимікробної активності та пролонгованості дії хітозану, сорбінової кислоти та їхні композиції щодо різних ізолятів та штамів фітопатогенних мікроорганізмів. Досліджено бактеріостатичний ефект композиції хітозану та сорбінової кислоти у варіанті з бактеріальними ізолятами, який спостерігався впродовж 5 днів. Композиція хітозану та сорбінової кислоти пригнічувала ріст міцелію ізолятів збудників родів *Fusarium* та *Alternaria*.

Ключові слова: хітозан, сорбінова кислота, фітопатогенні мікроорганізми, антимікробна дія.

Вступ.

Суниця садова (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) є однією з найважливіших комерційно вирощуваних плодових культур у світі. Виробництво суниці в Європейському Союзі, за даними FAOstat, за останні 15 років зменшилося приблизно на 6 %, незважаючи на збереження площ, де культура вирощується (Wenneker et al., 2017). Це спричинено серйозними спалахами розвитку шкідників та хвороб суниці. За змін клімату та значного антропогенного навантаження на довкілля спостерігається розширення спектру уражуваних рослин патогенними бактеріями, які мають як поліфагову, так і монофагову природу, підвищення рівня агресивності бактерій, які раніше вважалися умовно патогенними (Bull et al., 2009; Гвоздяк Р.І. та ін., 2011; Atanasova et al., 2012; Suharjo et al., 2014). Так, у 2003 році було зафіксовано масове ураження суниці (*Fragaria vesca*) у період цвітіння в США, спричинене *Pseudomonas marginalis* з подальшим погіршенням якості плодів (Bull et al., 2009).

У 2013 році в Нідерландах методом ПЛР у реальному часі було ідентифіковано бактерії *Erwinia pyrifoliae*, що спричинили інтенсивне почорніння незрілих плодів, плодових чашечок та квітконосів суниці, затримання розвитку та деформування плодів, втрату до 40 % врожаю (Wenneker et al., 2017).

Одним із перспективних способів збільшення термінів зберігання і зниження втрат плодоовочевої продукції є використання безпечних для вживання покриттів на основі хітозану і його похідних. Ці покриття забезпечують напівпроникний бар'єр для кисню, вуглекислого газу (CO₂), зни-

жують інтенсивність дихання. Крім того, хітозан має виражені антибактеріальні та фунгіцидні властивості, що сприяло його застосуванню в якості біофунгіциду в різних галузях промисловості. Так, доведена ефективність використання хітозану в якості біофунгіциду за органічного вирощування суниці для зниження втрат і подовження термінів зберігання плодів. З огляду на його високу ефективність і здатність створювати харчову плівку пролонгованої антимікробної дії, була розроблена технологія створення захисного «харчового» полімерного покриття для плодів суниці. Створення на поверхні плодів плівки з біофунгіциду хітозану (1 % розчин) сприяло підвищенню товарної якості і збільшення термінів зберігання із 7 до 11 днів, у залежності генотипу, зниженню кількості плодів, уражених фітопатогенами, зменшенню природних втрат маси, 90,48 % виходу стандартних плодів через 9 днів зберігання (Новикова и др., 2019).

Упродовж останніх десятиріч сорбати та хітозан були випробувані та широко використовувалися під час зберігання різних харчових продуктів у всьому світі (Sofos, Bušta, 1981; Jiang, Neetoo, Chen, 2011; Malhotra, Keshwani, Kharkwal, 2015; Hu et al., 2017). Необхідність безпечних і ефективних харчових консервантів у харчовій промисловості викликали підвищений інтерес до таких консервантів, як сорбат, його сумісного використання з хітозаном (Stratfordn, Plumridge, Nebe-von-Caron, Archer B., 2009; Wang, Sun, 2016). Так, досліджено антибактеріальну дію монолауріна, сорбінової кислоти та сорбата калію на розвиток патогенних бактерій *Escherichia coli* та *Staphylococcus aureus* за різних значень рН і кон-

центраціях NaCl (Zare et. al., 2014). Сорбінову кислоту (в різних концентраціях) широко використовують як антибактеріальний засіб у харчовій промисловості (Amin Zare et. al., 2014). В Україні дію сорбінової кислоти (0,05 % розчин) досліджували для захисту капусти броколі проти комплексу збудників хвороб і збереження її до 45 днів (Pusik et. al., 2018). Водночас спостерігали зниження розвитку патогенів, зменшення втрат продукції.

Завдяки великій кількості функціональних груп у хітозані забезпечується можливість утворення між біополімером та іншими хімічними сполуками зв'язків різної міцності, що дає змогу регулювати швидкість виходу препарату і його активність. Тому хітозан широко використовують у якості біологічного носія препаратів, що розкладається, різної спрямованості, що забезпечує їхню ефективну і пролонговану дію. Показано, що нанодисперсні частинки діоксиду церію завдяки слабким взаємодіям утворюють із хітозаном специфічні комплекси, які мають високу біологічну активність. У разі короткочасного замочування насіння модельних культур *Triticum aestivum* L. і *Pisum sativum* L. в 0,1 % розчині комплексу діоксиду церію з хітозаном (ДЦХ) їхня енергія проростання підвищувалася на 20-25 %. Наночастинки розміром 2-4 нм і негативним ζ -потенціалом (-20 мВ) здатні досить легко долати тканинні бар'єри і проникати в живі тканини, втім, підвищення концентрації діоксиду церію в тканинах рослин може негативно впливати на окисно-відновні процеси (Pinchuk et al., 2017). Хітозан утримує активні сполуки діоксиду церію і вивільнює їх поступово. У такий спосіб забезпечується пролонгова-

ність дії активного комплексу з одночасним зниженням небажаних цитотоксичних ефектів.

Відповідно до теорії переносу води в рослинних тканинах швидкість транслокації незв'язаних частинок діоксиду церію по апопласту може в десятки разів перевищувати їхнє переміщення по симпласту. Рухаючись по міжклітинниках, наночастинки можуть втрачати заряд ζ -потенціал. Це значно знижує їхню хімічну активність, проте, збільшує проникну здатність. За результатами наших досліджень хітозан-церієві комплекси мають широкі перспективи для використання в рослинництві в якості засобів з імуномодельюючою і протівirusною діями. На особливу увагу також заслуговують композиції хітозану з природними біоконсервантами, які дають змогу за поєднанням фізико-хімічних і біологічних властивостей отримувати перспективні засоби захисту рослин і сільськогосподарської продукції.

Маловивченими залишаються питання адаптагенної дії, антимікробної активності хітозану в поєднанні з біологічно активними компонентами.

Метою досліджень було вивчення антибіотичних властивостей хітозану в комплексі із сорбіновою кислотою.

Матеріали і методи досліджень.

Ізоляти збудників бактеріозів та мікозів плодовоовочевої продукції (PP-43, PSP-31, PP-43) були виділені з уражених зразків різних рослин та досліджені згідно з загальноновизнаними в бактеріології та мікології методами (Бельтюкова та ін., 1968; Герхард та ін., 1983; Попкова, Шмыгля, 1987; Билай и др., 1988).

Також використовували штами бактерій *Pectobacterium carotovorum*

subsp. *carotovorum* (Pcc) 8982 та *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* (Cms) 7750 колекції Інституту мікробіології і вірусології. Виділені ізоляти мікроміцетів були ідентифіковані як збудники мікозів (родів *Fusarium* та *Alternaria*). Культури мікроорганізмів зберігалися на картопляно-декстрозному агарі за температури 5 °C. Визначення антимікробної дії досліджуваних речовин проводили модифікованим експрес-методом лунок (Методи експериментальної мікології, 1982; Фітопатогенні бактерії. Методи досліджень, 2017).

Дослідження проводилися за такою схемою: 1 – контроль (H₂O), 2 – хітозан (0,1-10 % w/v), 3 – сорбінова кислота (0,2-0,4 %), 4 – хімічним еталомом у дослідженнях із мікроміцетами був 0,1 % розчин системного фунгіциду Фундазол 50 % з.п.; з ізолятами бактерій – антибіотик азитроміцин (розчини речовин готували згідно з інструкціями виробника); 5 – суміш хітозану (0,2-0,4 %), сорбінової кислоти (0,2-0,4 %) і води (1:1), 6

– суміш хітозану (0,2-0,4 %), сорбінової кислоти (0,2-0,4 %) і води (1 : 0,5), 7 – суміш хітозану (0,2-0,4 %) і сорбінової кислоти (0,2-0,4 %). Досліди проводили в 3-5 повторностях. Розрахунки і статистичну обробку отриманих даних виконували за допомогою комп'ютерних програм Statistica 6.0 та Microsoft Excel.

Результати досліджень та їх обговорення.

Встановлено диференціацію антибактеріальної активності та пролонгованості дії хітозану, сорбінової кислоти та їхні суміші щодо різних ізолятів та штамів фітопатогенних бактерій (табл. 1).

Так, спостерігався бактеріостатичний ефект суміші хітозану та сорбінової кислоти у варіанті з бактеріальними ізолятами PSP-31 та PSP-33, який було відмічено й на 5 день експозиції культур. У певних ізолятів PP-42 та PSP-35 спостерігали антибактеріальну дію окремо хітозану

1. Антибактеріальна активність хітозану та сорбінової кислоти

№ п/п	Варіанти дослідів	Діаметр зони відсутності росту (мм) штамів збудників навколо лунок з розчинами, на 2-й день експозиції				
		Ізолят PC-52	Ізолят PP-43	Ізолят PSP-31	Cms 7750	Pcc 8982
1	Контроль (вода)	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
2	Хітозан (0,1-0,3 %)	+	2,4 ±0,03*	7,0±0,03	5,0±0,12	3,0±0,04
3	Сорбінова кислота (СК), 0,2-0,4 %	3,0±0,01	2,4±0,01	3,0±0,02	4,0±0,25	4,0±0,03
4	Хімічний еталон, 0,1%	20,6±2,13	16,4±1,03	18,4±0,14	25,0±3,2	15,0±2,13
5	Хітозан (0,2-0,5 %) + СК (0,2-0,4 %) + H ₂ O (1 : 1)	++	3,0±0,01	8,2±0,04	5,5±0,02	6,2±0,04
6	Хітозан (0,2 %-0,5 %) + СК (0,2-0,4 %) + H ₂ O (1 : 0,5)	+++	5,1±0,02	8,4±0,01	6,3±1,2	7,5±1,12
7	Хітозан (0,2 %-0,5 %) + СК (0,2-0,4 %)	+++	6,4±0,11	9,6±0,03	7,4±1,01	6,0±0,05

+ – відмічається зменшення щільності колоній, менш інтенсивне наростання біомаси клітин

Примітка. *Різниця між експериментом і контролем достовірна за $p < 0,05$, результати представлені як $M \pm n$, $n=5$

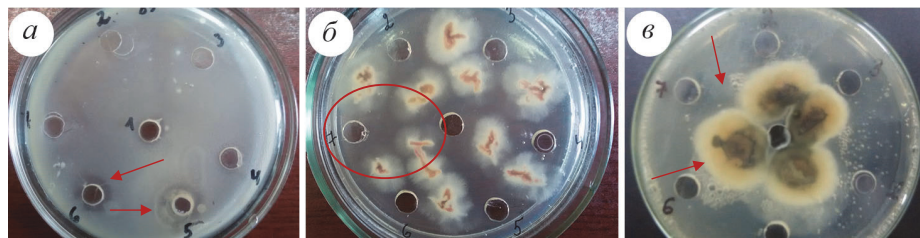


Рис. 1. Дослідження антимікробної дії хітозану та його суміші з сорбіновою кислотою: а - Бактеріальний ізолят PSP-31 на 5 день експозиції; б - Ізоляти мікроміцетів роду *Fusarium* на 3 день експозиції; в - Ізоляти мікроміцетів роду *Alternaria* на 4 день експозиції.

(діаметр зони відсутності росту становив 17,6 мм) та бактеріостатичну дію окремо сорбінової кислоти. На 6 день експозиції у варіанті із сумішшю хітозану, сорбінової кислоти та дистильованої води у співвідношенні 1 : 0,5 діаметр зони відсутності росту штамів збудника бактеріальної гнилі картоплі становив 6,4 мм.

За використання окремо хітозану та сорбінової кислоти у досліді з різними бактеріальними ізолятами, діаметр зони відсутності росту навколо лунок

із розчинами ізоляту PSP-31 збудників коливався в межах 2,4-7,0 мм, у той час як у варіантах із композицією речовин – відповідно 8,2-9,6 мм (рис. 1).

У певних ізолятів було відмічено зменшення щільності колоній, менш інтенсивне наростання біомаси клітин у варіантах із композицією.

Композиція хітозану та сорбінової кислоти сприяла пригніченню росту міцелію ізолятів збудників мікозів (родів *Fusarium* та *Alternaria*). Діаметр зони відсутності росту навколо лунок

2. Антифунгальна активність хітозану та сорбінової кислоти

№ п/п	Варіанти дослідів	Діаметр зони відсутності росту (мм) штамів збудників навколо лунок з розчинами на 3-й день експозиції				
		Fusarium spp.			Alternaria spp.	
		ІЗ FO-21	ІЗ FO-23	ІЗ FS-14	ІЗ AT-35	ІЗ AT-37
1	Контроль (вода)	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
2	Хітозан (0,1-0,3%)	8,5±0,6	+	8,0±1,2	14,1±1,3	9,1±1,1
3	Сорбінова кислота (СК), 0,2-0,4%	4,9±0,1	+	6,8±1,1	12,3±1,1	6,8±0,7
4	Хімічний еталон, 0,1%	13,6±1,3	11,6±1,3	12,4±1,3	19,4±1,2	12,9±1,2
5	Хітозан (0,2-0,5%)+ СК (0,2-0,4%) + H ₂ O (1:1)	9,5±0,3	++	8,4±0,2	15,8±0,8	9,6±0,4
6	Хітозан (0,2%-0,5%)+ СК (0,2-0,4%)+ H ₂ O (1:0,5)	10,6±0,7	+++	10,8±0,1	15,3±1,4	11,7±0,5
7	Хітозан (0,2%-0,5%) + СК (0,2-0,4%)	9,0±1,1	++	9,6±0,4	18,6±1,5	16,4±1,3

+ - відмічається послаблення інтенсивності розвитку міцелію і спороношення

Примітка. *Різниця між експериментом і контролем достовірна за $p < 0,05$, результати представлені як $M \pm n$, $n=3$

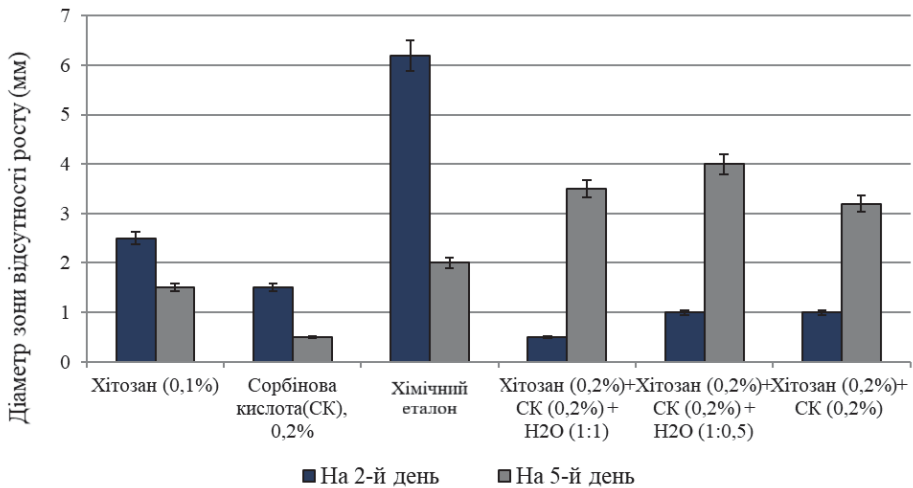


Рис. 2. Пролонгована антибактеріальна дія хітозану, сорбінової кислоти та їх композицій щодо ізоляту збудника бактеріозів

із розчинами на 3 день експозиції у варіантах окремо з хітозаном та сорбіновою кислотою ізолятів збудників ІЗ FO -23 та ІЗ FS-14 коливався в межах 4,9-8,5 мм, ІЗ AT-35 та ІЗ AT-37 – 6,8-14,1 мм (табл. 2, рис. 1).

Суміш речовин пригнічувала ріст міцелію, водночас діаметр зони відсутності росту становив 8,4-10,8 мм та 9,6-18,6 мм відповідно, що свідчить про синергичний ефект взаємодії речовин щодо фітопатогенних мікроміцетів. В ізоляту ІЗ FO-21 спостерігали послаблення інтенсивності розвитку міцелію і спороношення.

Результати досліджень, представлені на рисунку 2 свідчать про пролонговану антибактеріальну дію хітозану та сорбінової кислоти щодо ізоляту збудника бактеріозів. На 5 день експозиції запропонована композиція стримувала ріст бактеріальних колоній у більшому ступені порівняно з хімічним еталоном.

Пролонгована дія суміші компонентів має велике значення за тривалого зберігання рослинної продукції. Так,

досліджено, що рослинна продукція збільшує термін зберігання за використання хітозану. Внаслідок утворення напівпроникної плівки регулюється газообмін і зменшуються втрати від транспірації, може затримуватись дозрівання плодів (Oliveira, 2016).

Зважаючи на глобальну тенденцію до поступового переходу до органічного виробництва, вивчення механізмів дії хітозану та його сполук з органічними кислотами є перспективним напрямом досліджень у контролі патогенних мікроорганізмів за зберігання плодоовочевої продукції.

Висновки.

Доведено диференціацію антимікробної активності та пролонгованості дії хітозану, сорбінової кислоти та їх суміші щодо різних ізолятів та штамів фітопатогенних мікроорганізмів. Встановлено бактеріостатичний ефект суміші хітозану та сорбінової кислоти у варіанті з бактеріальними ізолятами, який спостерігався впродовж 5 днів

експозиції культур. Композиція хітозану та сорбінової кислоти сприяє пригніченню росту міцелію ізолятів збудників родів *Fusarium* та *Alternaria*.

References

1. Wenneker, M., Bergsma-Vlami, M., & van der Steen, J. (2017). Epidemiology of *Erwinia pyrifoliae*, a new pathogen on strawberry in The Netherlands. *Acta Horticulturae*, (1156), 721-726. doi: 10.17660/actahortic.2017.1156.106
2. Bull, C., Huerta, A., & Koike, S. (2009). First Report of Blossom Blight of Strawberry (*Fragaria × ananassa*) Caused by *Pseudomonas marginalis*. *Plant Disease*, 93(12), 1350-1350. doi: 10.1094/pdis-93-12-1350b
3. Hvozdyak, R., Pasichnyk, L., Yakovleva, L., Moroz, S., Lytvynchuk, O., & Zhytkevych, N. et al. (2011). Pathogenic bacteria. Bacterial diseases of plants (V. 1., p. 444). Kyiv: LLC 'NVP' Interservis'.
4. Atanasova, I., Urshev, Z., Hristova, P., Bogatzevska, N., & Moncheva, P. (2012). Characterization of *Erwinia amylovora* Strains from Bulgaria by Pulsed-Field Gel Electrophoresis. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 67(3-4), 187-194. doi: 10.1515/znc-2012-3-411
5. Suharjo, R., Sawada, H., & Takikawa, Y. (2014). Phylogenetic study of Japanese *Dickeya* spp. and development of new rapid identification methods using PCR-RFLP. *Journal Of General Plant Pathology*, 80(3), 237-254. doi: 10.1007/s10327-014-0511-9
6. Novikova, I., Blinnikova, O., Usova, G., & Eliseeva, L. (2019). The formation of consumer properties of strawberries of garden organic production as a safe raw material for the production of healthy food. *Technologies for the food and processing industry of aic - healthy food*, 4, 60-66.
7. Sofos, J., & Busta, F. (1981). Antimicrobial Activity of Sorbate. *Journal Of Food Protection*, 44(8), 614-622. doi: 10.4315/0362-028x-44.8.614
8. Jiang, Z., Neetoo, H., & Chen, H. (2010). Control of *Listeria Monocytogenes* on Cold-Smoked Salmon Using Chitosan-Based Antimicrobial Coatings and Films. *Journal Of Food Science*, 76(1), M22-M26. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01925.x
9. Malhotra, B., Keshwani, A., & Kharkwal, H. (2015). Antimicrobial food packaging: potential and pitfalls. *Frontiers In Microbiology*, 6. doi: 10.3389/fmicb.2015.00611
10. Hu, S., Yu, J., Wang, Z., Li, L., Du, Y., Wang, L., & Liu, Y. (2017). Effects of Sorbic Acid-Chitosan Microcapsules as Antimicrobial Agent on the Properties of Ethylene Vinyl Alcohol Copolymer Film for Food Packaging. *J. Food Sci.*, 82(6), 1451-1460. doi: 10.1111/1750-3841.13731
11. Stratford, M., Plumridge, A., Nebe-von-Caron, G., & Archer, D. (2009). Inhibition of spoilage mould conidia by acetic acid and sorbic acid involves different modes of action, requiring modification of the classical weak-acid theory. *International Journal Of Food Microbiology*, 136(1), 37-43. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2009.09.025
12. Wang, W., & Sun, Y. (2016). Preservation effect of meat product by natural antioxidant tea polyphenol. *Cellular And Molecular Biology*, 62(13), 44. doi: 10.14715/cmb/2016.62.13.8
13. Amin Zare, M., Razavi Rohani, S., Raeisi, M., Javadi Hosseini, S., & Hashemi, M. (2014). Antibacterial Effects of Monolaurin, Sorbic Acid and Potassium Sorbate on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Journal Of Food Quality And Hazards Contro*, 1, 52-55.
14. Pusik, L., Pusik, V., Lyubymova, N., Bondarenko, V., Gaevaya, L., & Sergienko, O. et al. (2018). Study into formation of nutritional value of cauliflower depending on the agrobiological factors. *Eastern-European Journal Of Enterprics Technologies*, 6 11(96), 1-14. doi: 10.15587/1729-4061.2018.147748
15. Pinchuk A.P., Likhanov A.F., Babenko L.P., Kryvtsova M.V., Demchenko O.A., & Sherbakov O. B. et al. (2017) The influence of ceri-

- um dioxide nanoparticles on germination of seeds and plastic exchange of pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.). *Biotechnologia Acta*, 10(5), 63-71. doi:10.15407/biotech10.05.063
16. Bel'tjukova, K., Matyshevskaja, M., Kulikovskaja, M., & Sidorenko, S. (1968). *Metody issledovanija vzbuditel'nej boleznej rastenij* (p. 316). Kyiv: Naukova Dymka.
17. Gerhardt, E. (1983). *Metody obshhej bakterologii* (p. 536). Moskva: Mir.
18. Popkova, K., & Shmyglja, V. (1987). *Metody opredelenija boleznej i vreditelej sel'sko-hozjajstvennyh rastenij* (p. 223). Moskva: Agropromizdat.
19. Bilaj, V. I. (1988). *Mikroorganizmy - vzbuditeli boleznej rastenij: Spravochnik* (p. 549). Kyiv: Nauk. dumka.
20. Bilaj, V. (1982). *Metody jeksperimental'noj mikologii* (p. 550). Kyiv: Nauk. dumka.
21. Patyka, V., Pasichnyk, L., Gvozdyak, R., Petrychenko, V., Kalinichenko, A., & Kornychuk, O. et al. (2017). *Phytopathogenic bacteria. Research methods* (p. 432). Vinnytsya: Vindruk.
22. De Oliveira Junior, E. (2016). Effect of chitosan on postharvest quality of plant products. In S. Sultan, *Fungal Pathogenicity* (pp. 61-81). InTech Open.

V. V. Borodai, O. V. Subin, A. F. Likhanov (2020). STUDY OF ANTIMICROBIAL ACTION OF CHITOSAN AND BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOSITIONS BASED ON IT. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 11(3): 18-25. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/14537>. <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.04.002>.

Abstract. Due to the large number of functional groups in chitosan is provide the possibility of formation bonds with chemical compounds, which allows you to create polymeric complexes with new physicochemical properties and biological activity. Therefore, chitosan is widely used as a biopolymeric carrier of degradable preparation of different orientation, which ensures their effective and prolonged action. Compositions of chitosan with natural biopreservatives, which allow to obtain promising plant protection products and agricultural products, deserve special attention. Recent developments, as well as the need for safe, practical and effective food preservatives have aroused increased interest in substances such as sorbate and its combined use with chitosan. In recent decades, sorbate and chitosan have been tested and widely used in the storage of various foods around the world. The issues of adaptogenic action, antimicrobial activity of chitosan in combination with biologically active components remain little studied in Ukraine. Given the global trend towards a gradual transition to organic production, the study of the mechanisms of action of chitosan and its compounds with organic acids is a promising area of research in the control of pathogenic microorganisms for storage of fruits and vegetables. The aim of the study was to study the effectiveness of the integrated use of chitosan with sorbic acid against phytopathogenic microorganisms. The research used methods generally accepted in microbiology and phytopathology. Specificity of antimicrobial activity and prolongation of action of chitosan, sorbic acid and their mixture with respect to different isolates and strains of phytopathogenic microorganisms has been established. The bacteriostatic effect of a mixture of chitosan and sorbic acid in the variant with bacterial isolates, which was observed during 5 days was investigated. The composition of chitosan and sorbic acid contributed to the inhibition of mycelial growth of isolates of pathogens of the genera *Fusarium* and *Alternaria*

Keywords: chitosan, sorbic acid, phytopathogenic microorganisms, antimicrobial action

ПОБІЧНА ПРОДУКЦІЯ РИСІВНИЦТВА – БІОЛОГІЧНА СИРОВИНА ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ

¹**Г.М. МАРУЩАК**, кандидат сільськогосподарських наук,

²**М.М. ЛІСОВИЙ**, доктор сільськогосподарських наук
<https://orcid.org/0000-0002-7289-1098>

³**С.В. ФЕДОРЧУК**, кандидат сільськогосподарських наук,

³**Т.В. КЛИМЕНКО**, кандидат сільськогосподарських наук,
[https:// orcid id 0000-0002-2071-6802](https://orcid.org/0000-0002-2071-6802)

³**О.І. ТРЕМБИЦЬКА**, кандидат сільськогосподарських наук
[https://orcid id 0000-0003-1152-0215](https://orcid.org/0000-0003-1152-0215)

E-mail: lisova106@ukr.net

Анотація. Зроблено акцент на ефективності виробництва альтернативних видів біопалива шляхом раціонального підбору видів та інтенсивності формування рослинами біомаси відповідного хімічного складу.

Визначено, що сприятливі природно-кліматичні умови Півдня України, наявність побудованих рисових зрошувальних систем дають можливість одержувати високі врожаї високоякісного зерна рису, одночасно утворюються значні обсяги побічної продукції у вигляді соломи, лузги, мучки, які є джерелом сировини для твердого біопалива.

Мета роботи: дослідити побічну продукцію рисівництва як джерело біоенергетичної рослинної сировини для альтернативного виробництва енергії в якості твердого біопалива.

Матеріали та методи. Для встановлення впливу основних агротехнічних заходів вирощування сучасних сортів рису на Півдні України на якісні показники зерна та сировини для біопалива було проведено польові досліді на полях Інституту рису НААН.

¹ Інститут рису НААН,

² Національний університет біоресурсів і природокористування України,

³ Житомирський національний агроекологічний університет,

Результати. Оцінка біоенергетичного потенціалу сортів рису показала, що найбільшими значеннями виходу енергії за умов використання побічної продукції (соломи та лузги) характеризуються сорти Віконт і Преміум, які досліджували для встановлення впливу агротехнічних чинників на формування продуктивності рису для споживання кінцевої продукції в їжу та використання соломи та лузги як джерела біоенергетичної рослинної сировини в якості твердого біопалива.

Для оцінки впливу агротехнічних чинників на технологію виробництва рису проведено економічну оцінку, яка є результатом польових досліджень і початковим етапом впровадження цих результатів у виробництво. Прибуток від реалізації крупи й побічної продукції склав від 0,32 до 7,9 тис. грн на одиницю площі за вирощування сорту Віконт і від 0,60 до 3,81 тис. грн для Преміуму.

Висновки. Найбільші врожаї зерна рису сформовано за внесення мінеральних добрив дозою N180P60K0 за норми висіву 9 млн схожого насіння на гектар для сортів рису Віконт і Преміум на рівні 9 і 8 т/га відповідно. Отже, оптимальне поєднання агротехнічних заходів вирощування рису дає змогу отримати високі врожаї культури, одночасно утворюються значні обсяги побічної продукції, придатної для подальшого використання.

Ключові слова: рис, біопаливо, побічна продукція, біомаса, біоенергетика.

Актуальність.

Нестача енергетичних ресурсів – проблема, яка останнім часом особливо гостро постає перед людством, спонукає вчених вести активний пошук ефективних заміників традиційних джерел енергії. Одним із найперспективніших способів одержання енергії є її акумулювання біомасою. Ефективність виробництва альтернативних видів біопалива визначається раціональним підбором видів та інтенсивність формування рослинами біомаси відповідного хімічного складу (А. Вауен ат алл, 2009; Чміль А.І., 1995). Зважаючи на залежність від імпорту газу, вартість якого за останні п'ять років в Україні зросла втричі, потрібно вести пошук альтернативних джерел і впроваджувати потужну політику енергоефек-

тивності та енергозбереження. Низка програм, постанов, розроблених і прийнятих у нашій державі, зумовлені пошуками альтернативних джерел енергії та створенням енергоємних технологій, що передбачено в Енергетичній стратегії України на період до 2030 року. Нині країна імпортує 60 % енергоносіїв, а до 2030 року ця залежність має зменшитися до 11 % (Energy strategy of Ukraine till 2030).

Агропромислове виробництво в Україні має значний потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. Основними його складовими є енергетичні культури та сільськогосподарські відходи. Серед останніх найбільший енергетичний потенціал мають відходи виробництва соняшнику (стебла, лушпиння), дещо менший – відходи виробництва гречки та рису (А. Вауен et al, 2009).

Невід’ємною складовою зерна рису є лузга, яка відділяється від зерна в процесі його переробки. У частці кількість лузги становить 15–20 % від загальної маси зерна рису. Оскільки деструкція рисової лузги дуже тривалий процес, її заорювання в ґрунт для його рекультивації проблему утилізації не вирішує, аналогічна ситуація з використанням цього виду побічної продукції галузі для підсилення підтопленої території. Отже, щорічно поновлюється велика кількість цінної енергетичної рослинної сировини, яка досі не знаходила ефективного використання.

В Україні більшу частину рисової соломи спалюють, хоча є рекомендації щодо використання її в якості кормів, добрив, будівельних матеріалів. За кордоном із рисової соломи виготовляють різноманітні плетені вироби – кошики, капелюхи, сандалії, циновки й навіть мішки. Для цього використовують переважно соломку глютинозних сортів рису, оскільки вона тонша та міцніша за соломку звичайних сортів культури.

З огляду на досить суттєвий перелік способів використання побічної продукції рисівництва, не повинно бути проблеми утилізації відходів, проте через низку причин, які поєднують економічні та соціальні чинники, більшість із них не знаходить практичного застосування (Ferrero A., Nguyen V.N., 2004; R. Perlack et al., 2005). Найчастіше виробники навіть не знають про можливості використання соломи, лузги та мучки в якості сировини для промисловості. Однак головною причиною залишається відсутність комплексних технологій, які б враховували регіональні умови, хоча доступний досить великий об’єм інформації щодо багатьох

процесів переробки та потрібен відносно невеликий обсяг даних для розробки технологічних параметрів виробництва.

Мета роботи: дослідити побічну продукцію рисівництва як джерело біоенергетичної рослинної сировини для альтернативного виробництва енергії в якості твердого біопалива.

Матеріали та методи.

Для встановлення впливу основних агротехнічних заходів вирощування сучасних сортів рису на Півдні України на якісні показники зерна та сировини для біопалива було проведено польові дослідження на полях Інституту рису НААН у зоні дії Краснознам’янської зрошувальної системи. Технологія вирощування культури за проведення досліджень відповідала рекомендаціям Інституту рису НААН, агротехнічні заходи та рівень механізації в досліді – типові для рисосійних господарств Півдня України за виключенням чинників, що досліджували. Ґрунт дослідних ділянок лучно-каштановий середньосуглинковий залишковосолонцюватий. В орному шарі його міститься гумусу – 2,27 %, легкогідролізованого азоту за Тюриним-Коновою – 4,8 мг/100 г ґрунту, рухомих фосфору – 3,9, калію – 31 мг/100 г ґрунту за Мачигінім, рН водного витягу – 7,9. Сівбу насіння рису проводили сівалкою Клен 1,5 С. Збирали врожай прямим комбайнуванням малогабаритним комбайном “Yanmar” з подальшим доведенням зерна до стандартних показників: 100 % чистоти та 14 % вологості. Результати досліджень обраховували методом дисперсійного аналізу за допомогою прикладних комп’ютерних програм MSExcel і Statistica 5.0.

Результати та обговорення.

Оцінка біоенергетичного потенціалу сортів рису (табл. 1) показала, що найбільшими значеннями виходу енергії за умов використання побічної продукції (соломи та лузги) характеризуються сорти Віконт і Преміум, які досліджували для встановлення впливу агротехнічних чинників на формування продуктивності рису для споживання кінцевої продукції в їжу та використання соломи та лузги як джерела біоенергетичної рослинної сировини в якості твердо-го біопалива.

Сприятливі природно-кліматичні умови Півдня України, наявність побудованих рисових зрошувальних систем дають можливість отримувати високі врожаї високоякісного зерна рису, водночас утворюються значні обсяги побічної продукції у вигляді соломи, лузги, мучки, які є джерелом сировини для твердо-го біопалива (R. Perlack, Wright, A., Turhollow et al., 2005). В Україні за площі вирощування рису 22–25 тис. га валові збори рису-сирцю у 2012

році становили 159,8 тис. т, а у 2013 році – 145,1 тис. т. Так, валовий збір рисової соломи перебуває на рівні 160 тис. т., за умови використання її як джерела альтернативної енергії, рисосійні регіони України могли б отримати теплову енергію, еквівалентну її кількості, яка виділяється за спалювання 62 млн м³ газу (Energy strategy of Ukraine till 2030).

У середньому за три роки рівень урожайності в досліді коливався в межах 4,36–9,53 т/га (табл. 2), необхідно зазначити, що більші врожаї були сформовані сортом рису Віконт порівняно із сортом Преміум, у середньому за дослідом 7,54 та 6,38 т/га відповідно. Згідно з отриманими даними, урожайність досліджуваних сортів рису перебувала в прямій залежності від внесення мінеральних добрив і норми висіву насіння.

Так, найнижче значення цього показника виявлено за мінімальних значень досліджуваних чинників – 6,17 та 4,36 т/га відповідно для сортів Віконт та Преміум. У разі збільшення норми висіву насіння сорту рису Віконт на фоні N₀P₀K₀ спостерігало-

1. Загальний урожай сирцю та побічної продукції різних сортів рису

Сорти	Урожай (т/га)	Кількість (т/га)	
		лузга	солома
Пам'яті Гичкіна	8.03	1.48	12.32
Янтарний	6.48	1.23	10.27
Агат	7.00	1.08	10.36
Престиж	7.04	1.26	9.38
Серпневий	8.81	1.57	14.08
Преміум	8.82	1.65	19.36
Віконт	9.11	1.62	17.29
Онтаріо	9.63	1.60	15.36
Україна-96	7.82	1.46	15.60
НІР = 0.05	0.54	0.19	0.83

2. Урожайність рису залежно від сорту, фону живлення і норми висіву культури, т/га (середнє за 2011 – 2012 рр.)

Сорт Фактор А	Норма висі- ву, млн. шт./ га (фактор С)	Доза добрив (фактор В)			Середнє по факто- ру А	Середнє по факто- ру С
		N ₀ P ₀ K ₀	N ₉₀ P ₃₀ K ₀	N ₁₈₀ P ₆₀ K ₀		
Віконт	5	6.17	6.95	7.60	7.54	6.58
	7	6.90	7.58	8.62		7.01
	9	6.78	7.69	9.53		7.28
Преміум	5	4.36	6.87	7.54	6.38	
	7	4.51	6.40	8.10		
	9	4.99	6.15	8.53		
Середнє по фактору В		5.62	6.94	8.32		

ся зменшення врожаю зерна, проте, різниця між варіантами перебуває в межах НІР. Найбільші врожаї сформовано на фоні живлення $N_{180}P_{60}K_{0}$ за норми висіву 9 млн схожого насіння на гектар для сортів рису Віконт і Преміум на рівні відповідно 9 і 8 т/га.

Встановлено, що кількість побічної продукції рисівництва пропорційна величині отриманого врожаю зерна. Середня кількість соломи в досліді за два роки становила 7,13 т/га, хоча для сорту Віконт найбільше значення цього показника становить 12,26 т/га, а для сорту Преміум – 8,01 т/га (табл. 3).

Необхідно зазначити, що підвищення фону живлення спричинило збільшення кількості соломи для обох досліджуваних сортів рису: у сорту Віконт у середньому в 1,4 рази, а в сорту Преміум – в 1,3 рази. Підвищення норми висіву для сорту Віконт у варіантах із внесенням добрив $N_{90}P_{30}K_{0}$, $N_{180}P_{60}K_{0}$ призвело до збільшення кількості соломи в середньому на 14 %, однак для сорту Преміум цей приріст був незначним, за виключенням варіанту $N_{90}P_{30}K_{0}$ за норми висіву насіння 9 млн шт./га, у якому відбулося зменшення кількості соломи на 27 %.

За вирощування рису та подальшої переробки зерна утворюються багатонажні відходи у вигляді лузги. За результатами аналізу зерна рису визначено кількість лузги та вплив на цей показник різних агротехнічних чинників.

Згідно з трирічними даними кількість лузги перебувала в межах 1,32–2,05 т/га для сорту Віконт та 0,92–1,95 т/га для сорту Преміум, хоча найбільші показники відмічено на високому фоні живлення за сівби насіння нормою 9 млн шт./га, що вочевидь пояснюється утворенням більшої кількості біомаси на одиниці площі через високі дози азотних добрив. Істотна різниця в кількості лузги між варіантами удобрення спостерігається лише на нижчих фонах у сорту Віконт, для сорту Преміум різниця перебуває в межах НІР. На цей показник у меншій мірі впливала норма висіву насіння: так, практично на однаковому рівні перебуває вихід лузги в обох сортів рису за сівби нормами 7 та 9 млн схожих зерен на одиницю площі, за винятком варіанта із сортом рису Віконт на фоні $N_{180}P_{60}K_{0}$.

Результати досліджень дають змогу зробити висновок, що оптимальне поєднання агротехнічних заходів

3. Кількість рисової лузги та соломи отриманої у варіантах дослідів, т/га (середнє за 2011 – 2013 рр.)

Сорт Фактор А	Норма висіву, млн. шт./га (фактор С)	Доза добрив (фактор В)			Середнє по фак- тору А	Середнє по фак- тору С
		$N_{00}P_{00}K_{00}$	$N_{90}P_{30}K_{00}$	$N_{180}P_{60}K_{00}$		
Віконт	5	1.32* 4.95**	1.54 7.59	1.73 8.62	1.71 8.19	1.42 6.37
	7	1.59 6.95	1.92 7.48	1.94 10.34		1.59 7.33
	9	1.59 6.96	1.72 8.57	2.05 12.26		1.63 7.67
Преміум	5	0.92 4.46	1.42 6.16	1.61 6.48	1.38 6.06	
	7	1.01 4.70	1.37 6.51	1.69 8.01		
	9	1.11 5.42	1.34 5.48	1.95 7.35		
Середнє по фактору В			1.55 6.96	1.83 8.84		

НІР $p = 0.05$ для: * А – 0.20; В – 0.24; С – 0.24; взаємодія АВ – 0.34; АС – 0.34; ВС – 0.42; АВС – 0.59

** А – 0.31; В – 0.38; С – 0.38; взаємодія АВ – 0.54; АС – 0.54; ВС – 0.66; АВС – 0.93

* – лузга; ** – солома

виросування рису дає змогу дістати високі врожаї культури, одночасно утворюються значні обсяги побічної продукції, придатної для подальшого використання.

Для оцінки впливу агротехнічних чинників на технологію виробництва рису проведено економічну оцінку, яка є результатом польових досліджень і початковим етапом впровадження цих результатів у виробництво. Прибуток від реалізації крупи й побічної продукції склав від 0,32 до 7,9 тис. грн на одиницю площі за вирощування сорту Віконт і від 0,60 до 3,81 тис. грн для Преміуму. Варто також зазначити, що для сорту Преміум збиткових варіантів дослідів три: на фоні $N_{00}P_{00}K_{00}$ за норми висіву 5 та 7 млн шт./га та на фоні живлення $N_{90}P_{30}K_{00}$ при сівбі 9 млн схожого насіння на гектар.

В Інституті рису НААН розроблена та впроваджується у виробництво програма переходу від використання традиційних джерел енергії (природний газ), які використовуються для сушіння зерна й насіння та обігріву адміністративних і технічних приміщень до нетрадиційних, з використанням біомаси, що утворюється за вирощування сільськогосподарських культур. У межах цієї програми в дослідному господарстві було виконано будівництво зерносушильного комплексу на біомасі, для сушіння попередньо очищеного матеріалу: продовольчого чи фуражного зерна, насіння зернових, зернобобових та олійних культур із використанням атмосферного повітря, що нагрівається в теплогенераторах у разі спалювання біомаси.

Досвід застосування сушарок на соломі в Україні показав, що еконо-

мічний ефект досягається внаслідок використання власного дешевого палива – соломи. Використання соломи дає змогу знизити витрати на паливо під час сушіння 1 т зерна в 6 разів. На ринку представлені теплогенератори, призначені для отримання теплової енергії у вигляді нагрітого атмосферного повітря внаслідок спалювання соломи, спресованої в тюки прямокутної або округлої форми (рулони). Перевагами використання теплогенераторів такого типу є те, що нагріте в теплогенераторах повітря ізолюване від топкових газів та не містить канцерогенних речовин. Окрім того цими теплогенераторами можуть обладнуватись як нові сушарки різного типу, так і реконструйовані сушарки вітчизняних та зарубіжних виробників (В. Кравчук та ін., 2010; В. Герасименко, 2006).

Будівництво зерносушильного комплексу на біомасі для сушіння попередньо очищеного матеріалу: продовольчого чи фуражного зерна, насіння зернових, зернобобових та олійних культур із використанням атмосферного повітря, що нагрівається в теплогенераторах під час спалювання біомаси дає змогу створити економічно та екологічно безпечну технологію сушіння зерна. Обладнаний двома теплогенераторами за умови безперервної роботи сушарки його продуктивність становить 16 т за годину за зниження вологості зерна рису за один прохід на 4 %.

За використання соломи як джерела енергії порівняно з природним газом для просушки 1 т зерна витрати на пальне зменшуються в 10,3 рази. Економія коштів у разі переходу з газових теплогенераторів на теплогенератори на біомасі в рік складає 192,3 тис. грн, а термін окупності становить 1,14 року.

Важливим елементом реалізації програми енергозбереження є використання рисової лузги. Так, для обігріву адміністративних приміщень, шкіл, будинків культури, дитячих садків та інших будівель можливо використовувати котли потужністю від 15 кВт до 500 кВт. Обладнання складається з котла та камери згорання з автоматичною подачею палива, що обладнана системою управління за температурою води, кількістю палива, що подається, терміном горіння та кількістю повітря, що подається під час спалювання. Використання такого типу котлів економить енерговитрати до 40 % у порівнянні з іншими видами палива, таким як газ та вугілля, а також дає змогу використовувати власну сировину як дешевий енергоресурс.

Для використання рисової лузги в якості палива вона повинна проходити етап брикетування. За використання шнекового пресу отримують паливні брикети квадратної форми без сполучних компонентів. Принцип роботи преса базується на процесі безперервного екструдювання, вихідний продукт проходить такі етапи: пресування, формування, випал поверхні брикету, який у результаті набуває темно-коричневого кольору. Під впливом тиску й температури природна сполука – лігнін пластифікується та виділяється на поверхню брикету, створюючи водонепроникну оболонку. Продуктивність пресу складає 4 т брикетованої сировини на добу. За годину, тобто за 7 годинну робочу зміну можна виробити 2 т високоякісного екологічного чистого твердого палива. Економія коштів у разі використання для опалення приміщень паливних брикетів порівняно з природним газом складає 237,9 тис. грн., а термін окупності проекту становить 1,6 року.

Висновки.

Найбільші врожаї зерна рису сформовано за внесення мінеральних добрив дозою $N_{180}P_{60}K_0$ за норми висіву 9 млн схожого насіння на гектар для сортів рису Віконт і Преміум на рівні 9 і 8 т/га відповідно. Отже, оптимальне поєднання агротехнічних заходів вирощування рису дає змогу отримати високі врожаї культури, одночасно утворюються значні обсяги побічної продукції, придатної для подальшого використання.

За умови використання рисової соломки як джерела альтернативної енергії, рисосійні регіони України можуть отримати теплову енергію, еквівалентну її кількості, яка виділяється за спалювання 62 млн м³ природного газу. Економічний ефект у разі переходу з газових теплогенераторів на теплогенератори на біомасі в рік складає 192,3 тис. грн, а термін окупності – 1,14 року.

Додатковим джерелом альтернативної енергії в галузі рисівництва є рисова лузга. За впровадження лінії з брикетування лузги рисової окупність проєкту становить 1,6 року.

References

1. A. Bauen, G. Berndes, M. Junginger, M. Londo, F. Vuille (2009). Bioenergy – a sustainable and reliable energy source, IEA Bioenergy.
2. Chmyl, A.I. (1995). Ekologobezopasnaya i energosberegayuschaya tehnologiya bio-konversii selskohoziyaystvennyh othodov v toplyvo, udobrenie i korma [Eco-friendly and energy-saving technology for bioconversion of agricultural waste into fuel, fertilizer and feed] Ekologiya i resursosberezhenie – Ecology and Resource Saving, 4, 64-71 [in Russian].
3. Energy strategy of Ukraine till 2030. Available online at http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/uk_summaryplus.pdf
4. Ferrero A., Nguyen V.N. (2004). The sustainable development of rice-based production systems in Europe. Proceedings of the FAO Rice Conference "Rice is Life", (pp. 115-124.). Skadovsk: Institute of Rice [in English].
5. R. Perlack, L. Wright, A. Turhollow et al. (2005). Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts Industry. Available at: http://feedstockreview.ornl.gov/pdf/billion_ton_vision.pdf.
6. Kravchuk, V., Targonja, V., Luzenko M., Babinets T. and Klimenko V. (2010). Tehnologii ta obladnannya dlya vykorystannya ponovlyuvanyh dzherel energii v silskogospodarskomu vyrobnytvi [Technologies and equipment for the use of renewable energy sources in agricultural production]. Doslidnytske: Ukr.NDIPVT im. L. Pogorilogo [in Ukrainian].
7. Gerasymenko, V.G., Gerasymenko, M.O. and Zvilihovskyy M.I. et al. (2006). Biotechnologiya [Biotechnology]. V.G. Gerasymenko (Ed.) – K, Inkos [in Ukrainian].

H. Marushchak, N. Lesovoy, S. Fedorchuk, T. Klymenko, O. Trembitska (2020).

RICE BY-PRODUCTS – RAW MATERIALS FOR ALTERNATIVE ENERGY PRODUCTION.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 11(4): 26-34. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/14541>. <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.04.003>.

Abstract. Emphasis is placed on the efficiency of production of alternative types of biofuels by rational selection of species and the intensity of biomass formation of plants of the appropriate chemical composition.

It is determined that favorable natural and climatic conditions of the South of Ukraine, the presence of built rice irrigation systems make it possible to obtain high yields of high quality rice grain, while forming significant amounts of by-products in the form of straw, husk, flour, which are a source of solid biofuel.

Purpose. To investigate the by-products of rice as a source of bioenergy plant raw materials for alternative energy production as a solid biofuel.

Materials and methods. To establish the impact of the main agronomic measures of growing modern rice varieties in the South of Ukraine on the quality of grain and raw materials for biofuels, field experiments were conducted in the fields of the Rice Institute of NAAS.

Results. Estimation of bioenergetic potential of rice varieties showed that the highest values of energy yield under the use of by-products (straw and husk) are characterized by Vicount and Premium varieties, which studied to determine the impact of agronomic factors on the formation of rice productivity for final consumption and use of straw and husk. as a source of bioenergy vegetable raw materials as a solid biofuel.

To assess the impact of agronomic factors on the technology of rice production, an economic assessment was conducted, which is the result of field research and the initial stage of implementation of these results in production. Profit from the sale of cereals and by-products ranged from 0.32 to 7.9 thousand UAH per unit area for growing the Viscount variety and from 0.60 to 3.81 thousand UAH for Premium.

Conclusions. The highest yields of rice grain were formed with the application of mineral fertilizers at a dose of N180P60K0 at sowing rates of 9 million similar seeds per hectare for rice varieties Vicount and Premium at the level of 9 and 8 t / ha, respectively. Thus, the optimal combination of agronomic measures of rice cultivation allows to obtain high yields of the crop, at the same time significant volumes of by-products are formed, suitable for further use.

Keywords: rice, biofuel, by – products, biomass, bioenergy

БАСЕЙНОВЕ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ УКРАЇНИ: SWOT-АНАЛІЗ

В.П. СТРОКАЛЬ, кандидат педагогічних наук, доцент

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6876-1111>

E-mail: vita.strokal@gmail.com

А.В. КОВПАК, аспірант зі спеціальності 101 «Екологія»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0588-1041>

E-mail: an.vs.kovpak@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, вул. Героїв Оборони 15, 03041, Україна

Abstract. *This review article aims to increase our understanding in the strengths, weaknesses, opportunities and threats of implementing the basin approach for water resources management in Ukraine. To this end, this article implements that SWOT analysis for discussing the transition from the administrative approach towards the basin approach. The SWOT analysis consists of the four main aspects: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. Strengths and Weakness include strong and weak points of implementing the basin approach, respectively. Opportunities are windows for implementing actions to facilitate the basin approach and increase the effectiveness of this approach. Threats include risks for implementing the basin approach. In order to better understand opportunities, the main drivers and causes of water pollution are also discussed in the article.*

Results of the review show that climate change affects the availability of water resources strongly. Human activities namely the poultry production are important polluters of water resources. The article summarizes the correct water resources management approaches and proposes four main strategies for implementing the basin approach within the SWOT analysis. The first strategy deals with the successful transition from the administrative management towards the basin management of water resources. The second strategy deals with an increase in the access of the public to the water resources information including water quality. The third strategy deals with integrating the European Union water-related directives in the national

(*Threats*). Усі ці складові і формують – *SWOT-аналіз* [62]. Для розробки стратегій управління (*SWOT-аналізу* управління) потрібно розуміти основні причини погіршення стану якості водних ресурсів України та розуміти структуру управління водними ресурсами України [61, 63, 65]. Саме з цих позицій у пропонованій статті висвітлені результати досліджень.

Результати дослідження та їх обговорення.

Головні причини погіршення якості водних ресурсів України.

Якість води знижується з кожним роком що пояснюється збільшенням рівня захворюваності населення та з причини забрудненості довкілля [15, 54-56, 59]. Загальними джерелами забруднення довкілля в Україні визначено [4, 27, 29,49]: стаціонарні (промисловість та сільське господарство, міські очисні споруди, зливові води міст, енергетичні установки), дифузні (гірничо-видобувна промисловість, сільське господарство, населення, що не підключене до стаціонарного водовідведення, системи централізованого водовідведення, мулові майданчики, місця зберігання відходів, скидання забруднюючих речовин і сміття із суден). Проте є низка чинників, які безпосередньо впливають на якість водних ресурсів в Україні – чинники забруднення води (рис. 2) – це розвиток індустрії (збільшення технічно очищених або неочищених скидів стічних вод), розширення урбанізаційних територій навколо великих міст (збільшення житлово-комунальних стоків), неконтрольоване внесення агрохімікатів на поля та недостатньо обробка гноєвих масивів перед внесенням

(потрапляння в річкову систему великої кількості пестицидів, фосфатів, нітратів), збільшення кількості птахофабрик (Україна увійшла в ТОП-5 з виробництва птиці, що так само зумовило виробництво значної кількості неконтрольованих відходів у довкілля), перевантаженість полігонів зі збереження побутових відходів та відсутність заводів із переробки цих відходів (утворилася велика кількість несанкціонованих відходів на всій території України, а на офіційних полігонах фільтраційні води практично неочищені скидаються у водні системи) [25]. Треба виокремити ситуацію із тваринництвом в Україні, яка зараз набула широкого розповсюдження через вагоме збільшення виробників і виробництва птиці. До складу тваринництва України входить скотарство, свинарство, птахівництво, вівчарство. Упродовж останніх десятиріч спостерігається значний спад скотарства, свинарства та вівчарства. Так, за даними [30] за 1990 – 2018 рр. кількість поголів'я сільськогосподарських тварин скоротилась у середньому на 80 %. Зокрема, поголів'я ВРХ скоротилося на 86 % (корів – на 76 %), поголів'я свиней – на 69 %, овець та кіз – майже на 91 %. Провідні позиції в галузі тваринництва в Україні на сьогодні займає птахівництво. Проте з 1991 року до 2001 року відбулося суттєве скорочення виробництва птиці. У зв'язку зі збільшенням споживчого попиту на м'ясо птиці та внаслідок низької собівартості на сьогодні простежується активне відновлення та розвиток галузі, про що свідчить загальна тенденція до нарощування обсягів поголів'я птиці в Україні. За даними [30], упродовж 2016 – 2017 рр. в Україні було вироблено 4 642 тис. тонн м'яса

(всіх видів), з яких 2 352 тис. тон м'яса птиці (51 %), 1 484 тис. тонн м'яса свинини (32 %) та 740 тис. тон м'яса яловичини й телятини (17 %). Зважаючи на наведені дані, в Україні відбувається збільшення відходів саме від галузі птахівництва, що стає вагомими чинниками забруднення повітря, ґрунтів та води. У процесі життєдіяльності однієї курки утворюється 0,2 – 0,3 кг посліду, до цього варто додати забруднену підстилку, відходи інкубації, загиблу птицю та ін. В 1 м³ забруднених викидів міститься 3-20 мг аміаку, 1-3 мг сірководню, 0,10-0,30 % вуглекислого газу, 3-5 мг пилу, 70-900 тис. мікробних тіл [31]. Ці забруднювачі є чинниками погіршення якості води [57, 59, 60, 65].

Усі вище перераховані чинники зумовлюють рівень забрудненості водних ресурсів України. Так, у національному документі «Стратегічні підходи до формування водної політики України» [4] зазначено, що за ступенем забрудненості води річок - відповідають 3 класу якості вод («помірно забруднені»), за середніми значеннями індексу сапробності для всіх водних об'єктів спостерігається помірне забруднення води. Також зазначено, що найбільш спостері-

гається небезпечна ситуація таких параметрів якості води, як БПК₅ – у басейнах Дністра й Сіверського Донця; NH₄–Дніпра, Південного Бугу й Західного Бугу; NO₂–річок Приазов'я й Західного Бугу; NO₃–Сіверського Донця й Західного Бугу; PO₄–Дніпра й Сіверського Донця [4, 53, 59, 61].

Вагомим чинником стало те, що з підвищенням рівня температури на планеті, змінилися погодні умови в Україні через аномальні коливання температури [16, 64]. Україна складається з трьох агрокліматичних зон: Степ, Лісостеп, Полісся. Така класифікація була проведена за співвідношенням кількості опадів до кількості накопиченого тепла. Тепер же, зі зміною середньорічної температури та кількості накопиченого тепла, ці агрокліматичні зони змішуються. Значно зросла кількість днів із надзвичайно високими температурами, так званими «хвилями тепла», коли температура повітря вдень перевищує 30,35 °С. За даними синоптиків, вони поступово мігрують на північ. Підвищення температури на 1 °С зсуває межу агрокліматичних зон у середньому на 100 км на північ, а температура зросла на 2 °С. Тож межа кліматичних зон змістилася на 200 км. [17, 64]. Як бачимо з рисунку 3 практично зникає зона Полісся - зона достатнього зволоження й не таких високих температур. Нині ця зона теплішає швидше за південь. Тобто, якщо Кіровоградська область раніше належала до Північного степу (зона посушлива, дуже спекотна), то зараз її можна віднести до Південного степу (дуже посушлива, спекотна) - зони, до якої раніше належали Херсон, Запоріжжя й Одеса. Кіровоградщина ж за кліматичними показниками стає такою, якою 30 років тому була Херсонщина. А Херсонщина так само наразі не має

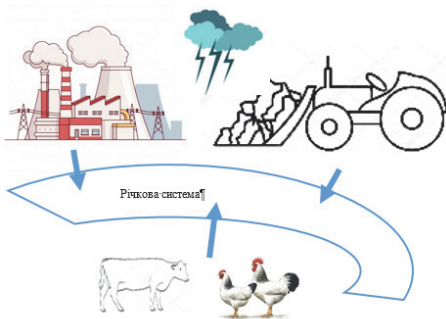


Рис. 2. Основні чинники забруднення води в Україні [4, 15, 18, 28-31, 54, 59, 61, 65]

аналогу в країні – уже ближче до сухих субтропіків. Та кількість тепла, які отримують Херсонська, а також південні частини Запорізької та Миколаївської областей, уже дає змогу вирощувати такі теплолюбні культури як рис чи бавовник [16, 17, 64].

У заключному звіті проекту *Clima East*, який фінансується Європейським Союзом «Розробка концепції національної політики адаптації сільського господарства України до зміни клімату» [16] наведені сценарії розвитку України під впливом змін клімату. Наприклад, річна сума опадів до 2050 року суттєво не зміниться (3-5 %), проте, змінюється структура опадів: збільшується кількість небезпечних і стихійних опадів, зростає їхня зливово складова, особливо в теплий період [18, 19]. Також до 2050 року очікується значне зростання потенційного випаровування в середньому до 1200 мм (зараз цей середній показник 700-850 мм), а до 2010 року – до 1600 мм на рік. Такий ріст випаровуваності відбуватиметься завдяки значному підвищенню максимальної річної температури в майбутньому [16, 64]. Річні суми опадів як основне джерело вологи та річна випаровуваність є найпростішими уза-

гальнюючими характеристиками змін клімату, різниця яких показує дефіцит (або баланс) зволоження.

Підходи до управління водними ресурсами

Сучасні підходи до управління водними ресурсами потребує постійного удосконалення. Чимало досліджень та публікацій в Україні присвячені цій темі. Зокрема, сучасний стан розвитку законодавчої бази в Україні щодо процесу реформування системи управління водними ресурсами в Україні аналізовано в роботах В. О. Євдокимова [24], М. І. Ромашенко [14, 44]. Гідрографічним та водогосподарським районуванням території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу присвячені праці В. В. Гребінь [22, 23]. Рябець К. А. обґрунтував теоретичної сутності поняття «водне господарство України» з урахуванням наукового, політичного та правового впливу на нього [27]. Проблемам узгодження національної нормативної бази України в галузі управління водними ресурсами відповідно до Європейських стандартів присвячено публікацію А. В. Гриценка та співавторів [26]. Климчик О. М., Пінкіна Т. В., Пінкін А. А. [13] у своїй праці

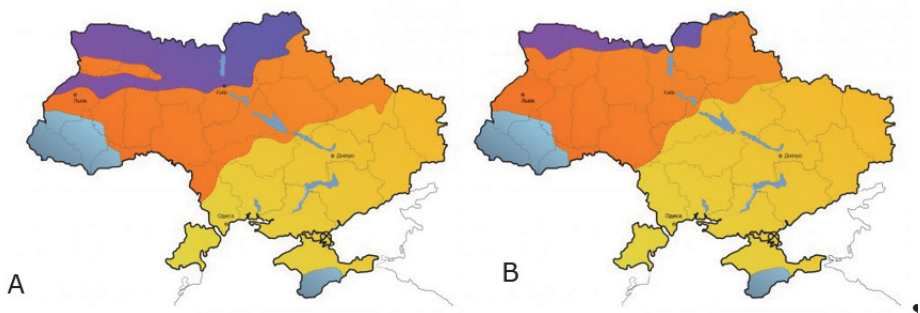


Рис. 3. Агрокліматична мапа до впливу глобального потепління. Жовтим виділено степову зону, помаранчевим – лісостепову, фіолетовим – Полісся. А – звичайна ситуація до змін клімату, В – після впливу змін клімату (Інфографіка Landlord [17])

розкривають сутність принципу басейнового управління водними ресурсами, показують досвід європейських країн у зазначеній сфері та перспективи його впровадження в Україні, зазначають, запропонували структурну схему інтегрованого управління водними ресурсами. Оцінюванню екологічного ризику забруднення локальних територій в умовах сучасного управління присвячено чимало робіт Л. В. Войтенко, зокрема в деяких працях розкрито основні проблеми антропогенного навантаження на оцінювання якості водних ресурсів України [28-29, 51]. Проте, в Україні залишається недослідженим зв'язок основних чинників переходу адміністративно-територіального управління до інтегрованого управління водними ресурсами на басейновому принципі. Інтегроване управління водними ресурсами дає змогу поєднати цілкове використання водних ресурсів із забезпеченням їхньої якості та доступності до населення відповідно вимог Європейського Союзу.

Україна має вигідне географічне положення, її площа становить 603,7 тис. км кв. – це найбільша держава Європи – 5,7 % площі Європи [38]. Територія її розташована в межах трьох морів: Азовського, Чорного, Балтійського це зумовлює має вигідне географічне розташування. Україна охоплює 24 області територіального устрою, через які протікають 73 тис. річок. Більшість річок України належать до басейнів Чорного й Азовського морів. Лише Західний Буг і інші праві притоки Вісли належать до басейну Балтійського моря. Найбільші ріки – Дніпро й Дунай – є судноплавними та мають міжнародне (транскордонне) значення [25].

Рисунок 4 показує нам управління водними ресурсами країни на

основі адміністративно-територіального підходу (А) який тривав до змін, управління водними ресурсами на основі басейнового підходу (В) який триває зараз після змін у національному законодавстві, важливість імплементації Європейських Директив у національне законодавство для забезпечення ефективного управління водними ресурсами (С), що почало відбуватися з 2014 року, а також впровадження реформи децентралізації територіального устрою країни (D), під час якої заплановано створити об'єднані територіальні громади та надати їм нових повноважень та фінансових можливостей для розвитку та збереження своїх територій, створення сучасної освітньої, медичної, транспортної, житлово-комунальної інфраструктури.

Основним центральним органом управління водними ресурсами України є Державне агентство водних ресурсів України [15] що підпорядковане Міністерству захисту довкілля та природних ресурсів України. Адміністративно-територіальний підхід (А) тривав у країні досить довгий період (практично весь період незалежності України), базувався на основі управління адміністративно-територіальних одиниць (областей, районів). За такого управління якість води з роками все погіршувалася, розвиток індустрії зростав, попит на водопостачання збільшувався в рази. Такий принцип управління не відповідав сучасним вимогам вискоєфективного водокористування, відповідно і європейським стандартам і вимагав суттєвих змін у сфері управління.

Основною передумовою та поштовхом в інтеграції управління водними ресурсами став підписаний Закон України «Про ратифікацію Угоди про асоці-

ацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і її німи державами- членами, з іншої сторони» (від 16 вересня 2014 р. № 1678-VII» [2]. Початок набуття чинності цієї Угоди припав на 2017 рік, який і став маркером змін у системі управління водними ресурсами (рис. 4).

Такі зміни в законодавстві спонукали до створення нової системи управління водними ресурсами з використанням басейного підходу (В), де основною одиницею управління є річковий басейн, який є системою з екологічними, соціальними та економічними зв'язками [13]. Відповідно в структурі державного агентства водних ресурсів України було створено водогосподарські організації (басей-

нові управління водними ресурсами в розрізі басейнів річок, управління каналів, технічні школи) та басейнові ради [7], які сприяють залученню всіх водокористувачів у процес розробки, впровадження, моніторингу та реалізації принципів управління водними ресурсами.

У системі Державного агентства водних ресурсів нині функціонує 9 басейнових та 19 обласних управлінь водних ресурсів, які реалізують державну водну політику на місцях, і зона їхньої діяльності охоплює всю територію країни. Зважаючи на початок системної роботи з проведення Урядом структурних реформ у різних сферах державної політики, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, залучивши всіх заінтересо-

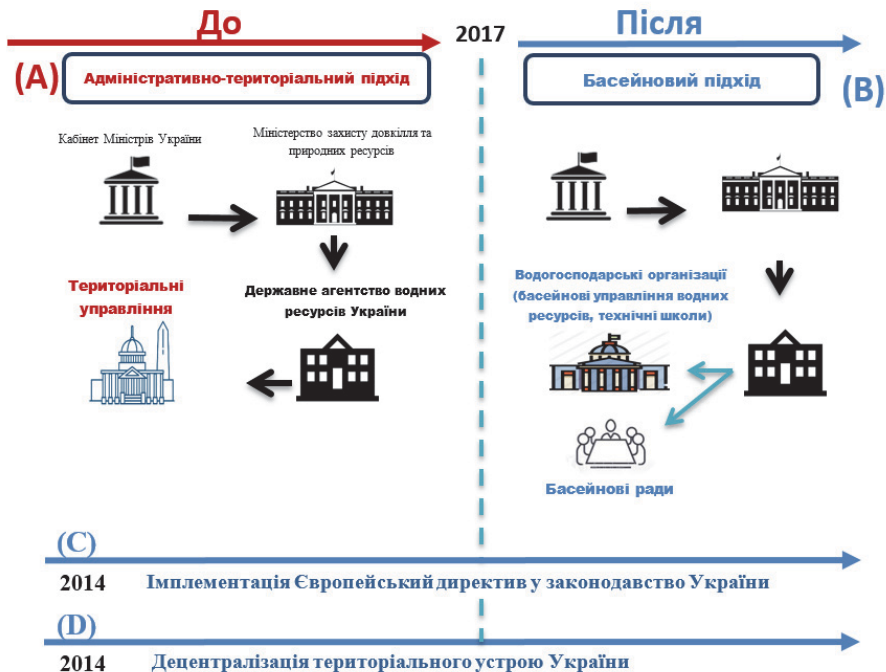


Рис. 4. Структура управління водними ресурсами (схема побудована за результатами наукової літератури за категоріями– А – [1, 2], В – [5-9, 11, 23, 42, 45, 46, 47], С – [32-36, 39], D – [4, 13, 24, 43]

вані сторони, експертів, науковців та міжнародних партнерів, розробило «Концепцію реформування управління водними ресурсами», спрямовану на досягнення доброго стану вод за допомогою створення законодавчих та інституційних засад впровадження інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом на основі рівноправного залучення всіх заінтересованих сторін до процесу управління з урахуванням кращого світового досвіду. Як результат за басейнового принципу управління вже розроблено конкретний План управління в річкових басейнах [5, 6], виділено суббасейни та водогосподарські ділянки в межах встановлених районів річкових басейнів [8], затверджено конкретний перелік забруднюючих речовин у поверхневих водах, підземних водах, для екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод [9], розписаний новий порядок здійснення моніторингу вод [10].

Уряд України з 2014 року поступово почав переходити до імплементації європейських стандартів до національного законодавства України (С), що так само спонукало до переходу на інтегроване басейнове управління водними ресурсами України [32-36]. Вагомими підходом було те, що Уряд України в Національній доповіді «Цілі Сталого Розвитку: Україна» [37] визначив базові показники та результати адаптації 17 глобальних цілей сталого розвитку для умов України, у тому числі і для цілі 6 – «Чиста вода та належні санітарні умови», яка передбачає виконання завдань, спрямованих на забезпечення доступності якісних послуг із постачання безпечної питної води, будівництво та реконструкцію систем централізованого питного водопостачання,

сучасних систем водовідведення, підвищення ефективності водокористування та впровадження інтегрованого управління водними ресурсами. Національне законодавство України з управління водними ресурсами суттєво почало вдосконалюватися в бік збалансованого природокористування. В Україні, за ініціативи Європейського Союзу впроваджується Проект EUWI+, який покликаний сприяти реформуванню водної політики водних ресурсів на прикладі Дніпровського басейну, річки якого належать до транскордонних річок. Зокрема, завданнями Програми в напрямі екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро та поліпшення якості питної води є такі: забезпечення екологічно безпечного функціонування дніпровських водосховищ, запобігання забрудненню підземних вод, створення більш чистого виробництва замкнутих (безстічних) систем виробничого водопостачання, впровадження мало- і безводних технологій, забезпечення повторного використання стічних вод, удосконалення нормативно-правової бази та організаційної структури водогосподарського комплексу для забезпечення екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро [21, 48, 53].

У зв'язку з тим, що сьогодні демократія є формою політичного устрою суспільства, що дає можливість людям не тільки обирати керівників, а й контролювати владу в реалізації програм як розвитку, так і збереження д в Україні з 2014 року почала діяти реформа децентралізації територіального устрою країни (D). Вона покликана спочатку зупинити деградацію сільської місцевості, покращити якість надання послуг, підвищити ефективність управлінських рішень. Відповід-

но до неї до кінця 2020 року в Україні з 490 районів в областях повинно утворитися приблизно 130 районів об'єднаних територіальних громад, яким буде надано право самостійно користуватися фінансовими інструментами для забезпечення підвищення рівня розвитку громад та управління спільними об'єктами водного, лісового та сільського господарства.

SWOT-аналіз

SWOT-аналіз за управління водними ресурсами України вимагає конкретизації розробки стратегій розвитку водної галузі. З цією метою пропонуємо розглянути чотири основні стратегії розвитку водної галузі, які базуються на басейновому управлінні, що так само включають імплементації. Європейських директив та децентралізацію територіального устрою. В основу розробки цих стратегій були покладені принципи «забруднювач платить» та екологічної відповідальності [63]. Загалом SWOT-аналіз за управління водними ресурсами представлений у таблиці 2.

Стратегія 1: *Перехід від адміністративно-територіального до басейнового підходу управління водними ресурсами.* Україна перебуває на шляху змін у системі управління водними ресурсами (див.рис.4). Перехід до басейнового управління водними ресурсами дає можливість адаптувати водну політику регіонів до їх територіальних особливостей [1]. Ця стратегія в майбутньому передбачає повну реалізацію планів управління річковими басейнами (що розроблені відповідно до європейських стандартів), що дасть змогу: підвищити якість водних ресурсів, змінити підхід до водокористування, що так

само призведе до зменшення викидів у річки та скидів неочищених вод; покращити співпрацю в транскордонному значенні.

Відповідно до цього в національному законодавстві відбулися суттєві зміни щодо регулювання діяльності зацікавлених сторін (суб'єкти господарювання, адміністративні одиниці управління) у процесі управління водними ресурсами [13]. Позитивним моментом є те, що розроблено Водну стратегію України до 2025 року [1], визначено структуру плану управління річковим басейном [6], створено басейнові ради, які розробляють Плани управління річковим басейном, розроблено водогосподарські баланси використання водних ресурсів [5, 7], виділено межі районів річкових басейнів [11] та у їхніх межах виділено суббасейни та водогосподарські ділянки [8], розписаний новий порядок здійснення моніторингу вод [10]. Також сильною стороною є те, що з 2019 року в Україні запроваджено європейські підходи щодо здійснення моніторингу вод відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви [10, 32]. Зокрема, визначено чіткий розподіл обов'язків між суб'єктами моніторингу без дублювання повноважень, введено нові показники моніторингу, які в Україні до цього часу не вимірювались – пріоритетні, гідроморфологічні та біологічні. Залежно від цілей та завдань державного моніторингу вод встановлюються такі процедури: процедура діагностичного моніторингу масивів поверхневих та підземних вод; процедура операційного моніторингу масивів поверхневих та підземних вод; процедура дослідницького моніторингу масивів поверхневих вод; процедура моніторингу морських вод [10]. Нова система моніторингу перед-

бачає шестирічний цикл моніторинг та класифікацію стану вод за 5 класами екологічного стану і 2 класами хімічного стану [40]. Басейновий принцип управління посилює рівень співпраці у сфері реалізації планів управління річковими басейнами між адміністративними одиницями регіонів, водогосподарськими організаціями (басейнові управління в розрізі річок) та басейновими радами. Так, територіальні органи державного агентства водних ресурсів України спільно із басейновими управліннями водних ресурсів та басейновими радами формують плани управління річковими басейнами [13, 14]. Важливим аргументом цієї стратегії є міжнародна та національна координація водогосподарських організацій із неурядовими організаціями. Відкрилися нові можливості для співпраці в міжнародних проєктах. Зокрема, неурядова організація «Водна ініціатива Європейського Союзу для країн Східного партнерства» спільно з водогосподарськими організаціями України, а також за підтримки Професійної асоціації екологів України впроваджує Проєкт EUWI+, який покликаний сприяти реформуванню водної політики на прикладі Дніпровського басейну в рамках транскордонного співробітництва. Програма націлена на забезпечення екологічно безпечного функціонування дніпровських водосховищ, запобігання забрудненню підземних вод, створення більш чистого виробництва замкнутих (безстічних) систем виробничого водопостачання, впровадження мало- і безводних технологій, забезпечення повторного використання стічних вод, удосконалення нормативно-правової бази та організаційної структури водогосподарського комплексу для забезпечення екологічного оздоровлення басейну

річки Дніпро. Основним результатом програми є розроблені національні цільові показники до Протоколу про воду та здоров'я в Україні [21] та розроблений План управління річковим басейном річки Дніпра. Також Центр екологічних ініціатив «Екодія» разом з експертами та науковцями розробили інтернет-карту в рамках проєкту «Вода близько. Підвищення рівня моря в Україні внаслідок зміни клімату» [41], яка продемонструє можливі наслідки для України від підняття рівня моря через зміни клімату на період до 2100 року.

Впровадження нових нормативних документів або удосконалення сучасних відповідно до басейнового принципу управління потребує більш ефективної організації співпраці між територіальними органами управління та суб'єктами водокористування в реалізації планів управління річковими басейнами, а також фінансової підтримки з боку держави. На цей час, через брак коштів зі стратегії «Водна стратегія України до 2025 року» [1] в Україні виконано лише 30 % запланованих заходів. Суттєву загрозу реалізації цієї стратегії можуть спричинити такі чинники: зміна в структурі управління як водними ресурсами, так і загалом у державі, що може призвести до зворотного переходу, тобто до адміністративно-територіального управління водними ресурсами; загострення економічної ситуації, що може призвести до фінансових проблем у реалізації планів управління річками; брак фінансування на наукові розробки.

Стратегія 2: *Доступ громадськості до інформування про водні ресурси України та їх якість*. Ця стратегія дає можливість усім верствам населення (громадяни України, науковці,

адміністратори, студенти, представники організацій) мати доступ до достовірної інформації про стан водних ресурсів України, а також про якість питної води, яку вони споживають. Стратегія направлена на: покращення обізнаності населення про причини погіршення якості води та шляхи їхнього збереження; підвищення рівня свідомості громадян щодо збереження якості водних ресурсів та водокористування загалом; підвищення рівня науковості та достовірності поданих наукових статей та проєктів завдяки використанню достовірних даних про стан водних ресурсів.

Позитивними сторонами є запровадження он-лайн інтерактивних карт, які відображають екологічні дані водних ресурсів. Розробка та реалізація таких карт стала можливим внаслідок спільної співпраці між бізнесом, громадськими організаціями й Урядом у сфері екологічної політики та захисту навколишнього природного середовища. Завдяки проєкту «Open Access» («Відкритий доступ») у 2019 році в Україні стартувала геоінформаційна система «Відкрите довкілля» з пілотними мапами «Водні ресурси», «Атмосферне повітря» та «ЕкоФінанси» (<https://openaccess.org.ua/>). Проєкт реалізувала група експертів під керівництвом українського аналітичного центру «Фундація «Відкрите суспільство» (діяльність якого фокусується на забезпеченні доступу громадськості до державних даних) та внаслідок співпраці з Міністерством екології та природних ресурсів України. Ключовими моментами геоінформаційної системи «Відкрите довкілля» те, що вона наповнюється як даними з державних установ, що відображають стан забруднення води та атмосферного повітря в Україні так і з даними з альтернативних дже-

рел, що збираються громадськими мережами моніторингу довкілля. Окремо відображаються дані з екологічного податку, видатків місцевих та обласних бюджетів, обсягів фінансування на природоохоронні заходи до районного рівня. Державне агентство водних ресурсів України та Агенція журналістики даних у 2018 році презентували інтерактивну он-лайн карту забрудненості річок в Україні «Чиста вода» (<https://texty.org.ua/water/>). Ця карта відображає 5-річні дані державного моніторингу річок у межах басейну. За цією картою можна оцінити якість води, переглянути до 16 параметрів забруднення, а також з'ясувати, як його рівень змінювався впродовж п'яти років. Для об'єктивного інформування громадськості про водні об'єкти з 2019 року створений та працює геопортал «Водні ресурси України» (<http://geoportal.davr.gov.ua:81/>) – це сучасна IT-платформа, яка містить багато різних даних про річкові басейни України (включає: річкові суббасейни, водогосподарські ділянки, поверхневі води та їхні масиви, екорегіони, перехідні та прибережні води, антропогенні впливи, екологічний та хімічний стан, населені пункти та кадастровий поділ). Під егідою Державного агентства водних ресурсів України створено он-лайн карту «Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України» (<http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index>). Відмінністю від інших карт є те, що вона показує окремо дані державного моніторингу вод за: адміністративно-територіальним принципом, водогосподарською організацією, ознакою транскордонного створу, районом річкового басейну або суббасейну. Окрім он-лайн карт в Україні громадські організації за ініціативи державних установ проводять різ-

номанітні інформаційні заходи, пов'язані із підвищенням рівня свідомості громадян, обізнаності їх у проблемі. Наприклад, екологічні проекти на регіональному рівні «Екологічна стежка», «Допоможемо річці», «Навколишні струмки в небезпеці»; створення інфографіки різними громадськими організаціями (на тему «збережемо воду», «забруднена вода» та інші).

Хоча із запровадженням басейнового принципу управління водними ресурсами доступність до інформації покращилася через створені онлайн карти та різноманітні організовані заходи, проте, є і слабкі сторони. Це зумовлено тим, що онлайн карти не містять повної інформації, яка наведена у їхній характеристиці, оскільки вони перебувають у тестовому режимі і відбувається поступове їхнє наповнення (термін кінцевого наповнення не відомий). Недоліком цих карт є: не відображають інформацію за видами забруднення (хімічне, фізичне, теплове, бактеріологічне, нітратне та інші); не містять показників бактеріологічного забруднення; не подають інформацію про якість питної води для різних видів водокористування. Також, деяка участь у навчальних тренінгах та семінарах є платною, що унеможливує участь громадян у зв'язку із відсутністю коштів. Суттєвими загрозами в реалізації цієї стратегії є соціальні та фінансові бар'єри, які можуть виникнути внаслідок економічно нестабільної ситуації в країні.

Стратегія 3: *Впровадження європейських директив* у національне законодавство України. В Україні нині основні реформи у сфері охорони довкілля та покращення якості життя відбуваються на виконання екологічної складової Угоди про асоціацію

між Україною та ЄС [43]. Власне, ця Угода і стала основним рушієм у зміні структури управління водними ресурсами (див.рис.4). Тому реалізація даної стратегії є важливою для України, оскільки сприятиме створенню європейської системи моніторингу вод, покращенню якості питної води та забезпечення централізованого водопостачання в сільських місцевостях, а також забезпеченню в Україні сучасної водної політики, зокрема, у сферах управління річками, міськими стічними водами, морським середовищем, сільськогосподарським забрудненням вод та паводками.

Процес впровадження Директив ЄС у національне законодавство, пов'язане з управлінням водних ресурсів відбувається завдяки спільним міжнародним проектам та програмам у співпраці між організаціями Європейського Союзу, територіальними органами управління, водогосподарськими організаціями та басейновими радами. Урядом України була внесена низка змін до національного законодавства щодо управління водними ресурсами), які сприяли отриманню таких результатів: Водна рамкова директива ЄС (Директива 2000/60/ЄС [32]) – створення басейнів річок, їхніх суббасейнів, водогосподарських меж [5,6,7,8,9, 11] та розроблено методику гідрографічного та водогосподарського районування території України [23]; Директива про міські стічні води (Директива ЄС 91/271/ЄС [34]) – внесені зміни до системи очищення стічних вод із промислових підприємств та житлово-комунального сектору [45]; Паводкова директива (Директива 2007/60/ЄС [35]) – розроблено та затверджено методику розроблення карт загроз і ризиків затоплення, відповідно до якої розроблено два види карт:

карти ризику затоплення, що характеризують загрозу для людей та карти ризику затоплення, що характеризують загрозу для довкілля, культурної спадщини та господарської діяльності [5, 46]; Рамкова Директива про морську стратегію (Директива 2008/56/ЄС [33]) – потребує спільних програм транскордонного значення [42], на обговоренні проект Морської стратегії України та розпочало консультації з громадськістю, ухвалено урядом розпорядження про схвалення Стратегії імплементації положень директив та регламентів Європейського Союзу у сфері міжнародного морського та внутрішнього водного транспорту («дорожньої карти») [47]; Директива про питну воду (Директива ЄС 98/83/ЄС [36]) – внесені зміни до показників якості води [45]; Нітратна Директива (Директива Ради 91/676/ЄЕС [39]) – є інтегральною частиною нової системи управління водними ресурсами за басейновим принципом [5], у процесі розробки документи «Методика визначення зон вразливих до нітратного забруднення» та «Кодекс кращих сільськогосподарських практик», які дають змогу збалансувати господарські потреби з необхідністю забезпечення доброго стану води та водних екосистем, мінімізувати рівень забруднення нітратами [48].

Впровадження Директив ЄС дозволило частково наблизити національне законодавство до європейських стандартів. Однією із перешкод до реалізації (відповідно слабкою стороною) цієї стратегії є слабке виконання національних документів та недостатнє фінансування природоохоронних заходів, які прописані в Планах управління річковими басейнами. До основних загроз, які можуть зупинити реалізацію цієї

стратегії відносимо: скорочення фінансової підтримки ЄС та міжнародних проектів, відсутність координації між органами влади, відсутність Плану управління річковим басейном.

Стратегія 4: *Зменшення впливу антропогенних чинників на стан водної екосистеми із застосуванням інноваційних технологій*. Стратегія спрямована на покращення стану водної екосистеми через мінімізацію рівня забруднення внаслідок антропогенного навантаження. Вона пов'язана із трьома попередніми стратегіями, які забезпечують її інституційною (стратегія 1), інформаційною (стратегія 2) та нормативною складовою (стратегія 3). Лише поєднання трьох складових дає змогу спрогнозувати можливе зменшення рівня забруднення водойм та приведення національних стандартів якості води до європейських. Слід зазначити, що рівень забруднення залежить від інтенсивності використання водних ресурсів певним сектором. У зв'язку зі збільшенням виробництва продукції тваринництва на ринку України [30] та розширенням житлово-комунального сектору (урбанізація, індустрія, побутові відходи), основними видами забруднення водних ресурсів (див. рис. 2) є нітратне, бактеріологічне, біологічне, хімічне та теплове. У таблиці наведено основні антропогенні чинники забруднення водойм та інноваційні підходи до запобігання забрудненню водойм. Загалом нітратне та бактеріологічне забруднення зумовлене аграрним сектором [57, 58, 64, 66]: розвитком тваринництва, птахівництва та нераціональним використанням земельних угідь. До основних технологій щодо зменшення надходження до водойм пестицидів, фосфатів, нітратів можна віднести

часткову заміну хімізації сільського господарства біологічними методами боротьби зі шкідниками та хворобами рослин, чітке дотримання сівозмін та введення більш стійких до «хвороб» сортів рослин [29, 51]. Також в Україні визначення зон, вразливих до нітратного забруднення є одними з основних напрямків щодо

запобігання забрудненню нітратами водойм [48, 60].

Урбанізація територій та індустрія, яка розвивається на них є основними чинниками появи у водоймах великої кількості домішок неорганічного походження (нафтопродукти, миючі засоби та ін.), які призводять до появи евтрофікації водойм [54, 57-58] та

Таблиця 1. – Вплив антропогенних чинників на стан водної екосистеми та шляхи мінімізації забруднення (базуючись про причини забруднення води, рис.2)

Антропогенний чинник	Вид забруднення	Забруднювачі	Наслідки забруднення	Технології запобігання забрудненню	Європейський нормативний документ регулювання
Аграрний сектор	Нітратне забруднення	Тваринництво: гній та його стоки. Сільське господарство: пестициди й агрохімікати, сівозмін	Евтрофікація водойм. Забруднення річок важкими металами	Визначення зон, вразливих до нітратного забруднення [48]. Безпечне поводження із гноєм, об'єми та умови будівництва резервуарів для його зберігання, що забезпечує не потрапляння нітратів у землю, воду та повітря [50]. Рациональне поводження з добривами [29]. Запобігати ерозії ґрунту	Нітратна Директива [39]
	Бактеріологічне забруднення	Тваринництво: гній та його стоки	Зменшення вмісту кисню у воді		
Індустрія та урбанізація	Хімічне забруднення	Скиди стічних вод: хімічні домішки неорганічного походження (нафта, нафтопродукти, пестициди, миючі засоби)	Евтрофікація водойм (за рахунок миючих засобів) Зникнення донних мікроорганізмів (приймають участь у самоочищенні за рахунок накопичення нафтопродуктів	Використовуйте якомога менше хімічних засобів при прибиранні. Сортування небезпечних відходів (окремо фарби, моторне масло, розчинники та очищувачі, аміак, хімікати). Відмова від користування пластиком. Нормування якості води з розробкою критеріїв придатності її для різних видів водокористування. Скорочення обсягів скидів забруднень у водойми шляхом удосконалення технологічних процесів [49]	Директива про питну воду [36] Директива про очистку стічних міських вод [34]
	Біологічне забруднення	Комунально-побутові стоки: різні мікроорганізми (бактерії, віруси), спори грибків	Поява збудників небезпечних хвороб, як холера, дизентерія, гепатит		
	Теплове забруднення	Спуск у водойми підігрітих вод від ТЕС, АЕС та енергетичних установок:	Змінюються термічні й біологічні режими водойми. Відбувається пригнічення риб та інших мешканців водойм		

Таблиця 2. - SWOT-аналіз управління водними ресурсами

Стратегії	Strengths (сильні сторони)	Weaknesses (слабкі сторони)	Opportunities (можливості для майбутнього)	Threats (загрози, які можуть перешкодити реалізації)
Перехід від адміністративно-територіального до басейнового підходу управління водними ресурсами	Удосконалення національного законодавства. Співпраця між територіальними органами управління та водогосподарськими організаціями у розрізі річок. Міжнародна та національна координація з неурядовими організаціями	Важко застосовувати плани управління річковими басейнами через недостатній рівень координації між територіальними органами управління та суб'єктами водокористування. Лімітована кількість проєктів із залученням міжнародних організацій	Реалізація планів управління річковими басейнами дозволить: - підвищити якість водних ресурсів, змінити підхід до водокористування, що у свою чергу призведе до зменшення викидів у річки та скидів неочищених вод; - покращити співпрацю у транскордонному значенні	Зміни у структурі управління як водними ресурсами так і в цілому у державі (зміна влади) можуть призвести до зворотного переходу, тобто до адміністративно-територіального управління водними ресурсами. Загострення економічної ситуації може призвести до фінансових проблем в реалізації планів управління річками. Відсутність фінансування на наукові розробки
Доступ громадськості до інформування про водні ресурси України та їх якість	Створення он-лайн карт, які відображають екологічні дані водних ресурсів: - геоінформаційна система «Відкрите довкілля»; - інтерактивна карта забрудненості річок в Україні «Чиста вода»; - портал «Водні ресурси України» - он-лайн карта «Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України». Створення інфографіки на екологічні тематики. Проведення навчальних тренінгів, семінарів.	Он-лайн карти не містять повної інформації, яка наведена у їх характеристиках, оскільки вони перебувають у тестовому режимі і відбувається поступове їх наповнення. Жодна з он-лайн карт: - не відображає інформацію за видами забруднення (хімічне, фізичне, теплове, бактеріологічне, нитратне та інші); - не містить показників бактеріологічного забруднення; - не подає інформацію про якість питної води для різних видів водокористування. Платний доступ до участі в навчальних тренінгах чи семінарах	Покращити обізнаність населення про причини погіршення якості води та шляхи їх збереження. Підвищити рівень свідомості громадян щодо збереження якості водних ресурсів та водокористування в цілому. Підвищити рівень науковості та достовірності поданих наукових статей та проєктів за рахунок використання достовірних даних про стан водних ресурсів. Приймати участь у спільних міжнародних проєктах	Соціальні бар'єри: - відсутність можливості приймати участь у інформаційних заходах. Фінансові бар'єри призведуть до: - зменшення кількості інформаційних заходів (семінарів, навчальних тренінгів, воркшопів та інших) з інформування населення та підвищення рівня їхньої свідомості; - відмови від участі у проєктах; - призиупинення наповнення он-лайн карт

Таблиця 2. – SWOT-аналіз управління водними ресурсами (продовження)

Впровадження європейських директив в національне законодавство України	Удосконалення національного законодавства відповідно до європейських вимог. Розвиток спільних регіональних планів розвитку водного басейну та міжнародних програм з адаптації стандартів ЄС до умов України	Слабке виконання національних законодавчих документів. Нестабільне фінансування природоохоронних заходів у розрізі програм управління водними ресурсами	Створення європейської системи моніторингу води як для питних цілей, так і для технологічних та господарсько-побутових. Адаптувати Ціль Сталого розвитку № 6 «Чиста вода та належні санітарні умови» до умов України, зокрема у галузі забезпечення централізованого водопостачання у сільських місцевостях	Скорочення фінансової підтримки ЄС. Відсутність координації між європейськими організаціями та урядом України. Зміна структури влади України
Зменшення впливу антропогенних чинників на стан водної екосистеми із застосуванням інноваційних технологій	Приведення національного законодавства про якість води до європейських вимог	Відсутній чіткий план з управління водними ресурсами для зменшення рівня забруднення водоїм. Інноваційні технології по запобіганню забруднення прописані не чітко, також не реалізовані	Покращення стану водної екосистеми в річкових басейнах шляхом мінімізації рівня забруднення внаслідок антропогенного навантаження	Відсутність фінансування природоохоронних заходів.

спричиняють знищення донних мікроорганізмів, які приймають участь у самоочищенні водойм, а також появи різного роду хвороботворних мікроорганізмів (через комунально-побутові стоки), які спричиняють появу небезпечних хвороб для людини (холера, дифтерія та інші) [28, 49, 59]. Також, як показали дослідження гідробіонтів [49] спуск у водойми підігрітих вод від ТЕС, АЕС та інших станцій призводить до пригнічення мешканців водойм і навіть до їхньої загибелі. Тому важливим аргументом даної стратегії є застосування інноваційних технологій очищення стічних вод житлово-комунального сектору, підприємств та від атомних електростанцій. Зокрема до таких заходів можна віднести: нормування якості води з розробкою критеріїв придатності її для різних видів водокористування; скорочення обсягів скидів забруднень у водойми шляхом удосконалення технологічних процесів [50, 51, 57, 59].

Висновки і перспективи.

Басейнове управління водними ресурсами України перебуває на етапі реорганізації, що включає імплементацію європейських директив внаслідок переходу на басейновий принцип, а також застосування інноваційних інструментів управління водними ресурсами та їхнього моніторингу за станом якості.

SWOT-аналіз управління водними ресурсами дає змогу виокремити позитивні та негативні сторони в реалізації стра-

тегії управління, а також визначити перспективи удосконалення системи управління водними ресурсами.

Подальшим етапом вбачаємо:

1. Розробити систему інтегрального оцінювання водойм водосховищ України за використання індикаторів якості води (Water stress analysis) з урахуванням різних видів водокористування та антропогенного впливу.
2. Здійснити прогнозування стану водних ресурсів басейнів річок України внаслідок антропогенного навантаження: урбанізація, сільське господарство, промисловість.

Список використаних джерел

1. Water strategy of Ukraine for the period up to 2025 (scientific bases) (2015), National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Institute of Water Problems and Land Reclamation, 46, Online: http://iwpim.com.ua/wp-content/uploads/2015/10/11_03_2015.pdf
2. Law of Ukraine «On Ratification of the Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other hand». (2014). No 1678-VII, Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1678-18>
3. Water policy strategy of Ukraine: project - scientific substantiation of the Ministry of Energy and Environmental Protection (2019), Online: <https://menr.gov.ua/news/33021.html>
4. Vladimir Bilokon (2019). Strategic approaches to the formation of water policy of Ukraine. Reform of the Ministry of Energy and Environmental Protection. Available at: https://drive.google.com/file/d/1xN67aKY-dIZ7xNvW2uQcmBRo4WI5CQ_6S/view
5. Law of Ukraine «On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine Concerning the Implementation of Integrated Approaches in Water Resources Management on the Basin Principle». (2016). No 1641-VIII. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1641-19>
6. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the Procedure for developing a river basin management plan». (2017). No 336. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/336-2017-%D0%BF>
7. Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources «On approval of the standard regulations on basin councils». (2017). No 23. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-17>
8. Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources «On the allocation of sub-basins and water management areas within the established areas of river basins». (2017). No 25. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0208-17>
9. Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources «On approval of the List of pollutants to determine the chemical status of surface and groundwater and the ecological potential of artificial or significantly altered surface water». (2017). No 45. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0235-17>
10. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the Procedure for state water monitoring». (2018). No 758. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF>
11. Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources «On approval of the boundaries of river basins, sub-basins and water management areas». (2017). No 103. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0421-17>
12. Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources «On approval of the Procedure for development of water balances». (2017). No 26. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0232-17>
13. Klimchik O.M., Pinkina T.V., Pinkin A.A. (2018). Introduction of an integrated water

- resources management system based on the basin principle. Scientific Journal «ScienceRise». No 4(45). 36-40
14. Romashchenko M.I., Yatsyuk M.V., Dehtyar O.O. (2018). Conceptual principles of water management reform in Ukraine. Bulletin of Agrarian Science. No 12 (789). 9-18
 15. National report on drinking water quality and the state of drinking water supply in Ukraine. (2018), 351. Available at: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/11/Proekt-Nats-dop-za-2018.pdf>
 16. Kozyra Jerzy , Grekov V.O., Krakovskaya S.V. (2017). Final report of the task of the Clima East Expert Support Service CEEF2016-083-UA «Development of the concept of the national policy of adaptation of agriculture of Ukraine to climate change», Clima East., 102. Available at: http://1067656943.n159491.test.prositehosting.co.uk/wp-content-sec/uploads/2017/05/CEEF-083-UA-final-report-UKR_v7.pdf
 17. Under the impact of the elements: migration of climatic zones of Ukraine to the north, solar anomalies. (2019). Landlord Agricultural News Site. Available at: <https://landlord.ua/wp-content/page/pid-udarom-stykhii-iak-mihruut-klimatychynizony-v-ukraini/>
 18. Stepanenko S.M., Polovy A.M., Shkolny E.P. and others (2011). Assessment of the impact of climate change on the economy of Ukraine. Odesa, Ecology.696
 19. Lipinsky V.M., Osadchii V.I., Babichenko V.M. (2006). Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine for the last twenty years (1986-2005): Monograph. Kyiv. Nika-Center. 312
 20. Protocol concerning Water and Health to the 1992 Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. (2011). No 324. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_030
 21. European Union Water Initiative for Eastern Partnership countries (IIES +): Outcome 1 «National targets for the Protocol on Water and Health in Ukraine and measures to achieve them». (2019). UNECE. 52 Available at: <https://www.euwiplu-seast.eu/ru/component/content/article/425-all-activities-2/activities-ukraine-6/reports-of-ukraine/718-ukrajina-natsionalni-tsilovi-pokazniki-do-protokolu-pro-vodu-ta-zdorov-ya-v-ukrajini-ta-zakhodijikh-dosyagnennya?Itemid=429>
 22. Grebin V.V., Yatsyuk M.V., Chunaryov O.V. (2012). Hydrographic zoning of the territory of Ukraine as a prerequisite for the development of plans for integrated river basin management. Journal of Hydrology, Hydrochemistry, Hydroecology. T.2. 8-16. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2012_2_3
 23. Grebin V.V., Mokin V.B., Stashuk V.A., Khilchevsky V.K., Yatsyuk M.V., Chunaryov O.V., Kryzhanovsky E.M., Babchuk V.S., Yaroshevich O.E. (2013). Methods of hydrographic and water management zoning of the territory of Ukraine in accordance with the requirements of the Water Framework Directive of the European Union. Kyiv. Interpress LTD. 55. Available at: http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/kafedra_gidrol_lit/7_n_lit_gidrol.pdf
 24. Evdokimov V.O., Zhuk V.M. (2015). State regulation of water management development through the introduction of an integrated approach to water resources management on a basin basis. Journal of Actual problems of public administration. No 1 (47). 139-145 Available at: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/apdu/2015-1/doc/2/09.pdf>
 25. Jacyk A.V., Goreva V.M. (2000). Water management in Ukraine. Kyiv. Geneza, 456
 26. Gritsenko A.V., Vasenko O.G., Kresin V.S. (2016). Improving the rules of protection of surface waters of Ukraine from pollution by return waters. Problems of environmental protection and ecological safety. No 28. 3-13
 27. Ryabets K.A. (2018). Formation of the essence of the concept «water management of Ukraine: scientific, political, legal factors». National Academy of Public Admin-

- istration under the President of Ukraine. Methodology, theory and history of public administration. Bulletin of the NAPA. Series "Public Administration" No 3. 19-25 Available at: <http://visnyk.academy.gov.ua/pages/dop/81/files/40bb3c99-2bbb-4ed0-9cfe-e3eec61ba1ea.pdf>
28. Voitenko L.V., Stokal V.P. & Slobodian, A.O. (2018). Risk assessment of surface water pollution by municipal wastewater effluent (the case of Ikva River) (in Ukrainian). Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics. No 28, C.39-50
29. Voitenko L.V., Stokal V.P. & Myronuk O.O. (2018). Ecological assessment of local water resources on the example of the city of Kamianets-Podilskyi. Taurian Scientific Bulletin. 1, No 100. 287-292.
30. Report on the results of the study of the national chicken meat market (2016-2018). Antimonopoly Committee of Ukraine, Department of Markets of the Agro-Industrial Complex of the Department of the Production Sphere. 81. Available at: <https://amcu.gov.ua/storage/app/sites/1/%20%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0.pdf>
31. Melnik V.O. Ecological problems of modern poultry farming. Interdepartmental scientific thematic collection «Poultry», Institute of Poultry UAAN. 63. Available at: <http://avianua.com/archiv/ptahivnictvo/63/1.pdf>
32. Water Framework Directive (Directive 2000/60/EC on the establishment of the Community framework for water policy). Retrieved from URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962
33. Marine Strategy Framework Directive (Directive 2008/56/EC establishing a framework for Community action in the field of marine policy). Retrieved from URL: <https://menr.gov.ua/files/docs/2008%2056%20%D0%84%D0%A1.pdf>
34. Directive 91/271/EC on urban waste water treatment. Retrieved from URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_911
35. Flood Directive (Directive 2007/60 / EC on the assessment and management of flood risks). Retrieved from URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_b29
36. Drinking Water Directive (Directive 98/83 / EC on the quality of water intended for human consumption). Retrieved from URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_963
37. National Report «Sustainable Development Goals: Ukraine» (2017). Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine. 176. Available at: http://www.un.org.ua/images/SDGs_NationalReportUA_Web_1.pdf
38. Geopolitical position of Ukraine. Retrieved from URL: <http://www.geograf.com.ua/geoinfocentre/20-human-geography-ukraine-world/713-geopolitichne-polozhennya-ukrajini>
39. Council Directive 91/676/EC relating to the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Available at: <https://menr.gov.ua/files/docs/91%20676%20%D0%84%D0%95%D0%A1.pdf>
40. Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine «On approval of the Methodology for assigning a surface water massif to one of the classes of ecological and chemical states of a surface water massif, as well as assigning an artificial or significantly modified surface water massif to one of the ecological potential classes». (2019). No 5. Retrieved from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text>
41. Golubtsov A., Biatov A., Seliverstov O., Sadogurskaya S. (2017). Project report «Water is close: rising sea levels in Ukraine due to climate change». Available at: https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2018/11/voda_blyzko_report_full-c.pdf
42. Korzhunova N. (2015). Institutional preconditions for the implementation of Directive 2008/56 / EC establishing a framework for Community action in the field of environmental policy for the marine environment in Ukraine. Scientific jour-

- nal «Economics of nature management and environmental protection». 44-53. Retrieved from URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/epod_2015_2015_7
43. Shtogrin G.S. (2018). Implementation of the principles of integrated management in the system of branch subcomplexes of water management. Scientific journal «Economics of nature management and environmental protection». 19. – C. 413-420. Available at: http://www.market-infr.od.ua/journals/2018/19_2018_ukr/70.pdf
44. Romashchenko M. et al. (2017). Scientific principles of restoration and development of irrigation in Ukraine in the current conditions (in Ukrainian). Land Reclamation and Water Management. 106, 3-14
45. Law of Ukraine «On Amendments to the Law of Ukraine» On Drinking Water and Drinking Water Supply»» (2017). No 2047-VIII. Retrieved from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2047-19>
46. Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine «On approval of the Methodology for developing maps of flood threats and risks». (2018). No 153. Retrieved from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0350-18#Text>
47. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the Strategy for implementation of the provisions of directives and regulations of the European Union in the field of international maritime and inland water transport («road map»)». (2017). Retrieved from URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/747-2017-%D1%80#Text>
48. Technical report: development of the draft Dnieper River Basin Management Plan in Ukraine: phase 1, step 2 - Identification of territories (zones) subject to protection; proposals for environmental goals. (2019). European Union Water Initiative for the Eastern Partnership countries (EUWI+). Retrieved from URL: https://www.euwiplu-seast.eu/images/2019/12/PDF/EUWI_UA_Dnipro_Protected_Aras_UA.pdf
49. Unrod V.I., Kaczmarek B., Khilik J.O. (2019). Assessment of the quality of water resources use in terms of environmental pollution. X International scientific-practical conference «Tourism and hotel and restaurant business in Ukraine: problems of development and regulation». Cherkasy. Cherkasy State Technological University. 157-162
50. Poonam T., Tanushree B. [et al.] (2015). Water Quality Indices – Important tools for water quality assessment: a review. International Journal of Advances in Chemistry. Vol.1, No.1. 19–29. Available at: <http://airccse.com/ijac/papers/1115ijac02.pdf>
51. Voitenko L.V., Kopilevich V.A., Strokal M.P. (2015). The Conception Of Water Quality Assessment Used Harrington's Desirability Function For Different Kinds Of Water Consumption. Scientific and practical journal «Bioresources and nature management». Vol. 7. No 1–2. C. 25–36.
52. Abbasi T., Abbasi S.A. (2012). Water quality indices. Amsterdam: Elsevier Sci Ltd. 384
53. Final Report «Identification and delimitation of groundwater massifs in the Dnieper River Basin, Ukraine». (2019). Water Initiative plus EU for Eastern Partnership countries (EUWI+): result 2 and 3 – ENI/2016/372-403. 117
54. Strokal V.P. Anthropogenic load on the state of water and land resources: problems of local territories of Ukraine (2020). Scientific and practical journal «Balanced nature management». No 2. 119-128 Available at: <http://journals.uran.ua/bnusing/article/view/208822/213059>
55. Strokal V.P., Kurochka T.L. (2020). MANAGEMENT OF THE DNIPROVSK BASIN IN THE CONDITIONS OF NITRATE POLLUTION. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference «Environmental Problems of the Environment and Environmental Management in the Context of Sustainable Development». Poltava. Poltava State Agrarian Academy. C. 61-64
56. Kurochka T.L., Strokal V.P. (2020). Dnieper river basin: management requirements.

- Abstracts of reports of the student scientific forum «Student youth and scientific progress in agro-industrial complex». Lviv. 47-48. Available at: file:///C:/Users/user/Downloads/studentska_molod_i_naukovii_progres_v_apk_tezi_dop_mizhnar_s.pdf
57. Li A., Stokral M., Bai Z., Kroeze C. & Ma L. (2019). How to avoid coastal eutrophication – a back-casting study for the North China Plain. *Science of The Total Environment*. 692, 676-690.
 58. Stokral M. et al. (2020). Cost-effective management of coastal eutrophication: A case study for the yangtze river basin. *Resources, Conservation and Recycling*. 154, 104635.
 59. Nazarov N., Cook H. & Woodgate, G. (2000). Water pollution control issues in an independent Ukraine. *Water and Environment Journal*. 14, 117-123.
 60. Stokral M. & Kroeze C. (2013). Nitrogen and phosphorus inputs to the Black Sea in 1970–2050. *Regional Environmental Change*. 13, 179-192.
 61. Miladinova S., Macias D., Stips A. & Garcia-Gorritz E. (2020). Identifying distribution and accumulation patterns of floating marine debris in the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin* 153, 110964
 62. Balabanova L.V. (2005). SWOT-analysis - the basis for the formation of marketing strategies: A textbook. Kyiv. Znanyi. 301
 63. Kravchenko O. [et al.] (2014). Principles of the Acquis Communautaire as a prerequisite for improving the water legislation of Ukraine. Lviv. 82. Available at: http://epl.org.ua/images/pdf/people/1676_EPL_Maket_Posibnyk.pdf
 64. Tarariko O., Iliencko T., Kuchm, T. & Velychk, V. (2017). Long-term prediction of climate change impact on the productivity of grain crops in Ukraine using satellite data. *Agricultural science and practice* 4, 3-13.
 65. Vasylytsiv T. & Tesliuk R. (2020). Demographic dimension of sustainable development of Ukraine *Ekonomika ta derzhava* 4, 33-38.
 66. Stokral, M. et al. (2019). Global multi-pollutant modelling of water quality: scientific challenges and future directions. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 36, 116-125

Stokral V.P, Kovpak A.V. (2020). THE BASIN APPROACH FOR WATER RESOURCES MANAGEMENT IN UKRAINE: THE SWOT ANALYSIS. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 11(4): 35-56. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/14546>. <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.04.004>.

Abstract. *This review article aims to increase our understanding in the strengths, weaknesses, opportunities and threats of implementing the basin approach for water resources management in Ukraine. To this end, this article implements that SWOT analysis for discussing the transition from the administrative approach towards the basin approach. The SWOT analysis consists of the four main aspects: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. Strengths and Weakness include strong and weak points of implementing the basin approach, respectively. Opportunities are windows for implementing actions to facilitate the basin approach and increase the effectiveness of this approach. Threats include risks for implementing the basin approach. In order to better understand opportunities, the main drivers and causes of water pollution are also discussed in the article.*

Results of the review show that climate change affects the availability of water resources strongly. Human activities namely the poultry production are important polluters of water resources. The article summarizes the correct water resources management approaches and proposes four main strategies for implementing the basin approach within the SWOT

analysis. The first strategy deals with the successful transition from the administrative management towards the basin management of water resources. The second strategy deals with an increase in the access of the public to the water resources information including water quality. The third strategy deals with integrating the European Union water-related directives in the national environmental policies. The fourth strategy deals with reducing pollution levels in water systems through improved technologies.

Next steps are to develop an integrated approach to account for strengths, weaknesses, opportunities and threats of the four strategies. It is important to develop water indicators to facilitate an integrated assessment of water resources for different water uses while accounting for water quality. Future research can focus on future scenarios to project water quality under global change and to assess effects of the national policies on reducing future water pollution from urbanization and agricultural sectors.

Keywords: *water resources, water management, causes of water pollution, the basin approach*

ВИВЧЕННЯ ВИДОВОГО СКЛАДУ МІКРОМІЦЕТІВ ОСУШУВАНИХ ҐРУНТІВ БАСЕЙНУ Р. ТРУБІЖ

ЛАДИКА М.М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5164-7117>

РУБЕЖНЯК І.Г., кандидат біологічних наук, доцент

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1875-8963>

ДОРОШЕНКО А.В., аспірантка

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2019-9980>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

E-mail: mm.ladyka@gmail.com, rubezhnyak60@gmail.com

Анотація. Дослідження кількісного та якісного складу ґрунтової мікробіоти, яка адекватно відображає ступінь антропогенного навантаження, може бути застосовано як діагностичний показник під час оцінки екологічного стану ґрунтового покриву антропогенно трансформованих біогеоценозів.

Метою цього дослідження було проаналізувати видовий склад мікроміцетів осушуваних ґрунтів басейну р. Трубіж як індикатора екологічного стану ґрунтового покриву за різного ступеня впливу господарської діяльності.

Встановлено, що на ділянці з посиленням антропогенним впливом (поле з кукурудзою на зерно на торфовищі низинному середньопотужному) загальна кількість виділених мікроміцетів є вдвічі меншою, порівняно із ділянками, де були перелоги та поле із соєю. Також тут спостерігається дуже бідний видовий склад (13 видів). З них 2 види (15 %) – відділ *Zugotusota*, серед яких переважає за концентрацією в шарі ґрунту 0-20 см *Misor plumbeus*, та 11 видів (85 %) – представники відділу *Ascomusota*.

У всіх варіантах основу мікроміцетних комплексів формували гриби-деструктори рослинних решток та кореневих виділень, які належать до роду *Penicillium*. У складі мікроміцетів осушуваних ґрунтів басейну р. Трубіж переважають представники відділу *Ascomusota* – 83-95,5 %, а представники відділу *Zugotusota* становлять 4,5-17 %.

Ключові слова: мікроміцети, біорізноманіття, осушення, ґрунт, антропогенне навантаження.

Вступ.

Сучасний антропогенний вплив на екосистеми є різноплановим і охоплює всі їхні компоненти, порушую-

чи її стале функціонування. Одним зі складових елементів екосистем є мікробіоценоз. Як зазначає Патики В. П. [1], кількісний та якісний склад ґрунтової мікробіоти адекватно ві-

дображає ступінь антропогенного навантаження й може бути використаний як діагностичний показник під час оцінки екологічного стану ґрунтового покриву антропогенно трансформованих біогеоценозів.

Тарас У. М. у своїй праці [2] акцентує увагу на тому, що аналіз основних показників видового різноманіття комплексів мікроміцетів є передумовою відновлення порушених антропогенною діяльністю земель досліджуваного об'єкта і проведення відповідних заходів рекультивациі.

У багатьох наукових публікаціях зазначено, що незначне таксономічне різноманіття комплексу мікроміцетів ґрунту є характерним для ґрунтів, які перебувають під регулярним антропогенним впливом [3-4]. Тому вивчення видового та кількісного складу мікроміцетів ґрунту має важливе значення для оцінки антропогенного впливу та глибини його прояву в екосистемах.

Метою дослідження було проаналізувати видовий склад мікроміцетів осушуваних ґрунтів басейну р. Трубіж як індикатора екологічного стану ґрунтового покриву за різного ступеня впливу господарської діяльності.

Матеріали і методи дослідження.

Дослідження проводилися на осушуваних ґрунтах у межах Трубізької осушувально-зволожувальної системи, розташованій в Лівобережному Лісостепу України у 2018 році. Для мікробіологічного аналізу використано зразки органогенних і мінеральних ґрунтів, відібраних із чотирьох дослідних ділянок із різним ступенем антропогенного навантаження. Їхнє розміщення й загальну характеристику представлено в таблиці 1.

Зразки ґрунту відбирали з верхнього прикореневого шару на глибині 0-5, 5-10 та 10-20 см за діючими ДСТУ [5]. Виділення мікроміцетів із відібраних зразків ґрунту (у трикратній або чотирікратній повторності) здійснювали методом посіву ґрунтових суспензій у відповідних розведеннях на селективні агаризовані поживні середовища за загальноприйнятими в ґрунтовій мікробіології методиками [6]. Чисельність мікроміцетів вираховували на картопляно-глюкозному агарі та середовищі Чапека. Кількість колоній, яку підраховували за посівів ґрунтових суспензій, була зумовлена кількістю колонієутворюючих одиниць (КУО).

Культивування ґрунтових грибів проводили впродовж 7 діб за температури 23-25 °С. У подальшому мікроміцети ґрунту ідентифікували за [6-9]. Математичне та статистичне опрацювання результатів виконували за допомогою статистичного пакету MS Excel.

Результати дослідження та їх обговорення.

У результаті проведених досліджень встановлено, що найбільша кількість видів мікроміцетів (28) була в торфовищі низинному глибокому карбонатному (ТН1). Основу мікроміцетних комплексів на різній глибині формували види грибів: *Beauveria bassiana*, *Mortierella alpina*, *Paecilomyces lilacinus*, *P. marquandii*, *Penicillium canescens*, *Penicillium sp.*, *Umbelopsis isabellina*, *Verticillium albo-atrum*, та представник родини Dematiaceae, які утворили найбільше число колоній (табл. 2).

Треба відмітити, що найпоширенішим виявився вид *P. lilacinus* (до $14,2 \pm 1,5$ тис. КУО/г ґрунту), який трапляється у всій товщі відбору (від 0 до 20 см). *P. marquandii*, інший пред-

1. Характеристика умов та ділянок проведення досліджень на осушуваних територіях у басейні р. Трубіж (2018 р.)

№ п/п	Назва ґрунту	Місце відбору	Характеристика умов
1.	Торфовище низинне глибоке карбонатне (ТН1)	ст. Заворичі (с. Мокрець), Броварський р-н., Київська обл. 50°40'40.70» ПнШ 31° 8'18.80» СхД	Переліг тривалого використання (понад 15 років) (суцільні зарості дикоростучої кропиви, в значно менших кількостях зустрічаються щавель кінський, суріпиця) РПГВ* 37 см
2.	Торфовище низинне середньопотужне (ТН2)	снт.Баришівка, Київська обл. 50°21'44.19»ПнШ 31°20'40.27» СхД	Поле з кукурудзою (попередник – переліг із насівми кропиви та злаковими одно- та багаторічними рослинами) РПГВ 34 см
3.	Торфовище низинне середньопотужне (ТН3)	с. Пристроми, Переяслав-Хмельницький р-н., Київська обл. 50°14'21.42» ПнШ 31°26'51.57» СхД	Поле з післяжнивними рештками сої РПГВ 34 см
4.	Лучно-чорноземний слабо солонцюватий содово-солончаковий пілувато-легкосуглинковий на оглеєному лесовидному суглинку (ЛЧ)	с. Любарці, Бориспільський р-н., Київська обл. 50°17'50.51»ПнШ 31° 09'49.20» СхД	Переліг (злакові одно- та багаторічні рослини, рідше зустрічається осот польовий та молочай) РПГВ >250 см

*РПГВ – рівні підґрунтових вод

ставник роду *Raecilomyces*, виділений зі зразка ґрунту, взятого на глибині від 5 до 20 см, у незначній кількості ($0,24 \pm 0,08$ тис. КУО/ г ґрунту).

Також, у верхніх двох шарах (0-5 та 5-10 см) виявлено сапротроф і ентомопатоген, широко розповсюджений у ґрунтах усього світу – *B. bassiana* (відповідно $4,72 \pm 0,5$ тис. та $0,24 \pm 0,03$ тис. КУО/ г ґрунту). *M. alpina*, інший представник сапротрофних грибів, присутній у верхньому шарі ґрунту 0-5 см ($4,72 \pm 0,3$ тис. КУО/ г ґрунту) та на глибині 10-20 см ($0,24 \pm 0,04$ тис. КУО/ г ґрунту). Колонії гриба-деструктора рослинних решток *U. isabellina* характерні лише для верхнього шару ґрунту

(0-5 см) ділянки ТН1. Крім того, на глибині 10-20 см знайдено в значній кількості фітопатоген *V. albo-atrum* – ґрунтовий збудник вертицильозного в'янення великої кількості культурних рослин. У ґрунтових зразках від 0 до 20 см найпоширенішими виявилися представники роду *Penicillium*. Це можна пояснити їхньою високою спороутворювальною здатністю та гнучкою адаптацією до несприятливих чинників таких як: температурний режим та вологість ґрунту.

У зразках ґрунту на глибині 0-5 см та 10-20 см ідентифіковано представників меланінвмісної родини *Dematiaceae* у відповідній кількості $4,72 \pm 0,4$ та $0,24 \pm 0,04$ тис. КУО/ г ґрунту.

2. Видовий склад мікроміцетів на ділянці ТНІ (торфовище низинне глибоке, ст. Заворичі (с. Мокрець), Броварський р-н., Київська обл., 2018 р.)

№ п/п	Мікроміцети	Глибина відбору, см		
		0-5	5-10	10-20
		тис. КУО / г сухого ґрунту		
1	<i>Absidia glauca</i>	0	*	0
2	<i>Acremonium charticola</i>	2,36±0,4	0	0
3	<i>Aspergillus ochraceus</i>	0	0	0,24±0,04
4	<i>Beauveria bassiana</i>	4,72±0,5	0,24±0,03	0
5	<i>Clonostachys rosea f. catenulata</i>	2,36±0,3	0	0
6	<i>Cylindrocarpon didymium</i>	0	0	0,24±0,05
7	<i>Emericellopsis terricola</i>	2,36±0,2	0	0
8	<i>Fusarium merismoides</i>	0	0,24±0,05	0
9	<i>F. solani</i>	0	0	0,48±0,03
10	<i>Humicola grisea var. thermoidea</i>	2,36±0,1	0	0
11	<i>Mortierella alpina</i>	4,72±0,3	0	0,24±0,04
12	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	14,2±1,5	0,24±0,02	0,48±0,06
13	<i>P. marquandii</i>	0	0,24±0,08	0,24±0,05
14	<i>Penicillium canescens</i>	0	0,71±0,07	0,48±0,04
15	<i>P. expansum</i>	0	0	0,72±0,06
16	<i>P. griseum</i>	2,36±0,5	0	0
17	<i>P. hirsutum</i>	2,36±0,2	0	0
18	<i>P. kurssanovii</i>	0	0	0,48±0,04
19	<i>P. purpurascens</i>	2,36±0,5	0	0
20	<i>P. veredictum</i>	0	0	0,24±0,03
21	<i>Penicillium sp.</i>	0	4,72±0,04	0,96±0,08
22	<i>Phialophora richardsiae</i>	2,36±0,5	0	0
23	<i>Phoma fimetii</i>	2,36±0,4	0	0
24	<i>Umbelopsis isabellina</i>	9,44±0,9	0	0
25	<i>Verticillium albo-atrum</i>	0	0	6,0±0,6
26	<i>Volutella ciliata</i>	0	0	0,72±0,06
27	Представник родини Dematiaceae	4,72±0,4	0	0,24±0,04
28	Представник родини Moniliaceae	0	0,24±0,04	0

*- чашки повністю покриті міцелієм гриба на другу добу

Окрім зазначених вище видів грибів, у шарі 0-5 см були присутні в кількості 2,36 тис. КУО/г ґрунту такі мікроміцети як: *Acremonium charticola*, *Clonostachys rosea f. catenulata*, *Emericellopsis*

terricola, *Humicola grisea var. thermoidea*, *P. griseum*, *P. hirsutum*, *P. purpurascens*, *Phialophora richardsiae*, *Phoma fimetii*.

Для 5-10 см глибини цього ґрунту є характерною велика кількість

3. Видовий склад мікроміцетів на ділянці ТН2 (торфовище низинне середньопотужне, смт. Баришівка, Київська обл., 2018 р.)

№ п/п	Мікроміцети	Глибина відбору, см		
		0-5	5-10	10-20
		тис. КУО / г сухого ґрунту		
1	<i>Apiospora montagnei</i>	0	0	0,27±0,03
2	<i>Aureobasidium pullulans</i>	0	0,28±0,04	0
3	<i>Botrytis cinerea</i>	0	0,83±0,09	0
4	<i>Fusarium culmorum</i>	0	0	0,27±0,03
5	<i>Mucor plumbeus</i>	16,6±1,5	19,6±1,3	0,27±0,05
6	<i>Paecilomyces marquandii</i>	0,28±0,04	0	0
7	<i>Penicillium citrinum</i>	0	0,28±0,04	1,89±0,3
8	<i>P. notatum</i>	0	0,55±0,08	0
9	<i>Penicillium sp.</i>	0,28±0,04	0	1,35±0,07
10	<i>Rhizopus oryzae</i>	1,1±0,09	1,1±0,05	0,54±0,07
11	<i>Verticillium dahliae</i>	0	0	0,27±0,03
12	Представник родини Dematiaceae	0,28±0,02	0,28±0,03	0
13	Представник родини Moniliaceae	0	1,1±0,03	2,43±0,3

представника зигоміцетових грибів *Absidia glauca*, який широко розповсюджений у природі. Цей представник мікроміцетів утворював одну велику колонію в чашці Петрі. На ділянці ТН1 відділ Zygomycota представлено 3 видами (11 %) з родів *Mucor*, *Mortierella*, *Umbelopsis*, відділ Ascomycota – 25 видами (89 %), серед яких за чисельністю видів домінує рід *Penicillium* (9 видів).

Вивчення зразків ґрунту торфовища низинного середньопотужного (ТН2) щодо кількісних та якісних показників мікроміцетів показало лише 13 видів грибів (табл. 3). По всій досліджуваній глибині (0-20 см) домінує сапротроф *Mucor plumbeus*, широко розповсюджений ґрунтовий гриб.

Також у шарі ґрунту від 0 до 20 см у значно меншій кількості присутній сапротроф *Rhizopus oryzae*. З глибини 5-10 см та 10-20 см виділено мікро-

міцети-деструктори роду *Penicillium*. На ділянці ТН2, як і на ТН1, у шарі ґрунту 0-5 та 5-10 см спостерігаються мікроскопічні гриби родини Dematiaceae у кількості $0,28 \pm 0,03$ тис. КУО/ г ґрунту.

На цій ділянці відділ Zygomycota репрезентований 2 видами (15 %), серед яких переважає за концентрацією у шарі ґрунту 0-20 см *Mucor plumbeus*, а відділ Ascomycota – 11 видами.

Також у зразках, відібраних із глибин 5-10 та 10-20 см, на поживному середовищі виділено мікроскопічні гриби родини Moniliaceae. У 10-20 см ґрунтовому шарі кількість колоній родини було вдвічі більше, ніж у 5-10 см. Родина Moniliaceae включає в себе багато фітопатогенів, які широко розповсюджені в ґрунті.

Крім зазначених мікроміцетів, також були наявні в незначній кількості як гриби-деструктори, так і фітопатогенні мі-

4. Видовий склад мікроміцетів на ділянці ТНЗ (торфовище низинне середньопотужне, с. Пристроми, Переяслав-Хмельницький р-н., Київська обл., 2018 рік)

№ п/п	Мікроміцети	Глибина відбору, см		
		0-5	5-10	10-20
		тис. КУО / г сухого ґрунту		
1	<i>Acremonium breve</i>	6,3±0,2	0	0
2	<i>A. roseogrisum</i>	4,2±0,3	0	0
3	<i>A. rutilum</i>	2,1±0,1	0	0
4	<i>Aspergillus ustus</i>	4,2±0,2	0	0,43±0,06
5	<i>Chrysosporium sp.</i>	2,1±0,2	0	0
6	<i>Cylindrocarpon didymium</i>	2,1±0,1	0	0
7	<i>Fusarium semitertum</i>	0	0	0,21±0,03
8	<i>F. solani</i>	4,2±0,2	0	0
9	<i>Mortierella alpina</i>	2,1±0,1	0,21±0,05	0,43±0,02
10	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	2,1±0,3	0,21±0,06	1,50±0,2
11	<i>P.marquandii</i>	2,1±0,1	0	0,21±0,02
12	<i>Penicillium canescens</i>	0	0	2,57±0,12
13	<i>P. corylophilum</i>	0	0	0,21±0,01
14	<i>P. fellutanum</i>	2,1±0,19	0	0
15	<i>P. kurssanovii</i>	2,1±0,1	0	0
16	<i>P. stoloniferum</i>	0	0,21±0,02	0
17	<i>P. vinaceum</i>	0	0	0,21±0,02
18	<i>Penicillium sp.</i>	0	*	2,14±0,12
19	<i>Phialophora richardsiae</i>	4,2±0,1	0	0
20	<i>Verticillium dahliae</i>	0	0	0,21±0,02
21	Представник родини Dematiaceae	0	0	0,86±0,06
22	Представник родини Moniliaceae	0	0,21±0,01	0

* - дуже багато представники 3-х видів роду *Penicillium*

кроміцети: *P. marquandii*, *A. pullulans*, *B. cinerea*, *P. notatum*, *Apiospora montagnei*, *F. culmorum* та *V. dahliae*.

У торфовищі низинному середньопотужному (ТНЗ) ідентифіковано 22 види мікроскопічних грибів. Серед них, у товщі 0-20 см, виділено *M. alpina* та *P. lilacinus*, кількість колоній яких зменшується зі збільшенням глибини відбору зразків. На глибинах

0-5 см та 10-20 см було ідентифіковано *A. ustus* і *P. marquandii* (табл. 4).

І тільки в одному досліджуваному шарі відбору ґрунтових зразків присутні в різних концентраціях інші мікроміцети: 0-5 см – 9 видів, 5-10 см – 2 види та 10-20 см – 6 видів. Уміст *Penicillium sp.* був у значній кількості на глибині 5-10 см, що ускладнило його підрахунок, а в шарі ґрунту 10-

5. Видовий склад мікроміцетів на ділянці ЛЧ (лучно-чорноземний слабкосолонцюватий содово-солончаковий ґрунт, с. Любарці, Бориспільський р-н., Київська обл., 2018 р.)

№ п/п	Мікроміцети	Глибина відбору, см		
		0-5	5-10	10-20
		тис. КУО / г сухого ґрунту		
1	<i>Acremonium charticola</i>	0	0	0,41±0,03
2	<i>A. kiliense</i>	0,41±0,02	0	0
3	<i>Actinomucor elegans</i>	0	0,41±0,02	0,61±0,03
4	<i>Alternaria tenuissima</i>	0	0	0,41±0,04
5	<i>Apiospora montagnei</i>	0,41±0,04	0	0
6	<i>Chaetomium sp.</i>	0,21±0,02	0	0
7	<i>Fusarium lactis</i>	0	0	1,22±0,03
8	<i>F. oxysporum</i>	0	0	1,63±0,02
9	<i>Fusarium sp.</i>	0,21±0,01	0	0
10	<i>Geomyces pannorum</i>	0,21±0,01	0	0
11	<i>Humicola grisea</i>	0	0	0,61±0,01
12	<i>Mortierella alpina</i>	0	0	0,61±0,01
13	<i>Mucor plumbeus</i>	1,44±0,2	2,47±0,3	0
14	<i>Mucor sp.</i>	0	0	0,41±0,02
15	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	0	0	0,41±0,01
16	<i>P. marquandii</i>	0,21±0,02	0	0
17	<i>Penicillium canescens</i>	0	0	0,20±0,005
18	<i>P. granulatum</i>	0,21±0,01	0	0
19	<i>Penicillium sp.</i>	0,41±0,02	0	0,41±0,03
20	<i>Phialophora europaea</i>	0	0	1,02±0,01
21	<i>Phoma cava</i>	0,21±0,005	0	0
22	<i>Rhizopus oryzae</i>	0	1,03±0,1	0
23	<i>Stachybotrys chartarum</i>	0	0	0,20±0,02
24	<i>Trichocladium asperum</i>	0,21±0,008	0	0
25	<i>Trichoderma aureoviride</i>	0	0	0,20±0,01
26	<i>Volutella ciliata</i>	0	0	0,20±0,02
27	<i>Wardomyces anomalus</i>	0,21±0,015	0	0
28	Представник родини Dematiaceae	0,21±0,01	0	0
29	Представник родини Moniliaceae	0,21±0,02	0	0

20 см його вміст складав $2,14 \pm 0,12$ тис. КУО/ г ґрунту. Крім того, у верхньому 0-5 см шарі в значній концен-

трації ($6,3 \pm 0,3$ тис. КУО/ г ґрунту) виділено *Acremonium breve*. На ділянці ТНЗ відділ Zygomycota представ-

лено одним видом (4,5 %), а відділ Ascomycota – 21 видом (95,5 %).

Видовий склад мікроміцетів у лучно-чорноземному слабко солонцюватому содово-солончаковому піллуватому-легкосуглинковому на оглеєному лесовидному суглинку ґрунті (ЛЧ) налічував 29 представників мікроміцетів. Вони наявні, як правило, в одному певному шарі, крім *Actinomicor elegans*, *M. plumbeus* та *Penicillium sp.*, які виділено з двох шарів у відібраних зразках. Зокрема, *M. plumbeus* є на глибині 0-5 та 5-10 см у кількостях $1,44 \pm 0,2$ та $2,47 \pm 0,3$ тис. КУО/ г ґрунту, *A. elegans* – на глибині 5-10 та 10-20 см ($0,41 \pm 0,02$ і $0,61 \pm 0,03$ тис. КУО/ г ґрунту), а *Penicillium sp.* – у 0-5 см і 10-20 см (відповідно $0,41 \pm 0,02$ і $0,41 \pm 0,03$ тис. КУО/ г ґрунту) (табл. 5).

Зі зразків із глибини 0-5 см (крім вище зазначених), виділено 12 видів мікроміцетів, які є грибами-деструкторами або фітопатогенами.

Порівняно із попереднім шаром, 5-10 см є кількісно збідненим на мікроміцети (3 види). Тут, окрім вказаних вище, присутній тільки вид *Rhizopus oryzae* ($1,03 \pm 0,1$ тис. КУО/ г ґрунту).

На глибині 10-20 см спостерігали 15 видів мікроміцетів, концентрація яких варіює від $0,20 \pm 0,005$ до $1,63 \pm 0,02$ КУО/ г ґрунту. На ділянці ЛЧ переважають гриби відділу Ascomycota – 24 види (83 %), а відділ Zygomycota відображений 5 видами (17 %) з родів *Mucor* та *Mortierella*.

Висновки і перспективи.

Загальна кількість виділених мікроміцетів у осушуваних органогенних ґрунтових відмінах (ТН1, ТН3) та лучно-чорноземних (ЧЛ) є практично однаковою, за винятком ділянки ТН2, де вона є вдвічі меншою.

У всіх варіантах основу мікроміцетних комплексів формували гриби-деструктори рослинних решток та кореневих виділень, які належать до роду *Penicillium*. У середньому шарі ґрунту ділянки ТН1 (5-10 см) є дуже високою концентрація *Absidia glauca*. Дуже бідний їх видовий склад спостерігається на ділянці ТН2. Вона використовувався для вирощування кукурудзи на зерно, що передбачає використання інтенсивних технологій із залученням протруйників, гербіцидів та інсектицидів для отримання високого врожаю. Це, відповідно, вплинуло на склад мікробного ценозу ґрунту. Щодо складу мікроміцетів ділянки ЛЧ, то тут переважають гриби відділу Ascomycota. Характерно, що вміст мікроміцетів на цій ділянці значно менший, ніж у ТН1 (торфовищі низинному глибокому карбонатному) та ТН3 (торфовищі низинному середньопотужному), що може бути пов'язано з особливостями ґрунту. Найбільшим видовим розмаїттям грибів характеризуються верхня (0-5 см) та нижня частини (10-20 см) глибини відбору зразків ґрунту.

Список цитованої літератури

1. Palyka, V. P., Symochko, Yu. L. (2013). Mikrobiolohichniy monitorynh gruntu pryrodnykh ta transformovanykh ekosystem Zakarpattia Ukrainy [Soil microbiological monitoring of natural and transformed ecosystems in the Transcarpathian region of Ukraine]. Microbiological Journal, 75 (2), 21-31 [in Ukrainian].
2. Taras, U. M. (2014). Zastosuvannya pokaznykiv vydovoho riznomanittia mikromitsetiv gruntu pry otsiniuvanni porushennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha vnaslidok dii antropohennykh faktoriv [The Use of Indicators of Species Diversity Micromycetes of Soil in Assessing Disturbance

- of the Natural Environment as the Result of Anthropogenic Factors]. Scientific Bulletin of UNFU, 24.8, 136-139 [in Ukrainian].
3. Voronin, L. V., Kolesnikova, I. Ya. (2012). Initsirovannye komplekсы pochvennykh gribov v agrotsenozakh [Initiated Complexes of Soil Fungi in Agrocenosis]. Yaroslavl Pedagogical Bulletin, 1 (III) (Natural Sciences), 90-93 [in Russian].
 4. Yakimets M. V., Eremeeva S. V. (2007). Bioraznობიზიე მიკროსკოპიკური გრიბი პოხვი ნიჟნეი პოვოლჟ'ია [Biodiversity of microscopical fungi of soils in the Low Volga Region]. Vestnik of Astrakhan State Technical University, 4 (39), 125-127 [in Russian].
 5. DSTU ISO 10381-6:2001. Yakist' gruntu. Vidbir prob. Chastyna 6: Nastanovy shchodo vidboru, obrobky ta zberihannya gruntu dlya ot-sinky aerobnykh mikrobiolohichnykh protse-siv v laboratorii [Soil quality. Sampling. Part 6. Guidelines for soil selection, treatment and storage for the study of aerobic microbiological processes in the laboratory]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 16. [in Ukrainian].
 6. Tepper, Ye. Z., Shil'nikova, V. K., Per-everz'eva, G. I. (2004). Praktikum po mikro-biologii [Workshop on Microbiology]. Mos-kow, Russia: Drofa, 256 [in Russian].
 7. Kirilenko, T. S. (1977). Atlas rodov pochven-nykh gribov (Ascomycetes i Fungi Imper-fecti) [Atlas genera of soil fungi (Ascomyce-tes and Fungi Imperfecti)]. Kyev: Naukova dumka, 126 [in Russian].
 8. Litvinov, M. A. (1967). Opredelitel mikroskopicheskikh pochvennykh gribov. Leningrad: Science, 303 [in Russian].
 9. Kirk, P. M. Cannon, P. F. et al. (eds.) (2008). Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi (10-th ed.). Wallingford, UK: CABI Publish, 771.

Ladyka Maryna M., Rubezhniak Iryna G., Doroshenko Alla V. (2020). STUDY OF THE SPECIES COMPOSITION OF MICROMYCETES OF DRAINED SOILS OF THE TRUBIZH RIVER BASIN. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 11(4): 57-65. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/14551>. <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.04.005>.

Annotation. The study of the quantitative and qualitative composition of the soil microbiota, which adequately reflects the degree of anthropogenic load, can be applied as an indicator of assessment of the ecological status of the soil of anthropogenically transformed biogeocoenosis.

The aim of the article is to analyze the species composition of micromycetes of drained soils of the Trubizh river Basin as an indicator of the ecological condition of the soil of different degrees of economic activity.

It was established that in the plot with increased anthropogenic impact (field with corn for grain on medium peatlands) the total number of isolated micromycetes was twice less than in plots of fallow lands and soybean. There was observed very poor species compositions (13 species). 2 species (15%) of Zygomycota, where predominant concentration was *Mucor plumbeus* in the soil layer 0-20 cm and 11 species (85%) of Ascomycota were found.

In all plots, the basis of micromycete complexes was formed by fungi-destructors of plant remains and root secretions of the genus *Penicillium*. The micromycetes of drained soils of the Trubizh river Basin was presented the biggest phylum Ascomycota (83-95.5%) and the phylum Zygomycota (4.5-17%) also.

Keywords: micromycetes, biodiversity, drainage, soil, anthropogenic load.

ЕФЕКТИВНІСТЬ БАКТЕРІЙ РОДУ *BACILLUS* ПРОТИ ХВОРОБ ЯЧМЕНЮ, ЯКІ СПРИЧИНЯЮТЬСЯ ГРИБОМ *BIPOLARIS SOROKINIANA*, НА РІЗНИХ ЗА СТІЙКІСТЮ СОРТАХ

Л.О. КРЮЧКОВА, доктор біологічних наук,
професор кафедри фітопатології ім. акад. В.Ф. Пересипкіна

E-mail: lkriuchkova@nubip.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0003-4993-216X>

Т.І. ПАТИКА, доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики
Національний університет біоресурсів і природокористування України
<https://orcid.org/0000-0003-1316-0516>

Анотація. Досліджено ефективність двох штамів р. *Bacillus*, *B. subtilis* 16 and *B. pumilus* 11, проти хвороб ячменю ярого, що спричиняються грибом *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker. Встановлено, що антагоністична активність залежить як від стійкості сорту, так і від штаму бактерії. Суттєве зниження розвитку темно-бурої плямистості листків відмічали на найбільш сприйнятливому до хвороби сорті ячменю Нащадок у разі обробки рослин суспензією клітин штаму *B. subtilis* 16. За внесення в ризосферу ячменю бактеріальних суспензій обох штамів відмічене суттєве зниження розвитку звичайної кореневої гнилі на сприйнятливому до хвороби сорті ячменю ярого Сяйво, що, проте, не супроводжувалося збільшенням маси проростків. Суттєвий приріст біомаси коренів і проростків при обробці бактеріальними інокулянтами відмічали на сортах із середньою стійкістю до хвороби: Себастьян і Антей.

Ключові слова: *Bacillus* spp., біологічний метод, *Bipolaris sorokiniana*, ячмінь ярий.

Актуальність.

Ячмінь є важливою зерновою культурою, четвертою у світі за значущістю після пшениці, кукурудзи й рису. І хоча на сьогодні традиційно понад 90 % зерна ячменю використовується на корм тваринам та для виробництва солоду й пивоваріння, значення ячменю як джерела дієтичного харчування для людей зростає. Зерно ячменю є чудовим джерелом харчових волокон. Стінки клітин ендосперму багаті на β -глюкани, що позитивно впливає на рівень холестерину в крові. Ячмінь містить легку форму крохмалю – мальтозу, яка легко засвоюється організмом. У ньому міститься мінімальна кількість жиру та добре збалансований за амінокислотним складом білок (Tricase et al., 2018). З огляду на вищесказане, захист ячменю від хвороб потребує розроблення екологічно безпечних методів, серед яких створення стійких сортів та використання біологічних препаратів є найбільш перспективними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

В останні роки використанню біологічних препаратів для боротьби з хворобами рослин приділяється все більше уваги. Багато штамів бактерій з антагоністичними властивостями щодо збудників хвороб рослин стали активними інгредієнтами комерційних біопрепаратів, ще більше штамів розглядаються як перспективні для створення біофунгіцидів. Дослідження антагоністичних властивостей штамів р. *Bacillus* переважно спрямовані на виявлення та ідентифікацію антимікробних речовин (Kim et al., 2016), моніторинг експресії генів, що беруть

участь у синтезі антибіотиків, та механізми індукції стійкості (Chowdhury et al., 2015, Ding et al., 2017, Gond et al., 2015, Kulimushi et al., 2017, N.V. Patyka & T.I. Patyka, 2020a, T.I. Patyka & N.V. Patyka, 2020b). Проте є необхідність у додаткових дослідженнях, спрямованих на оцінювання чинників довкілля, як біотичних, так і абіотичних, які можуть пригнічувати ефективність бактеріальних інокулянтів у виробничих умовах.

На відміну від хімічних фунгіцидів, активність бактеріальних інокулянтів в умовах *in vivo* істотно залежить від низки чинників довкілля, що суттєво обмежує їхнє практичне використання. Серед біотичних чинників генотип рослини розглядається як один із найважливіших (Notz et al., 2001, Huang et al., 2016). Високий рівень генетичної взаємодії відмічено між видами рослин та окремими штамми бактерії *Pseudomonas fluorescens*, що суттєво вплинуло на її антагоністичні властивості (Notz et al., 2001), сортами та лініями кукурудзи та штамми гриба р. *Trichoderma*, що визначало рістстимулюючу активність гриба (Harman, 2005).

Більшість біопрепаратів, створених на основі штамів р. *Bacillus*, використовуються за допомогою нанесення на насіння або листки у вигляді суспензії живих клітин бактерій. Проте результати ряду досліджень свідчать, що проміті клітини бактерій р. *Bacillus* не завжди пригнічують симптоми хвороби, особливо за нанесення їх на листову поверхню (Kriuchkova, 2017, Yoshida et al., 2001). Здатність бактерій колонізувати ризосферу та філоплану рослини, продукувати антигрибні ліпопептиди (антибіотики) та індукувати системну стійкість у рослині є

основними механізмами біологічного контролю штамів р. *Bacillus* (Cawoy et al., 2011). Властивості сорту, зокрема їхня стійкість до хвороб, можуть суттєво впливати на ці механізми.

Мета дослідження – дослідити ефективність штамів *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11 проти темно-бурої плямистості та звичайної кореневої гнилі ячменю за інокуляції філоплани та ризосфери суспензією бактеріальних клітин; оцінити вплив сортових характеристик на супресивну активність інокулянтів.

Матеріали і методи дослідження.

Об'єктами дослідження були штами *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11 із робочої колекції мікроорганізмів кафедри екобіотехнології та біорізноманіття Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП України) та ізолят гриба *Bipolaris sorokiniana* із колекції фітопатогенних грибів кафедри фітопатології ім. академіка В. Ф. Пересипкіна НУБіП України.

Штами бактерій вирощували методом глибинного культивування в колбах ємністю 250 мл із рідким середовищем LB, що містить пептон – 10 %, екстракт дріжджів – 5 % і NaCl – 10 % (рН 7,0) на качалці за 180 об./хв. протягом 72 год. за 250 °С. Суспензію клітин діставали методом центрифугування культуральної рідини при 9000 об./хв. Осад промивали 0,85 % NaCl (рН 7,0) і потім знову центрифугували в тих же умовах. Промиті клітини суспендували в стерильній воді й суспензії клітин довели до титру 10^9 КУО мл⁻¹.

Дослідження ефективності штамів р. *Bacillus* проти темно-бурої плямистості та звичайної кореневої

гнилі ячменю проводили на п'ятьох вітчизняних сортах ячменю ярого: Світоч, Антей, Сяйво, Себастьян та Нащадок. Рослини вирощували в пластикових ємностях по 5 шт., повторність досліду 10-кратна. Усього в кожному варіанті досліду аналізувались 50 рослин.

Дослідження ефективності штамів бактерій проти темно-бурої плямистості листків ячменю проводили на штучному інфекційному фоні, який створювали у фазі 3-4 справжніх листки. Спочатку на поверхню листків за допомогою пензлика наносили суспензію клітин бактерії (титр 10^9 КУО/мл) (Yoshida et al., 2001). У контрольному варіанті листки обробляли стерильною водою.

Зразу ж після висихання листової поверхні на рослини наносили суспензію конідій гриба *B. sorokiniana* (10^4 мл⁻¹) за допомогою ручного обприскувача. Для підтримання високої вологості, щоб стимулювати проростання конідій гриба та зараження, рослини поміщали в скляні ізолятори, які через 18 годин знімали та залишали рослини за кімнатної температури й вологості повітря. Обліки хвороби проводили на 7 добу після зараження, використовуючи 5-бальну шкалу (De Vleeschauwer et al., 2010).

Дослідження ефективності штамів бацил проти звичайної кореневої гнилі ячменю проводили шляхом внесення суспензії клітин бактерії (титр 10^9 КУО/мл) в субстрат (стерильний пісок), у якому вирощували рослини. Зараження збудником хвороби та обліки розвитку звичайної кореневої гнилі проводили згідно з методиками, описаними Ownley et al. (1992), Bateman (1988) та модифікованими нами з врахуванням особливостей патогена (Крючкова, 2016). Біологічну ефективність штамів

бацил оцінювали за ступенем ураження проростків (0–4 бали), а також за ваговими параметрами наростання вегетативної маси надземної частини і коренів.

Статистичний обрахунок результатів дослідження здійснювали за допомогою пакетів програм “Statgrafics” та “Microsoft Excel”.

Результати дослідження та їх обговорення.

За результатами наших попередніх досліджень, штами *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11 є досить перспективними для захисту від грибних хвороб у складі біопрепаратів для рослинництва. Відмічено їх високу антагоністичну активність проти фітопатогенних мікроміцетів *B. sorokiniana*, *Rhizoctonia solani*, *Gaeumannomyces graminis* при дослідженні в лабораторних умовах у чашках Петрі методом відстроченого антагонізму (Kriuchkova et al., 2017). Проте, передбачити активність штамів бактерій в умовах *in vivo* за даними, отриманими лише в лабораторії, малоймовірно. Мікроорганізми, які культивуються на штучних поживних

середовищах, знаходяться при цьому у не властивих для них умовах існування, і в разі потрапляння в природні умови їхня активність, у тому числі антагоністична, змінюється. Тому наступним етапом наших досліджень стало вивчення їхньої антипатогенної активності в умовах, наближених до природних. Такі умови забезпечуються у вегетаційному досліді, де посередником між бактерією-антагоністом та грибом-фітопатогеном є рослина-хазяїн, інфікована фітопатогеном, проти якого і ведеться боротьба.

Згідно з нашими попередніми даними (Kriuchkova, 2017), які збігаються з даними інших дослідників (Yoshida et al., 2001), обробка листової поверхні суспензією клітин бактерій може не лише не пригнічувати симптоми хвороби, але і стимулювати її розвиток. Результати ж даних досліджень свідчать, що на ефективність обробки листків ячменю бактеріальним інокулянтом впливають такі біотичні фактори як стійкість сорту до хвороби та вид (штам) бактерії. Так, обробка листків суспензією клітин штаму *B. subtilis* 16 суттє-

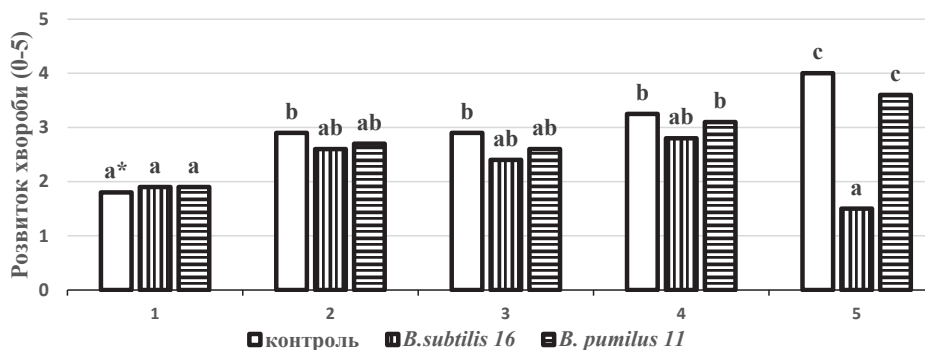


Рис. 1. Вплив штамів *p. Bacillus* на розвиток темно-бурої плямистості на листках сортів ячменю ярого.

Сорти: 1 – Світоч, 2 – Антей, 3 – Сяйво, 4 – Себастьян, 5 – Нащадок

Примітка: * - різні літери свідчать, що відмінність між середніми даними є істотною

во пригнічувала хворобу на найбільш сприйнятливому сорті Нашадок та дещо інгібувала її розвиток на середньо-стійких сортах Антей, Сяйво та Себастьян (рис. 1).

При нанесенні на листки ячменю сорту Нашадок суспензії клітин *B. subtilis* 16 розвиток хвороби знижувався у 2,7 рази і більше, на інших сортах це зниження становило 10,5-17,3 %. За обробки рослин суспензією клітин штаму *B. pumilus* 11 зниження розвитку хвороби не перевищувало 4,6-10,3 %. Водночас на сорті Світоч, стійкість якого до хвороби була найвищою, обробки штамами бацил не лише не сприяли пригніченню хвороби, але і дещо стимулювали розвиток симптомів.

Аналогічно, за внесення суспензії клітин штаму *B. subtilis* 16 у субстрат для вирощування рослин суттєвий інгібуючий ефект проти звичайної кореневої гнилі спостерігався на рослинах сорту Сяйво (до 33,2 %), який є найбільш сприйнятливим до хвороби (рис. 2).

Деякий супресивний ефект відмічено на сортах Себастьян (26,1 %) та

Антей (14,0 %). Штам *B. pumilus* 11 суттєво пригнічував розвиток хвороби на рослинах сорту Сяйво (до 43,2%), дещо менше – на сорті Антей (16,1 %). Проте, на стійких до хвороби сортах Нашадок та Світоч супресивного ефекту штамів бацил не спостерігали. Внесення в ризосферу суспензій клітин даних штамів не лише не супроводжувалося зменшенням розвитку хвороби, але навіть сприяло розвитку симптомів.

Рістстимулююча активність штамів р. *Bacillus* проявлялась у збільшенні кореневої та надземної маси проростків ячменю. Зокрема, це відмічали на сортах Себастьян та Антей. За внесення в ризосферу суспензії клітин штаму *B. subtilis* 16 маса коренів проростка збільшувалась у сорту Себастьян на 32,1 %, у сорту Антей – на 29,3 % (Рис.3).

Маса надземної частини проростка збільшувалась відповідно на 43,5 і 46,5 % (Рис. 4).

За використання суспензії клітин штаму *B. pumilus* 11 маса коренів та надземної частини проростка у сорту Антей збільшилась удвічі. Проте на

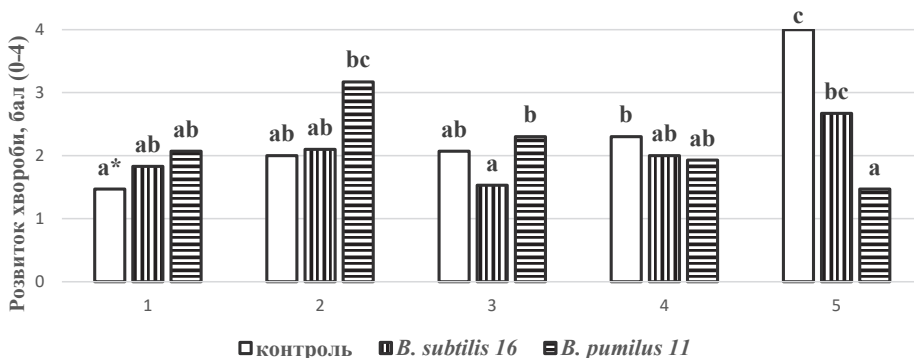


Рис. 2. Вплив штамів р. *Bacillus* на розвиток звичайної кореневої гнилі на сортах ячменю ярого.

Сорти: 1 – Нашадок, 2 – Світоч, 3 – Себастьян; 4 – Антей; 5 – Сяйво

Примітка: * - різні літери свідчать, що відмінність між середніми даними є істотною

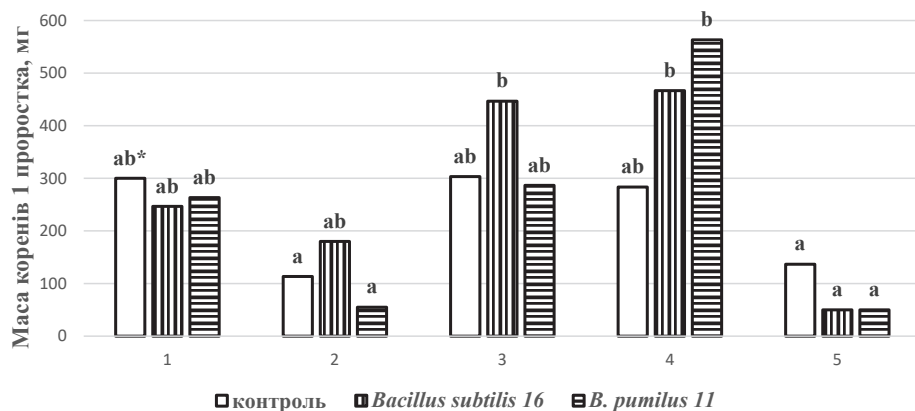


Рис. 3. Зміни маси коренів проростків ячменю ярого за обробки бактеріальними суспензіями штамів *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11 на фоні зараження *B. sorokiniana*

Сорти: 1 – Нашадок; 2 – Світоч, 3 – Себастьян; 4 – Антей; 5 – Сяйво

Примітка: * - різні літери свідчать, що відмінність між середніми даними є істотною

стійких сортах Нашадок та Світоч, а також на найбільш сприйнятливому сорті Сяйво, збільшення ростових параметрів проростків не відмічали.

Отже, результати наших досліджень свідчать про вплив генетич-

ного компонента на біологічну ефективність мікробних штамів. Це може бути зумовлено кількома причинами. Наприклад, Notz et al. (2001) вважають, що генотип хазяїна на рівні виду та сорту суттєво впливає на

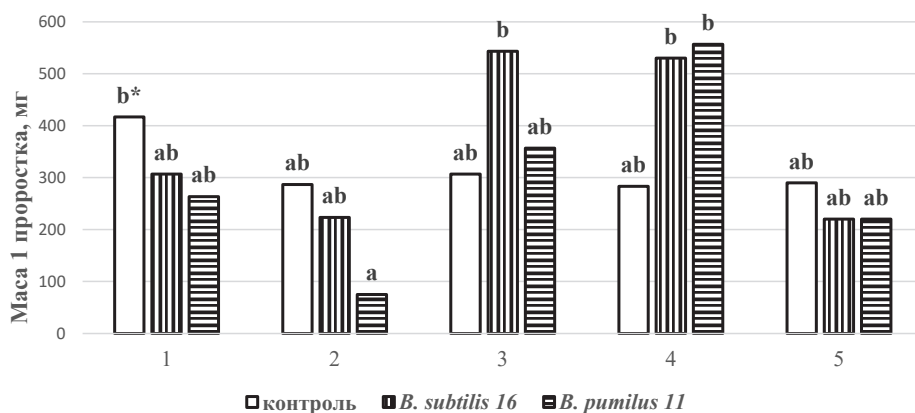


Рис. 4. Зміни маси надземної частини проростків ячменю ярого за обробки бактеріальними суспензіями штамів *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11 на фоні зараження *B. sorokiniana*

Сорти: 1 – Нашадок; 2 – Світоч, 3 – Себастьян; 4 – Антей; 5 – Сяйво

Примітка: * - різні літери свідчать, що відмінність між середніми даними є істотною

синтез антимікробних речовин (антибіотиків) бактерією *Pseudomonas fluorescens* СНА0 в ризосфері пшениці, кукурудзи, квасолі та огірків. У дослідженнях Harman (2005) за високого рівня генетичної взаємодії між гібридами й сортами кукурудзи та штамом *Trichoderma* T22 найбільший рістстимулюючий ефект проявився тоді, коли сорт кукурудзи мав певну генетичну слабкість або спостерігався біотичний чи абіотичний стрес. І в наших дослідженнях найбільш ефективними виявилися обробки рослин ячменю штамми р. *Bacillus* тоді, коли сорти ячменю були сприйнятливі до хвороби, а не навпаки.

Можна припустили, що різниця в ефективності залежить лише від рівня стійкості сорту до хвороби. Стійкі сорти рослин або несуть гени стійкості (R-гени), спрямовані проти ефекторних генів патогена (специфічна стійкість), або належать до таксономічних груп, що перебувають за межами ареалу цих патогенів (неспецифічна стійкість) (Nurnberger & Lipka, 2005). Гриб *B. sorokiniana*, як типовий гемібіотроф, має багато генів вірулентності, проте вони менш специфічні, ніж гени більш спеціалізованих збудників. Стійкість сортів ячменю до цього патогена базується на багатьох механізмах (включаючи конститутивні бар'єри та індуковані реакції). Вони захищають рослинну тканину від інвазії будь-яким мікроорганізмом, незалежно від того, є він патогенним, нейтральним, чи навіть корисним для рослини.

Стійкість сорту можна розглядати як важливий фактор, який протистоїть бактеріальному інокулянту в ризоплані та філоплані стійких сортів. Проте на стійких сортах і розвиток хвороби відбувається повільніше, а

це твердження дещо суперечить нашому попередньому висновку про вищу ефективність штамів бацил при температурі 17 °С, коли розвиток темно-бурої плямистості відбувається повільніше, ніж при 25 °С (Kriuchkova, 2017). Крім того, штамми бактерій можуть активувати захисні реакції рослин, збільшуючи тим самим стійкість до хвороби (Rudrappa et al., 2005), тому стійкість сорту є важливим, але не єдиним поясненням низької ефективності біопрепаратів на стійких сортах. Важливим механізмом біологічного контролю штамів р. *Bacillus* є здатність колонізувати тканини рослин, де вони повинні ефективно конкурувати з іншими мікроорганізмами за поживні речовини (Cawoy et al., 2011). Існує багато непрямих доказів того, що конкуренція між патогенними та непатогенними мікроорганізмами за поживні речовини є важливим чинником обмеження розвитку хвороб рослин (Pal & McSpadden Gardener, 2006).

Результати даних досліджень також є непрямим підтвердженням того, що рослинні екsudати в ґрунті та на поверхні рослини більше, ніж механізми стійкості, можуть впливати на ефективність штамів р. *Bacillus*. Відсутність супресивної дії бактеріального інокулянта на стійких до *B. sorokiniana* сортах ячменю можна пояснити обмеженою кількістю поживних речовин, що постачаються рослиною-хазяїном до непошкодженої тканини рослин. Чим більше пошкодження листків та коренів збудником хвороби, тим вища їхня колонізація штамми р. *Bacillus*, що призводить до зниження розвитку хвороби та стимулювання росту рослини саме на сприйнятливих до хвороб сортах із високою ураженістю.

Висновки і перспективи.

Штами *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11 є досить перспективними для захисту рослин від грибних захворювань у складі біопрепаратів для рослинництва. Проте їхня ефективність залежить від низки факторів, зокрема, від стійкості сорту. Нами встановлено, що найвищу ефективність штами р. *Bacillus* проявляють на сортах ячменю ярого, сприйнятливих до хвороб. Водночас на стійких сортах зниження розвитку хвороб та стимулювання росту рослин не спостерігається. Низьку ефективність бактеріального інокулянту на стійких сортах можна пояснити, по-перше, механізмами стійкості рослини до хвороби, які активізуються у разі нанесення суспензії клітин бактерії на рослину і зменшують їхнє виживання в ризоплані та філоплані. По-друге, на сприйнятливих сортах суттєво вищий рівень руйнування рослинної тканини патогеном, що супроводжується підвищеним вмістом багатих на поживні речовини рослинних ексудатів та сприяє їхня колонізації штамами р. *Bacillus*.

Є необхідність у подальших дослідженнях особливостей взаємовідношень фітопатогенних грибів з антагоністичними бактеріями – потенційними агентами біологічного контролю, прямо та опосередковано, через рослину-хазяїна. Беручи до уваги специфіку зараження рослини тим чи іншим фітопатогеном, особливості формування стійкості та вплив цих факторів на колонізацію тканин бактеріями - антагоністами, можна підвищити ефективність біологічних препаратів, що так само сприятиме екологізації захисту сільськогосподарських культур від хвороб.

References

1. Tricase C., Amicarelli V., Lamonaca E., Rana R.L. (2018) Economic analysis of the barley market and related uses. Grasses as food and feed. / Ed. Z. Tadele Univ. of Bern, Switzerland. DOI: 10.5772/interchopen. 78967
2. Kim, Y.S., Balaraju, K., Jeon, Y.H. (2016) Biological characteristics of *Bacillus amyloliquefaciens* AK-0 and suppression of ginseng root rot caused by *Cylindrocarpon destructans*. *Journ Appl. Microbiol.*, 122. 166-179. <https://doi.org/10.1111/jam.13325>
3. Ding, T., Su, B., Chen, X., Xie, S., Gu, S., Wang, Q., Huang, D., Jiang, H. (2017) An endophytic bacterial strain isolated from *Eucommia ulmoides* inhibits southern corn leaf blight. *Front. Microbiol.*, 8, Article 903. DOI 10.3389/fmicb.2017.00903
4. Chowdhury, S.P., Uhl, J., Grosch, R., Alquerres, S., Pittroff, S., Dietel, K., Schmitt-Kopplin, P., Borriss, R., Hartmann, A. (2015) Cyclic lipopeptides of *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* colonizing the lettuce rhizosphere enhance plant defense responses toward the bottom rot pathogen *Rhizoctonia solani*. *Mol Plant-Microbe Inter.*, 28. 984-995. <https://doi.org/10.1094/MPMI-03-15-0066-R>
5. Gond, S.K., Bergen, M.S., Torres, M.S., White, J. F. Jr. (2015) Endophytic *Bacillus* spp. produce antifungal lipopeptides and induce host defense gene expression in maize. *Microbiol Res.*, 172. 79-87. DOI: 10.1016/j.micres.2014.11.004
6. Kulimushi, P.Z., Arias, A.A., Franzil, L., Steel, S., Ongena, M. (2017) Stimulation of fengycin-type antifungal lipopeptides in *Bacillus amyloliquefaciens* in the presence of the maize fungal pathogen *Rhizomucor variabilis*. *Frontiers in Microbiol.* 8, article 850. DOI 10.3389/fmicb.2017.00850
7. Patyka, N.V., Patyka, T.I. (2020) Symbiotic microbial communities of insects: functioning and entomopathogenic action potential initiation on the example of *Bacillus*

- thuringiensis. Mikrobiol Z., 82(1). 62–73. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.01.062>
8. Patyka, T.I., Patyka, N.V. (2020) *Bacillus thuringiensis* spp. *israelensis* and Control of *Aedes aegypti* Invasive Mosquitoes Species in Ecosystems. Mikrobiol Z., 82(5). 88–97. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.05.088>
9. Notz, R., Maurhofer, M., Schnider-Keel, U., Duffy, B., Haas, D., Defago, G. (2001) Biotic factors affecting expression of the 2,4-diacetylphloroglucinol biosynthesis gene *phlA* in *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strain CHA0 in the rhizosphere. Phytopathol. 91. 873-881. <https://doi.org/10.1094/PHTO.2001.91.9.873>
10. Huang, C. N., Lin, C. P., Hsieh, F. C., Lee, S. K., Cheng, K. C., & Liu, C. T. (2016). Characterization and evaluation of *Bacillus amyloliquefaciens* strain WF02 its biocontrol activities and genetic responses against bacterial wilt in two different regarding resistant tomato cultivars. World journal of microbiology & biotechnology, 32(11), 183. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2143-z>
11. Harman, G.E. (2006) Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. Phytopathol., 96. 190-194. <http://dx.doi.org/10.1094/PHTO-96-0190>
12. Kriuchkova, L. (2017) Biological control of leaf disease of barley with *Bacillus* strain. Biologija, 63 (3). 289-295. <https://doi.org/10.6001/biologija.v63i3.3584>
13. Yoshida, S., Hiradate, S., Tsukamoto, T., Hatakeda, K., Shirata, A. (2001) Antimicrobial activity of culture filtrate of *Bacillus amyloliquefaciens* RC-2 isolated from mulberry leaves. Phytopathol., 91. 181-187. <http://dx.doi.org/10.1094/PHTO.2001.91.2.181>
14. Cawoy, H., Bettiol, W., Fickers, P., Ongena, M. (2011) *Bacillus*-based biological control of plant diseases, in: Stoytcheva, M. (Eds.), *Pesticides in the Modern World – Pesticides Use and Management*. IntechOpen, pp. 273-302. <http://www.intechopen.com/books/pesticides-in-the-modern-world-pesticides-use-and-management/bacillus-based-biological-control-of-plant-diseases>
15. De Vleeschauwer, D., Yang, Y., Cruz, C.V., Hofte, M. (2010) Absciscic acid-induced resistance against the brown spot pathogen *Cochliobolus miyabeanus* in rice involves MAP kinase-mediated repression of ethylene signaling. Plant Physiol., 152. 2036-2052. www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.109.152702
16. Ownley, B.H., Weller, D.M., Thomashow, L.S. (1992) Influence of in situ and in vitro pH on suppression of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* by *Pseudomonas fluorescens* 2-79. Phytopathol. 82. 178-184.
17. Bateman, G.L. (1988) *Pseudocercospora anguioides*, a weakly pathogenic fungus associated with eyespot in winter wheat at a site in England. Plant Path. 37. 291 – 296
18. Kriuchkova L. (2016) Korenevi i prykorenevi khvoroby pshenytsi [Root and stem-base diseases of wheat]. NULESU, Kyiv, 164 p. (In Ukrainian)
19. Kriuchkova, L., Patyka, T., Shmyhel, T. (2017) In vitro potential of two *Bacillus* strains as biocontrol agents against plant pathogenic fungi. VI annual scientific conference «Biotechnology: accomplishment and hopes». NULESU, Kyiv. 24-25.
20. Nurnberger, T., Lipka, V. (2005). Non-host resistance in plants: new insights into an old phenomenon. Mol Plant Pathol. 6(3). 335-345. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2005.00279.x>
21. Rudrappa, T., Czymmek, K.J., Pare, P.W., Bais, H.P. (2008). Root-secreted malic acid recruits beneficial soil bacteria. Plant Physiol. 148. 1547-1556. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.108.127613>
22. Pal, K.K., McSpadden Gardener, B. (2006). Biological control of plant pathogens. in: The Plant Health Instructor. pp. 1-25. DOI 10.1094/PHI-2006-1117-02.

L.O. Kriuchkova, T. I. Patyka (2020). EFFICACY OF BACILLUS SPP. STRAINS AGAINST BARLEY DISEASES CAUSED BY BIPOLARIS SOROKINIANA ON CULTIVARS OF DIFFERENT RESISTANCE. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 11(4): 66-75. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/14553>. <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.04.006>.

Abstract. The effect of *Bacillus* strains, *B. subtilis* 16 and *B. pumilus* 11, on two barley diseases caused by *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker has been studied. It was found that the activity depends on both the resistance of the cultivar against disease and the bacterial strain. The severity of spot blotch of barley decreased significantly when the cell suspension of *B. subtilis* strain 16 was sprayed on the leaves of disease-susceptible cultivars Nashchadok, but failed to inhibit the disease on the leaves of resistant cultivars. Applying the cell suspensions into plant growth media significantly inhibited the common root rot on susceptible cultivar Syaivo, which, however, was not accompanied by an increase in the biomass of seedlings. A significant increase in the weight of shoots and roots of seedlings was observed on cultivars with medium resistance to the disease: Sebastian and Antey.

Keywords: *Bacillus* spp., barley, biological control, *Bipolaris sorokiniana*, common root rot, spot blotch

ПАТОГЕННІСТЬ ІЗОЛЯТІВ ГРИБА *GAEUMANNOMYCES TRITICI* (J.WALKER) HERN.-RESTR. & CROUS – ЗБУДНИКА ОФІОБОЛЬОЗУ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ШТАМІВ *P. BACILLUS* ПРОТИ ХВОРОБИ

Л.О. КРЮЧКОВА, доктор біологічних наук,
професор кафедри фітопатології ім. акад. В.Ф. Пересипкіна

E-mail: lkriuchkova@nubip.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0003-4993-216X>

Д.Р. ОЛІФЕР, аспірант кафедри фітопатології

ім. акад. В.Ф. Пересипкіна

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Досліджено патогенні властивості ізолятів гриба *Gaeumannomyces* spp., виділених з уражених офіобольозом коренів пшениці озимої. Усі ізоляти характеризувалися вищою патогенністю на рослинах пшениці та ячменю, менше уражували овес, тому були ідентифіковані нами як *Gaeumannomyces tritici*. На пшениці озимій більшість ізолятів *G. tritici* проявили середній рівень патогенності, один ізолят характеризувався найвищою патогенністю, у двох ізоляти рівень патогенності був істотно нижчий.

В умовах вегетаційного дослідження досліджували вплив двох штамів *P. Bacillus*, *B. subtilis* 16 and *B. pumilus* 11, на ураженість пшениці офіобольозом при штучній інокуляції рослин ізолятами *G. tritici* різної патогенності. Встановлено, що ефективність обробки залежала від ступеня розвитку офіобольозу, а, отже, від патогенності ізоляту, взятого для інокуляції. Внесення в субстрат для вирощування пшениці суспензій клітин штамів *P. Bacillus* стимулювало ріст проростків у варіанті, де зараження проводили ізолятами *G. tritici* із середнім рівнем патогенності, а, отже, і рівень розвитку хвороби був середнім. За низької ураженості хворобою обробки рослин бактеріями були неефективними. Не відмічали стимулюючого ефекту і у варіанті з високим розвитком хвороби, де інфікування проводили високопатогенним ізолятом *G. tritici*.

Ключові слова: *Bacillus* spp., біологічний метод, *Gaeumannomyces tritici*, офіобольоз, патогенність, пшениця озима.

Актуальність.

Популяції ґрунтових грибів складаються з різних за патогенністю штамів, що значною мірою впливає на шкідливість хвороб рослин, які вони спричиняють. Офіобольозна коренева гниль, збудником якої є гриб *Gaeumannomyces tritici* (J.Walker) Hern.-Restr. & Crous (Hernandez-Reestro et al., 2016), в багатьох країнах світу - основний фактор, який знижує урожайність зернових культур (Mauler-Machnik et al., 2002). В Україні хвороба вперше була виявлена у 70-х роках минулого століття (Морщацький, 1977), а вже до середини 80-х років поширилася по всій Україні, крім деяких районів Лівобережжя (Новохатка та ін., 1990). Нині в Поліссі та Північному Лісостепу її поширення на монокультурі пшениці озимої досягає 76-100% (Грицюк, 2015).

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Незважаючи на значну увагу, яку дослідники протягом багатьох десятиліть приділяють вивченню офіобольозу, проблема захисту зернових від ураження хворобою залишається невирішеною. На сьогоднішній день накопичено велику кількість інформації про ефективність хімічних, біологічних, імунологічних, агротехнічних та інших заходів її контролю. Інтенсивні дослідження з виявлення джерел стійкості до хвороби проводяться ще з 20-х років минулого століття (Scoot & Hollins, 1983), проте суттєвих результатів поки що немає. Масштабні дослідження щодо пошуку джерел стійкості та розроблення методів оцінки стійкості сортів пшениці озимої до офіобольозу проводилися у 80-х роках і в Україні (Лісовий

та ін., 1991, Лісовий, Ріпенко, 1991). Проте сортів пшениці, стійких проти хвороби, не зареєстровано.

Очевидно, у захисті рослин пшениці від офіобольозу провідну роль відіграє не генетична стійкість сортів до хвороби. В процесі еволюції для захисту від збудника рослини набули здатності використовувати інші, зовнішні фактори. Встановлено, що на колонізацію коренів пшениці грибом *G. tritici* впливають такі фактори, як фізіологічний стан рослини, який, в свою чергу, залежить від кореневого живлення (Gilligan, 1983). Іншим чинником, який зменшує ураження пшениці хворобою, є колонізація ризосфери та корневих клітин супутньою антагоністичною мікробіотою (Cook et al., 1995). Є дані, що попередня колонізація коренів непатогенними грибами, у тому числі *G. hyphopodioides* M. hern.-Rostr. & Crous, істотно підвищує стійкість пшениці до ураження фітопатогеном *G. tritici* (Osborne et al., 2018).

Ґрунтові бактерії, зокрема рр. *Pseudomonas* і *Bacillus*, також сприяють пригніченню офіобольозної інфекції. Висока заселеність ризосферного ґрунту бактеріями підвищує супресивність ґрунту, що сприяє кращому росту рослин та підвищує стійкість до ураження фітопатогенами. Цікаво, що найбільш інтенсивно досліджувалася супресивність ґрунту саме відносно гриба *G. tritici* (Deacon, 2006). Феномен поступового зниження розвитку офіобольозу в монокультурі пшениці, що отримав назву “take-all – decline”, завжди корелює із збільшенням у ґрунті чисельності бактерій-антагоністів роду *Pseudomonas*.

На ступінь колонізації коренів рослини антагоністичною мікрофлорою можуть впливати генетичні фактори, зокрема, стійкість сорту, ві-

рулентність збудника хвороби, тощо. Здавна відомо, що популяції гриба *G. tritici* є неоднорідними і складаються з різних за патогенністю штамів (Deacon & Henry, 1978).

Мета дослідження – виділити ізоляти збудника офіобольозу пшениці та дослідити їх патогенність; встановити залежність між рівнем патогенності гриба та біологічною активністю штамів *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11 при обробці суспензіями бактеріальних клітин ризосфери пшениці, ураженої збудником.

Матеріали і методи дослідження.

Ізоляцію збудника хвороби проводили із уражених офіобольозом зразків рослин пшениці озимої, які відбирали в дослідних полях Національного університету біоресурсів і природокористування України (с. Пшеничне Васильківського району Київської обл.) та Житомирського національного агроєкологічного університету (м. Житомир). Виділенню гриба в чисту культуру передувала візуальна діагностика хвороби за почорнінням кореневої системи. Для ізоляції гриба переважно використовували тканини коренів зі слабким ступенем ураження, оскільки при сильному пошкодженні коренів патогеном виділенню його в чисту культуру перешкоджають численні гриби-сапрофіти, які як вторинні колонізатори заселили відмерлі тканини і можуть витіснити фітопатогена завдяки своєму швидкому росту в чашках Петрі на штучному поживному середовищі.

Уражені корені ретельно відмивали від ґрунту, поверхнево дезінфікували 10%-м розчином гіпохлориту натрію протягом 10 хв., двічі обполіскували стерильною водою і про-

сушували фільтрувальним папером. Шматочки коренів розміром 2-3 см поміщали на картопляно-глюкозний агар (КГА) в чашки Петрі та інкубували в термостаті при 25°C протягом 5 – 7 діб. Колонії грибів, які появлялися навколо коренів, розглядали під мікроскопом. Якщо гіфи по краях колоній мали характерний закручений вигляд («curling back») (Kwak & Weller, 2012), ці ізоляти ідентифікували як *Gaeumannomyces* spp. Для отримання моноізолятів використовували метод «hyphal-tip» (кінчика гіф): кінчики гіфів під мікроскопом акуратно відрізали і пересівали до інших чашок Петрі з КГА, чим започатковували монокультури гриба.

Належність виділених ізолятів до виду *G. tritici* (попередня назва – підвид *G. graminis* var. *tritici*) визначали за допомогою тесту на патогенність на різних видах зернових: пшениці, ячменю, вівса.

Зараження рослин пшениці озимої сорту Клариса збудником хвороби проводили згідно методики, описаної Bateman (1988) та модифікованої нами з врахуванням особливостей патогена. Моноізоляти *G. tritici* вирощували протягом 4 тижнів в чашках Петрі на КГА. Для зараження використовували колонізовані ізолятами гриба «агарові диски», вирізані в культурі гриба на рівній відстані від центру чашки. Їх поміщали у пластикові циліндричні ємності (діаметром 4,5 см) реверсом донизу на попередньо насипаний стерильний пісок, який слугував субстратом для вирощування рослин. В дисках рівномірно, на відстані 1-1,5 см один від одного, робили отвори, в які закладали по 1 насінині пшениці для пророщування. У кожній такій ємності пророщували по 5 насінин. Пов-

торність досліду – 6-кратна. Всього по кожному варіанту досліду вирощували по 30 рослин. Зверху інокулюм з насінням присипали піском і весь субстрат зволожували до повної вологоємності водогіпною водою.

Ємності ставили на тацю та залишали без поливання за температури 25°C до появи сходів. З появою сходів рослини періодично поливали, а через 6 тижнів проростки викопували, корені обмивали від піску та за симптомами (почорнінням поверхні коренів) і за наявністю на поверхні коренів характерних чорних широких гіф («runner hyphae»), видимих під мікроскопом, діагностували хворобу.

Обліки хвороби проводили за 4-бальною шкалою: 0, рослини здорові; 1, до 10% поверхні коренів почорніло; 2, від 10 до 25% коренів почорніло; 3, 25-50% коренів почорніло; 4, від 50 до 100% коренів почорніло, почорніння відмічається на основі стебла проростка (Ownley et al., 1992).

Дослідження ефективності штабів бацил проти офіобольозу пшениці проводили шляхом внесення суспензії клітин бактерій (титр 10^9 КУО/мл) в субстрат (стерильний пісок), у якому вирощували рослини. Об'єктами дослідження були штами *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11, одержані із робочої колекції мікроорганізмів кафедри екобіотехнології та біорізноманіття Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП України). Штами бактерій вирощували методом глибинного культивування в колбах ємністю 250 мл з рідким середовищем LB (Lysogeny broth) на качалці при 180 об./хв. протягом 72 год. при 25°C. Суспензію клітин отримували методом центрифугування культуральної рідини при 9000 об./хв. Осад промивали 0,85% NaCl

(рН 7,0) і потім знову центрифугували в тих же умовах. Промиті клітини суспендували в стерильній воді і доводили до титру 10^9 КУО мл⁻¹.

Статистичний обрахунок результатів дослідження здійснювали за допомогою пакетів програм “Statgrafics” та “Microsoft Excel”.

Результати дослідження та їх обговорення.

Із уражених рослин озимої пшениці було виділено 30 ізолятів темно-забарвлених грибів, які за культуральними ознаками попередньо віднесено до роду *Gaeumannomyces* (Kwak & Weller, 2012). Для подальших досліджень ми відібрали 8 моноізолятів: 2 – із дослідного поля ЖНАЕУ і 6 – із дослідного поля НУБіП України. У даних ізолятів визначали видову належність та досліджували патогенні властивості на проростках рослин-хазяїнів.

На сьогодні відомо 19 видів *Gaeumannomyces* (Hernandez-Restrepo et al., 2016). Тривалий час у межах фітопатогенного виду *G. graminis* виділяли три підвиди: *G. graminis* var. *tritici*, *G. graminis* var. *avena* та *G. graminis* var. *graminis*, серед яких перший підвид більше уражує пшеницю і ячмінь, другий – овес, а *G. graminis* var. *graminis* – рис і трави (Peixoto et al., 2013). На сьогодні перші два підвиди отримали статус окремих видів, відповідно, *G. tritici* і *G. avenae* (Hernandez-Restrepo et al., 2016).

Для встановлення видової належності виділених ізолятів *Gaeumannomyces* ми дослідили їх патогенність та спеціалізацію на трьох зернових культурах: пшениці, ячмені, вівсі. Всі ізоляти уражували корені всіх трьох культур, проте більш патогенними виявилися на пшениці та ячмені. За цією ознакою попередньо їх було

віднесено до підвиду *G. graminis* var. *tritici* (тепер – вид *G. tritici*). В лабораторії молекулярної генетики Інституту генетики, фізіології і захисту рослин Міністерства освіти і науки Республіки Молдова за використання ПЛР-аналізу та наборів праймерів, розроблених для видо-специфічних ділянок геному *Gaeumannomyces*, було підтверджено належність ізолятів до даного підвиду/виду (Kriuchkova & Deaghileva, 2018).

Патогенні властивості ізолятів досліджували на сходах рослин пшениці озимої сорту Єлик. Всі проаналізовані нами ізоляти *G. tritici* проявили високий рівень патогенності. За показником «розвиток хвороби» істотно вищою патогенністю порівняно з іншими ізолятами характеризувався ізолят *G. tritici* 9/1 (Табл.1). Більшість інших ізолятів проявили середню патогенність (3/14, 7/14, 2/16/17, 3/16/17, 16/16), і лише два ізоляти (1/14, 4/16/17) виявилися низькопатогенними.

За результатами наших попередніх досліджень, попри наявність низькопатогенних ізолятів у популяціях гриба *G. tritici*, інші ґрунтові патогени - *Fusarium* spp., *Pythium* spp. - значно поступалися йому як за агре-

сивністю, так і за співвідношенням високопатогенних і низькопатогенних штамів (Kriuchkova & Gritsyuk, 2017). Це дає підстави розглядати офіобольоз як найбільш небезпечну серед корневих хвороб пшениці.

Слід відмітити, що зараження збудником офіобольозу коренів рослин пшениці має свої особливості. Збудник не руйнує клітини поверхні коренів, як це відбувається при зараженні іншими ґрунтовими патогенами (*Fusarium* spp., *Pythium* spp.), а на першому етапі колонізує їх поверхню, обплітаючи мереживом чорних широких гіф. Тому корені спочатку не руйнуються, а навпаки, спостерігається деяка стимуляція їх росту порівняно з незараженим контролем. Потім збудник проникає всередину судин кореневої системи, закупорюючи її, що призводить до блокування надходження води до надземної частини рослини внаслідок чого рослина в'яне і гине. Навіть на дорослих рослинах симптоми хвороби часто залишаються непомітними через непошкодженість зовнішніх тканин кореня, а зниження продуктивності і навіть загибель рослин часто приписують іншим факторам.

1. Ізоляти *Gaeumannomyces tritici*, виділені із рослин пшениці озимої

Ізолят	Місце походження	Рік	Розвиток хвороби*	
			бал(0-4)	%
1/14	Фітодільниця ЖНАЕУ, м. Житомир	2014	1,10	27,5
3/14	Фітодільниця ЖНАЕУ, м. Житомир	2014	2,34	58,5
7/14	Фітодільниця ЖНАЕУ, м. Житомир	2014	1,87	46,8
2/16/17	«Дослідне поле» НУБіП України, с. Пшеничне	2017	2,20	55,0
3/16/17	«Дослідне поле» НУБіП України, с. Пшеничне	2017	1,46	36,5
4/16/17	«Дослідне поле» НУБіП України, с. Пшеничне	2017	1,10	27,5
16/16	«Дослідне поле» НУБіП України, с. Пшеничне	2017	1,83	45,8
9/1	«Дослідне поле» НУБіП України, с. Пшеничне	2017	2,88	72,0

*- представлено середні дані по трьох дослідках

Тому у своїх дослідженнях, крім показника «розвиток хвороби» в балах (0-4), для оцінки патогенності ізолятів ми використовували інші показники, які характеризують ріст і розвиток рослин, а саме: «маса 1 проростка» та «маса коренів з 1 проростка». З врахуванням даних по цим показникам істотно вищою патогенністю порівняно з іншими ізолятами характеризувався ізолят 9/1: при ураженні ним маса проростків і коренів пшениці була значно нижчою, ніж в інших варіантах. Ізоляти 3/14 і 7/14 характеризувалися середньою патогенністю, при зараженні ними також відмічали істотне зниження маси коренів (Табл. 2). Ізоляти 16/16 і 3/16/17 проявили низький рівень патогенності – зниження маси коренів було неістотним.

На процес зараження рослин пшениці збудниками кореневих хвороб в природних умовах, крім патогенності ізолятів, істотно впливають інші біотичні фактори, зокрема, стійкість сорту, супресивність ґрунту, тощо. Для збудника офіобольозу важливим чинником, який може перешкоджати зараженню ним рослин, є антагоністична мікрофлора ґрунту. Тому наступним етапом наших досліджень

було вивчення ефективності двох штамів р. *Bacillus* - *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11, проти хвороби при внесенні їх у вигляді суспензії клітин в ризосферу пшениці озимої на фоні штучного зараження патогеном. Для створення штучного інфекційного фону використовували ізоляти *G. tritici* різної патогенності.

Нашими попередніми дослідженнями встановлено, що дані штамми р. *Bacillus* є досить перспективними у складі біопрепаратів для захисту зернових культур від хвороб (Kriuchkova et al., 2017). Здатність бактерій колонізувати ризосферу та філоплану рослини, продукування антигрибних ліпопептидів (антибіотиків) та індукована системна стійкість є основними механізмами біологічного контролю штамів р. *Bacillus* (Cawoy et al., 2011).

Внесення суспензії клітин обох штамів р. *Bacillus* у субстрат, де вирощувалася пшениця, призводило до зниження (неістотного) розвитку хвороби, незалежно від патогенності ізолята. Істотну рістстимулювальну активність штамів р. *Bacillus* відмічали у варіантах, де для зараження рослин використовували низькопатогенний ізолят *G. tritici* 16/16. При внесенні

2. Патогенні властивості ізолятів *G. tritici*

Ізолят	Розвиток хвороби, бал (0-4)*	Маса 1 проростка, мг**	Маса коренів з 1 проростка, мг**	Патогенність
3/14	2,34	44,5 ab***	6,0a	середня
7/14	1,87	33,0 ab	8,5a	середня
9/1	2,88	29,0 a	7,5a	висока
16/16	1,83	51,4 b	13,1ab	низька
3/16/17	1,46	33,3 ab	22,5b	низька
НІР ₀₅	-	26,4	13,3	

Примітки: * - дані представлено середні по трьом дослідом, ** - аналогічні дані отримано у двох дослідях; дані представлено по 1 досліді. *** - різні літери (a, b) свідчать, що відмінність між середніми даними є істотною

у субстрат для вирощування рослин суспензії клітин *B. subtilis* 16 маса коренів збільшилася у 3,5 рази; а у варіанті, де використовували штам *B. pumilus* 11, відмічали 3-кратне збільшення маси коренів (Рис.1); біомаса проростків збільшилася, відповідно, на 85 і 60% (Рис.2). Стимулювання росту проростків відмічали і при використанні суспензії клітин *B. subtilis* 16 на фоні зараження іншим низькопатогенним ізолятом *G. tritici* 3/16/17.

Рістстимулювального ефекту не виявлено у варіантах, де для штучного зараження використовували середньопатогенний ізолят 7/14. Навпаки, внесення бактерій навіть дещо пригнічувало розвиток кореневої системи проростків (неістотно). Не виявлено рістстимулюючого ефекту штамів р. *Bacillus* і у варіанті, де для створення штучного інфекційного фону використовували високопатогенний ізолят *G. tritici* 9/1.

Зважаючи на особливості ураження пшениці грибом *G. tritici*,

біологічна активність штамів р. *Bacillus*, очевидно, визначається не стільки ступенем колонізації ними поверхні коренів чи синтезом антигрибних ліпопептидів, скільки здатністю продукувати стимулятори росту рослин (Hardoim et al., 2015). Тому рістстимулювальний ефект ми відмічали саме при ураженні низькопатогенними ізолятами, коли зниження ростових параметрів проростків пшениці незначне. Цього не відбувається при більш сильному ураженні, оскільки бактерії не здатні перешкоджати колонізації судин кореневої системи більш патогенними ізолятами *G. tritici*.

Таким чином, результати наших досліджень свідчать про важливість біотичних факторів як ключових елементів, що впливають на біологічну ефективність мікробних біопрепаратів. Серед таких факторів заслуговує на увагу специфіка ураження фітопатогеном рослини-хазяїна та його патогенність. Особливо важливим є

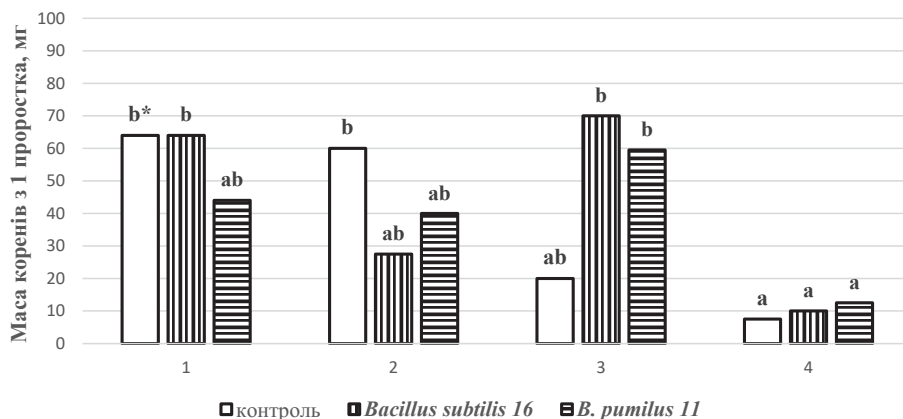


Рис. 1. Зміни маси кореневої системи проростків пшениці озимої при обробці бактеріальними суспензіями штамів *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11 на фоні зараження ізолятами *G. tritici*

Ізоляти *G. tritici*: 1 – 3/16/17, 2 – 7/14, 3 – 16/16, 4 – 9/1.

*Різні літери (a, b) свідчать, що відмінність між середніми даними є істотною

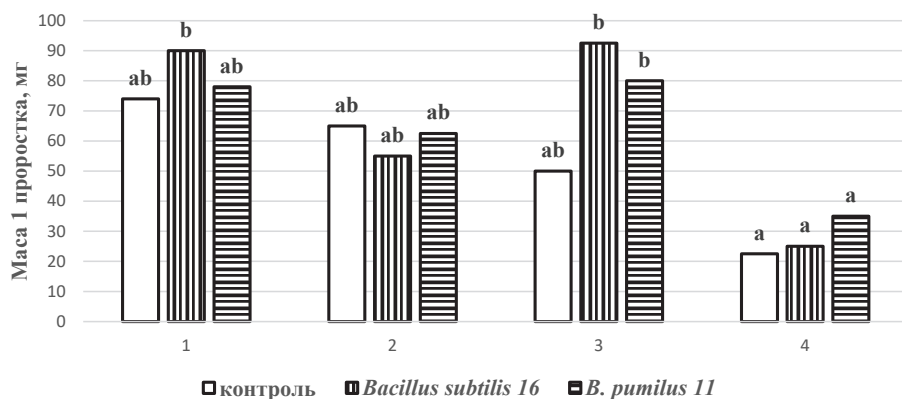


Рис.2. Зміни маси проростків пшениці озимої при обробці бактеріальними суспензіями штамів *B. subtilis* 16 та *B. pumilus* 11 на фоні зараження ізолятами *G. tritici*

Ізоляти *G. tritici*: 1 – 3/16/17, 2 – 7/14, 3 – 16/16, 4 – 9/1.

*Різні літери (a, b) свідчать, що відмінність між середніми даними є істотною

вивчення взаємодії рослин зі збудниками кореневих хвороб, оскільки їх еволюція тісно пов'язана з ґрунтом і відбувалася під тиском ґрунтової мікробіоти (Wong, 1983). Відомо мало прикладів генетично-детермінованої стійкості рослин до ґрунтових фітопатогенів, у більшості випадків природним надбанням рослин є зовнішній захист, який забезпечують їм ризосферні мікроорганізми (Cook et al., 1995). Здавна бактерії і гриби, які заселяють ґрунтові біоценози, викликають значний інтерес як потенційні агенти біологічного контролю (Osborne et al., 2018). Результати останніх досліджень свідчать про новий тип стійкості сортів пшениці до офіобольозу, який тісно пов'язаний з популяцією мікроорганізмів, яка формується у ризосфері такого сорту. Сорт з такою стійкістю, опосередковано, через мікробне угруповання, може мінімізувати популяцію *G. tritici* у ґрунті, і, незважаючи на високу сприйнятливість до хвороби, залишатися малоураженим (McMillan et al., 2018).

Висновки і перспективи.

Виділені нами із уражених офіобольозом коренів пшениці озимої ізоляти *G. tritici* характеризувалися різним рівнем патогенності. Патогенні властивості ізолятів більшою мірою проявлялися в інгібуванні росту проростків, ніж у зовнішніх симптомах. Від інгібувальної дії патогена на рослину залежала і ефективність двох штамів р. *Bacillus* при внесенні їх у вигляді суспензії клітин у ризосферу проростків пшениці. Високу ефективність бактеріального інокулянта відмічали при ураженні низькопатогенними ізолятами збудника офіобольозу, коли незначне зниження ростових параметрів проростків компенсувалось через стимулювальний ефект бактеріальних метаболітів. При сильнішому пригніченні проростків фітопатогеном обробка штамами р. *Bacillus* була неефективною.

Існує необхідність у подальших дослідженнях особливостей ураження рослин зернових культур різними видами ґрунтових фітопатогенів та їх

взаємовідношень з представниками ґрунтової мікробіоти, прямо та опосередковано, через рослину-хазяїна. Врахування специфіки того чи іншого захворювання дозволить підвищити ефективність біологічних препаратів та сприятиме екологізації захисту рослин.

Подяка. Автори висловлюють подяку професору НУБіП України, д-ру с.-г наук Тетяні Патиці за надані для дослідження штами бактерій р. *Bacillus*, а також канд. біол. наук, старш. наук. співроб. Інституту генетики, фізіології та захисту рослин МОН Республіки Молдова Анжелі Дягілевій за допомогу в ідентифікації ізолятів *G. tritici* методом ПЛР-аналізу.

References

- Hernandez-Rostrepo M., Groenewald J.Z., Elliot M.L., Cannong G., McMillan V.E., Crous P.W. (2016) Take-all or nothing. *Studies in Mycol.* 83. 19-48. www.studiesinmycology.org
- Mauler-Machnik A., Rosslenbroich H.-J., Dutzmann S., Applegate J., Jautelat M. (2002) JAU 6476 – a new dimension DMI fungicide. *Proc. of BCPC Conference -Pests & Diseases.* Brighton, UK. 389 – 394.
- Morshchatskyi A.A. (1977) Ofyobolez ozymoi pshenytsy. [Take-all of wheat] *Zashchyta rastenyi.* 5. 18. (In Russian)
- Novokhatka V.H., Doroshenko N.V., Zabolotnaia V.A. (1990) Raspredeleniye kornevykh y prykornevykh hnylei ozymoi pshenytsy v Ukraynskoj SSR. [Distribution of root and stem-base disease of winter wheat in Ukrainian SSR] *Mykologiya y fytopatologiya.* 24 (4). 352 – 357. (In Russian)
- Grytsiuk N.V. (2015) Khvoroby koreniv i prykorenevoi chastynty stebly pshenytsi ozymoi ta obgruntuvannya zakhodiv zakhystu vid nykh v umovakh Polissia Ukrainy [Root and stem-base diseases of winter wheat and substantiation of their control in Ukrainian Polissya]. Kyiv, 21 p. (In Ukrainian)
- Scott P.R., Hollins T.W. (1983) Role of plant breeding in controlling soilborne diseases of cereals. *Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens* / Ed. by Parker, C.A., Rovira, A.D., Moore, K.J., Wong, P.T.W., Kollmorgen, J.F. *Proceedings of Section 5 of the Fourth International Congress of Plant Pathology, University of Melbourne, Australia, 17-24 Aug. 1983.* 157 – 159.
- Lisovyi M.P., Kolnobytskyi M.I., Shupykova O.I. (1991) Rozvytok korenevykh hnylei ozymoi pshenytsi v riznykh ekolohichnykh zonakh URSR v zalezhnosti vid sortiv, struktury sivozminy ta poperednykiv. [Development of root diseases of winter wheat in different ecological zones of USSR in dependency of cultivars, crop rotation and previous crop]. *Zakhyst roslyn.* 38. 9 – 15. (In Ukrainian)
- Lisovyi M.P., Ripenko V.M. (1991) Dzherela stiikosti ozymoi pshenytsi proty zbudnykiv korenevykh hnylei. [Sources of resistance against root rots causal agents]. *Zakhyst roslyn.* 38. 16 – 20. (In Ukrainian)
- Gilligan C. A. (1983) Dynamics of root colonization by the take-all fungus. *Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens.* / Ed. by Parker, C.A., Rovira, A.D., Moore, K.J., Wong, P.T.W., Kollmorgen, J.F. *Proceedings of Section 5 of the Fourth International Congress of Plant Pathology, University of Melbourne, Australia, 17-24 Aug. 1983.* 84 – 86.
- Cook R.J., Tomashow, L.S., Weller, D.M., Fujimoto, D., Mazzola, M., Banger, G., Kim, D.S. (1995) Molecular mechanisms of defense by rhizobacteria against root disease. *Proc Natl Acad Sci USA*, 92(10). 4197-4201. <https://doi.org/10.1073/pnas.92.10.4197>
- Osborne, S.-J., McMillan, V.E., White, R., Hammond-Kosack, K.E. (2018) Elite UK winter wheat cultivars differ in their ability to support the colonization of beneficial root-infecting fungi. *Journ Exp Bot.*, 69(12), 3103-3115. DOI:10.1093/jxb/ery136
- Deacon J.W. (2006) *Fungal Biology.* 4th ed. Blackwell Publishing. 371 pp.

13. Deacon J.W., Henry C.M. (1978) Studies on virulence of take-all fungus, *Gaeumannomyces graminis*, with reference to methodology. *Ann. Appl. Biol.*, 89. 401 – 409.
14. Kwak Y.-S., Weller D.M. (2013) Take-all of wheat and natural disease suppression: a review. *Plant Pathol. Journ.*, 29(2). 125-135. <http://dx.doi.org/10.5423/PPJ.SI.07.2012.0112>
15. Ownley, B.H., Weller, D.M., Thomashow, L.S. (1992) Influence of in situ and in vitro pH on suppression of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* by *Pseudomonas fluorescens* 2-79. *Phytopathol.* 82. 178-184.
16. Bateman, G.L. (1988) *Pseudocercospora anguoides*, a weakly pathogenic fungus associated with eyespot in winter wheat at a site in England. *Plant Path.* 37. 291 – 296
17. Peixoto C.N., Ottoni G., Filippi M.C.C., Silva-Lobo V.L., Prabhu A.S. (2013) Biology of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* isolates from rice and grasses and epidemiological aspects of crown sheath rot of rice. *Tropical Plant Pathol.*, 38(6). 495- 504.
18. Kriuchkova L., Deaghileva A. (2018) Soil-borne fungi on roots of wheat, their diversity and pathogenicity. Proceeding material of International Conference “The goals of sustainable development of the third millennium: challenges for universities of life sciences” (Vol. II), 23-25 May 2018, Kyiv. 53-54.
19. Kriuchkova L., Gritsyuk N. (2017) Populations of *Pythium* spp., *Fusarium* spp. and *Gaeumannomyces* spp. on wheat root and their association with root rot diseases. Proceeding materials of International Conference “Genetics, Physiology and Plant Breeding” (VI edition), 9-10 October 2017, Chisinau. 253-256.
20. Kriuchkova, L., Patyka, T., Shmyhel, T. (2017) In vitro potential of two *Bacillus* strains as biocontrol agents against plant pathogenic fungi. VI annual scientific conference «Biotechnology: accomplishment and hopes». NULESU, Kyiv. 24-25.
21. Cawoy, H., Bettiol, W., Fickers, P., Ongena, M. (2011) *Bacillus*-based biological control of plant diseases, in: Stoytcheva, M. (Eds.), *Pesticides in the Modern World – Pesticides Use and Management*. IntechOpen, pp. 273-302. <http://www.intechopen.com/books/pesticides-in-the-modern-world-pesticides-use-and-management/bacillus-based-biological-control-of-plant-diseases>
22. Hardoim, P.R., van Oberbeek, V.S., Berg, G., Pirttilä, A.M., Compant, S., Campisano, A., Doring, M., Sessitsch, A. (2015) The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiol. Molecular Biol. Review.*, 79(3). 293-320. DOI: 10.1128/MMBR.00050-14
23. Wong P.T.W. (1983) Interaction between microbial residents of cereal roots. *Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens* / Ed. by Parker, C.A., Rovira, A.D., Moore, K.J., Wong, P.T.W., Kollmorgen, J.F. *Proceedings of Section 5 of the Fourth International Congress of Plant Pathology*, University of Melbourne, Australia, 17-24 Aug. 1983. 144 – 147.
24. McMillan, V.E., Canning, G., Moughan, J., White, R.P., Gatteridge, R.J., Hammond-Kosack, K.E. (2018) Exploring the resilience of wheat crops grown in short rotations through minimizing the build-up of an important soil-borne fungal pathogen. *Sci Reports*. 8. 9550. DOI 10.1038/s41598-018-25511-8

L.O. Kriuchkova, D. R. Olifer (2020). PATHOGENICITY OF GAEUMANNOMYCES TRITICI (J. WALKER) HERN.-RESTR. & CROUS, THE TAKE-ALL FUNGUS AND EFFICACY OF BACILLUS STRAINS AGAINST DISEASE. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 11(4): 76-86. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/14555>. <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.04.007>.

Abstract. *Isolates of Gaeumannomyces spp. obtained from diseased roots of winter wheat showing take-all symptoms were characterized by pathogenicity. All isolates were more pathogenic on wheat and barley than on oat, and were identified as Gaeumannomyces tritici. Most isolates of G. tritici were characterized as middle pathogenic, the pathogenicity of one isolate was higher than those of others, and two isolates showed the lowest pathogenicity.*

In growth chamber assay, the effect of two Bacillus strains, B. subtilis 16 and B. pumilus 11, on take-all of wheat was studied. Pathogen inoculation was made by isolates of G. tritici of different pathogenicity. It was found that effective biological control depends on take-all severity, which, in turn, co-ordinates with the pathogenicity of fungal isolate. Applying the bacterial cells into the plant growth substrate stimulated the seedling growth when artificial inoculation was performed with a middle pathogenic isolate of G. tritici, and the disease severity was middle. There was no growth promotion by bacterial inoculant at slight disease severity. No stimulating effect was also observed at the high disease severity, where pathogen inoculation was performed with a highly pathogenic isolate of G. tritici.

Keywords: *Bacillus spp., biological control, Gaeumannomyces tritici, take-all, pathogenicity, winter wheat.*

ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗОЛОТИСТОЇ КАРТОПЛЯНОЇ НЕМАТОДИ

А.Г. БАБИЧ, кандидат сільськогосподарських наук, Національний
університет біоресурсів і природокористування України,
E-mail: nubipbabich@gmail.com

Р.Д. СУХАРЕВА, кандидат біологічних наук, УкрНДСКР ІЗР НААН України

О.А. БАБИЧ, кандидат біологічних наук, Національний університет
біоресурсів і природокористування України, E-mail: nubipbabich@gmail.com

І.В. ПРИХОДЬКО, аспірант, Національний університет біоресурсів
і природокористування України

Анотація. В Україні золотиста картопляна нематода – об'єкт внутрішнього карантину рослин поширена переважно на присадибних ділянках, значно рідше в колективних господарствах. Виявлення її осередків, особливо на початкових етапах заселення угідь досить ускладнено, оскільки типові ознаки ураження – глободерозом (відставання в рості й розвитку, хлорози, в'янення листя тощо) візуально проявляються лише після накопичення високої щільності популяції в результаті багаторічного вирощування пасльонових культур у монокультурі чи з мінімальними перервами між повторним їх розміщенням. Для удосконалення методів моніторингу золотистої картопляної нематоди апробовані різні схеми обстеження: по діагоналі, методом трикутника та конверту. Встановлено, що вищу ймовірність виявлення заселеності угідь золотистою картопляною нематодою забезпечує відбір ґрунтових зразків за методом конверту. Водночас порівняно з іншими схемами моніторингу, досягається більш рівномірне охоплення обстеженої площі.

Сучасні методи флотації забезпечують високу ефективність виділення цист з ґрунту, доведеного до повітряно-сухого стану. Однак, зразки ґрунту, відібрані з вантажів підкарантинної продукції, часто потребують проведення експрес аналізу. Встановлено, що з підвищенням рівня вологості зразків ґрунту, спостерігалася тенденція до зниження частки виділення цист нематод. Тому, для досягнення вищої ефективності виділення цист нематод, слід застосовувати насичений розчин кухонної солі NaCl із розрахунку 50 грам на 1 літр води.

Визначення видового складу цистоутворюючих нематод картоплі доцільно проводити за комплексом морфометричних показників, біологічними особливостями (використанням сортів-диференціаторів) та біохімічними відмінностями. Однак, зважаючи на нинішню високу вартість біохімічних методів діагностування, їх слід застосовувати першочергово для ідентифікації карантинних

та нових для науки видів цистоутворюючих нематод. Зокрема, методом ізоелектричного фокусування білків в поліакриламідному гелі підтверджено належність цист, відібраних з осередків Закарпаття, до одного виду – золотистої картопляної цистоутворюючої нематоди *Globodera rostochiensis* (патотипу Ro1).

Ключові слова: золотиста картопляна нематода, глободероз картоплі, методи виявлення, зразки ґрунту, виділення цист, ідентифікація видів.

Актуальність.

Золотиста картопляна нематода (ЗКН) *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975 є одним із найбільш небезпечних шкідливих організмів картоплі та інших пасльонових культур (EPPO, 2013).

Батьківщиною походження картопляної глободери вважають Андське передгір'я Південної Америки, звідки наприкінці XVIII століття вона була завезена в Європу, імовірно з посадковим матеріалом.

Нині золотиста картопляна нематода поширена в 36 країнах Європи, 12 – Азії, 6 – Африки, 3 – Північної Америки, 1 – Центральної Америки й Карибського регіону, 6 – Південної Америки, 3 – Океанії.

В Україні золотисту картопляну нематоду *G. rostochiensis* (Wollenweber, 1923; Behrens, 1975) уперше було виявлено в 1963 році на Всесоюзній науково-дослідній станції по раку картоплі Чернівецької області. Однак, незважаючи на запровадження карантинних заходів, запобігти її подальшому розселенню в нові регіони не вдалося. Так, в 1980 році осередки фітопаразита було зареєстровано в 11 областях на загальній площі 534,35 гектарів, а станом на 1 січня 1990 року площа заселення збільшилася до 4708,46 гектарів. На початок 2011 року осередки золотистої картопляної нематоди були зареєстровані у Вінницькій, Волин-

ській, Житомирській, Закарпатській, Івано-Франківській, Київській, Луганській, Львівській, Одеській, Рівненській, Сумській, Тернопільській, Харківській, Хмельницькій, Черкаській, Чернівецькій і Чернігівській областях в 1124 населених пунктах 126 районів 17 областей України на загальній площі 4951,0558 гектарів (Babych, A., Babych, A., Suhareva, R., Statkevich, A., 2014).

В Україні ЗКН поширена переважно на присадибних ділянках, рідше в колективних господарствах. Основною причиною такого стану є багаторічне вирощування картоплі в монокультурі та її безконтрольна реалізація, недотримання сівозмін чи неможливість їхнього практичного впровадження, відсутність ефективних нематодцидів тощо. Так, в 1995 році площа заселення золотистою картопляною нематодою в індивідуальних господарствах складала 86 % від загальної інвазійної (2167,1 га), у 2007 році майже 95 % (від 5669,07 га), а нині понад 97 %.

Найбільші площі осередків глободерозу виявлено у Львівській, Волинській, Житомирській, Чернігівській, Сумській, Тернопільській та Хмельницькій областях. Однак, з огляду на те, що діагностування дуже низької вихідної чисельності популяції ускладнене, припускаємо, що фактична зона її поширення є значно більшою порівняно з офіційно зареєстрованою.

Розселення ЗКН відбувається в основному антропогенним шляхом, а саме, цисти можуть переноситися зараженим ґрунтом, знаряддями обробітку ґрунту, транспортними засобами, садивним матеріалом, а також водою, вітром тощо (Shesteporov A. A., Lukyanova E. A., 2018).

Для запобігання подальшого розселення, необхідно проводити систематичний моніторинг пасльонових культур, особливо в прикордонних областях. Тому, вдосконалення сучасних і розробка нових методів моніторингу глободерозу залишається однією з найбільш актуальних задач сьогодення.

Для виявлення цистоутворюючих нематод в агроценозах та встановлення щільності їхніх популяцій застосовують різні схеми маршрутних обстежень (по діагоналі, методом трикутника, конверта, човника тощо). Оскільки, єдиної загальноприйнятої схеми відбору проб немає, тому науковці і спеціалісти служби карантину рослин постійно працюють над їхнім удосконаленням.

В Україні розроблено стандартні методики (ДСТУ 3355-96 та ДСТУ 3344-96) відбору зразків ґрунту та бульб картоплі.

Фітосанітарне обстеження насаджень картоплі рекомендовано проводити у фазу цвітіння, коли на коренях рослин, навіть без засобів оптики, можливо, діагностувати наявність новоутворених самиць, білих за кольором на початкових фазах онтогенезу (Sukhomlin, K. B., Koshirets, V. M., Zinchenko, et al., 2019).

Визначення патотипів ЗКН здійснюють методом біотестування із використанням стандартних рослин-диференціаторів.

Для виділення цист нематоди із ґрунтових зразків застосовують різні способи: Фенуїка, Кірхнера, Віль-

ке Бойнаке, флотаційно-лійковий та ін. Однак, постійно з'являються нові, більш досконалі пристрої. Зокрема, для виділення цист нематод із ґрунту спеціалістами Української науково-дослідної станції карантину рослин розроблено апарат «РУТА».

Ідентифікацію цистоутворюючих нематод картоплі здійснюють за трьома основними критеріями: комплексом морфометричних показників; біологічними особливостями (використанням сортів-диференціаторів) та біохімічними відмінностями.

Нині для ідентифікації розроблено також низку інших методів: ПЛР-аналіз, використання моноклональних антитіл у якості діагностичних процедур, серологічні методи ідентифікації тощо (Christoforou M., Pantelides, I.S., Kanetis, L., et al., 2014).

Проте, останнім часом, учені схиляються до думки, що достовірне визначення видового складу цистоутворюючих нематод можливе лише за поєднання різних методів: ПЛР-аналізу з морфо-анатомічною ідентифікацією та біотестуванням (Duceppe, MO., Lafond-Lapalme, J., Palomares-Rius, J.E. et al., 2017).

Метою дослідження було удосконалення методів виявлення, виділення та ідентифікації золотистої картопляної нематоди – об'єкта внутрішнього карантину рослин.

Матеріали і методи дослідження.

Обстеження полів, присадибних ділянок і відбір зразків ґрунту проводили за загальноприйнятими методиками (Shesteporov A. A., Lukyanova E. A., Bondarev A. A., 2019).

Вихідну (допосадкову) та післязбиральну щільність популяції

ЗКЦН встановлювали за кількістю личинок та яєць у цистах, виділених флотаційно-лійковим методом зі 100 см³ ґрунту. Життєздатність личинок та яєць у цистах визначали за допомогою їхнього забарвлення 0,05 % розчином малахітової зелені та візуально під мікроскопом за формою тіла і станом внутрішніх органів личинок (Pridannikov, M.V., Petelina, G.G., Palchuk, et al., 2007).

Анально-вувлярні пластинки цист виготовляли за загальноприйнятою методикою. Дослідження структури анально-вувлярної області самиць проводили за великого збільшення під мікроскопом, а також із використанням імерсійної системи. Здатних до міграції личинкові стадії глободер виділяли модифікованим методом Бермана.

Морфологічні та морфометричні показники личинок II віку, самців вивчали на тимчасових водно-гліцеринових препаратах із використанням мікроскопів МБІ-3, МБІ-15. Фіксування нематод здійснювали ТАФом.

Для удосконалення методів виявлення КЦН в агроценозах проводили відбір ґрунтових проб нематологічним буром за різними схемами маршрутів (по діагоналі, методом трикутника та конверту).

Додатково також вивчали ефективність виділення цист залежно від рівня вихідної заселеності ґрунту та його зволоження. Повторність польових дослідів чотирикратна, лабораторно-вегетаційних – восьми-десятикратна.

Для визначення видової належності картопляних цистоутворюючих нематод апробовано біохімічний метод – ізоелектрофокусування білків у пластинах поліакриламідного гелю (С-3 %, Т-5 %) з амфолітом в інтервалі рН 3.0-10.0 з деякими модифікаціями (Karelov, A.V., Pylypenko, L.A.,

Kozub, N.O. et al., 2013). В основі методу – принцип розділення білків ізоелектричними точками у градієнті рН. Цисти КН для біохімічних досліджень замочували в дистильованій воді на 48 годин, після чого розтирали в мікрогомогенізаторі з 40 мл води та залишали на 20 годин у морозильній камері. Після відтавання екстракт цист – 25 мл поміщали в лунки аплікатора (Back, M., Haydock, P. and Jenkinson, P., 2006). Ізоелектрофокусування білків проб проводили на приладі АГГЕ-3 фірми «Хайу Калур» на охолоджуючому столику за напруги 600 вольт упродовж 2 годин і силі струму 15 міліампер. Білкові спектри нематод виявляли після відмивки гелю від амфолітів, з одночасною їхньою фіксацією розчином трихлороцтової кислоти, етанолу, води в співвідношенні 10 : 25 : 65. Після ізоелектричного фокусування білків гель інкубували впродовж 1 години за 37 °С у 0,1 М фосфатному буфері з 0,025 % а – нафтилацетатом. Фарбування білкових спектрів і їхню відмивку від надлишку фарби (0,0С 5 % розчин кумасі синій R-250) проводили відповідно розчином оцтової кислоти, етанолу і води (10 : 25 : 65) (Sudha, R., Venkatasalama, E.P., Bairwa, A., et al., 2016). Фарбування естеразних зон здійснювали 0,1 % водним розчином міцного синього РР упродовж години. Фіксацію ізоферментного спектру естераз проводили розчином оцтової кислоти, етанолу і води (10 : 25 : 65) (Subbotin S.A., Vera I.C.D., Mundo-Ocampo M., Baldwin J.G., 2011).

Результати дослідження та їх обговорення.

Виявлення осередків глободерозу, особливо на початкових етапах заселення угідь досить ускладнено,

оскільки типові ознаки ураження (відставання в рості та розвитку, хлорози, в'янення листя, а за дуже високої щільності й загибель рослин) візуально проявляються лише після багаторічного вирощування пасльонових культур у монокультурі або з мінімальними перервами.

За таких умов вищу ймовірність їхнього виявлення забезпечує відбір ґрунтових зразків, першочергово з потенційно заселених карантинними організмами ділянок. Однак за проведення нематологічних обстежень виникають певні протиріччя, які потребують вирішення, зокрема, досягнення достовірного визначення рівня заселеності ґрунту за мінімально необхідної кількості відібраних зразків.

Для удосконалення методів моніторингу золотистої картопляної нематоди нами апробовані різні схеми маршрутів: по діагоналі, методом трикутника та конверту. Встановлено, що найбільшу ймовірність виявлення ЗКН забезпечував метод конверту з відбиранням 4 виїмок ґрунту на 5 погонних метрів маршруту (рис. 1).

Водночас, порівняно з іншими схемами моніторингу, досягається більш рівномірне охоплення площі

ділянок із меншими інтервалами між відбором певних зразків. Апробація цього методу засвідчила доцільність його практичного застосування фахівцями карантинних інспекцій для виявлення осередків золотистої картопляної нематоди (табл. 1).

Отримані результати досліджень (табл. 2) засвідчили, що рекомендований метод Держстандарту виділення цист зі 100 см³ ґрунту забезпечує ймовірність виявлення цист лише у випадку надходження великих партій (завдяки збільшенню загального об'єму наважок ґрунту) або вантажів із високим рівнем інвазованості рослинної продукції.

Встановлено, що за наявності в 300 см³ ґрунту однієї цисти стандартним флотаційним методом досягалося її виділення лише в 3 % випадків. За вихідної заселеності – 5 цист /300 см³ ґрунту вірогідність виділення традиційним флотаційним методом становила 37 %. За рівня заселеності ґрунту – 15 цист ймовірність їхнього виявлення досягала 87 %. За умови збільшення наважки ґрунту до 800 см³ вірогідність виявлення 1 цисти в пробі становила відповідно 15 %, 5 – 72 %, а 15 цист – 96 %. Отже, для запобігання

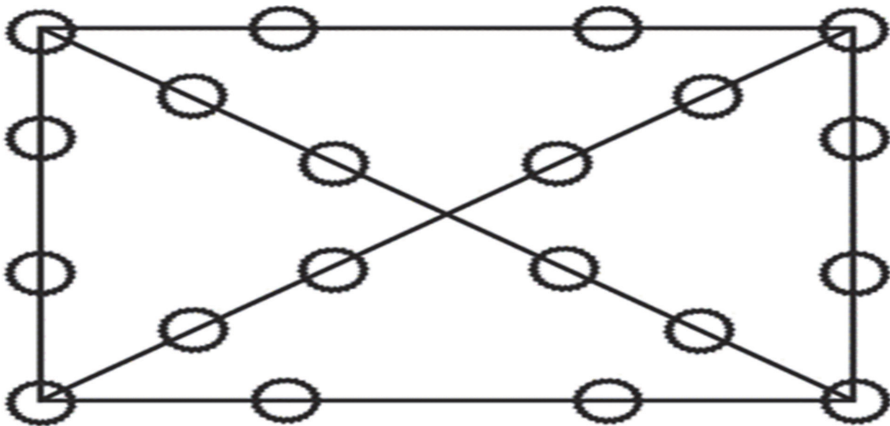


Рис. 1. Відбір ґрунтових зразків за схемою конверта

1. Ефективність виявлення заселеності ґрунту золотистою картопляною нематодою залежно від схеми відбору зразків

№ п/п	Схема відбору	Кількість цист, екз./100 см ³ ґрунту				
		1	2	3	4	Середнє
м. Рахів Закарпатської області						
1.	Діагоналі	40	20	70	17	36,8
2.	Трикутника	16	53	88	104	65,3
3.	Конверта	43	166	250	420	219,7
м. Маневичі Волинської області						
1.	Діагоналі	32	96	193	172	123,2
2.	Трикутника	24	39	65	108	59,0
3.	Конверта	47	243	281	351	230,5

розселення цист ЗКН із підкарантинною продукцією доцільно для аналізу відбирати й аналізувати зразки загальним об'ємом – 800 см³ ґрунту.

Усі наявні нині методи базуються на виділенні цист із ґрунту доведеного до повітряно-сухого стану. Однак, зразки ґрунту, відібрані з вантажів підкарантинної продукції часто потребують проведення експрес аналізу. Тому, для визначення ефективності виділення цист залежно від рівня зволоженості ґрунту нами були проведені спеціальні дослідження.

Встановлено, що з підвищенням рівня вологості відібраних зразків

ґрунту, спостерігалася тенденція до зниження частки їхнього виділення (табл. 3). Так, за 5 % вологості ґрунту флотаційним методом виділялося приблизно 97 % цист, а за 15,5 %, відповідно – 85 %. Тому, метою наших досліджень було підібрати економічно доступні речовини, які здатні забезпечити підвищення рівня виділення цист із вологого ґрунту.

У результаті проведених досліджень було встановлено, що найдоцільніше для цієї мети застосовувати насичений розчин кухонної солі NaCl із розрахунку 50 грам на 1 літр води (табл. 3).

2. Вірогідність виявлення цист золотистої картопляної нематоди залежно від об'єму ґрунтової проби

№ п/п	Кількість цист в 300 см ³ ґрунту	Вірогідність виявлення цист, %	
		Метод Держстандарту, 100 см ³ ґрунту	Збільшена вибірка до 800 см ³ ґрунту
1.	1	3	15
2.	3	19	28
3.	5	37	72
4.	7	53	81
5.	10	70	90
6.	15	87	96

3. Вплив вологості ґрунту на виділення цист картопляних нематод за методом Кірхнера

№ п/п	Вологість ґрунту в %	Вірогідність виділення, %	
		Рекомендований спосіб, %	При додаванні NaCl (50 гр/1л H ₂ O), %
1.	5,0	97	100
2.	10,0	90	99
3.	15,5	85	94
4.	24,0	73	90
5.	36,0	65	86

Традиційно цистоутворюючих нематод ідентифікують за комплексом морфологічних і біологічних особливостей та здатністю до розмноження на нематодостійких сортах. Однак, визначення видів і патотипів цими методами є досить складним і тривалим за часом процесом та вимагає певних практичних навичок. Тому, в останні роки для ідентифікації глободер почали застосовувати різні біохімічні методи.

Нашим завданням було оцінити можливість практичного використання методу ізоелектричного фокусування для ідентифікації цист золотистої картопляної нематоди.

У результаті проведених досліджень методом ізоелектричного фо-

кусування білків в поліакриламідному гелі встановлено (рис. 2.), що білкові спектри (паспорти) цист відібраних з осередків Закарпаття вказують на їхню ідентичність і належність до одного виду *G. rostochiensis* (патотипу Ro₁) – золотистої картопляної цистоутворюючої нематоди, що також було підтверджено морфо-анатомічними та біологічними дослідженнями.

Водночас, зважаючи на нинішню економічну затратність проведення біохімічних методів, вважаємо за доцільне їхнє застосування першочергово для діагностування карантинних та нових для науки видів цистоутворюючих нематод.

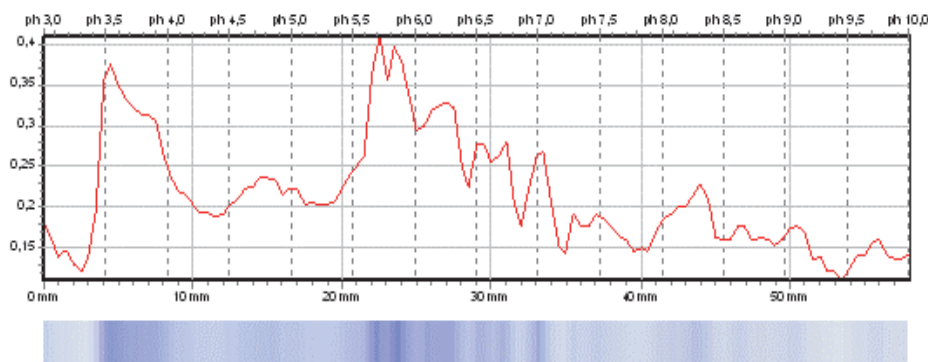


Рис. 2. Білковий паспорт цист золотистої картопляної нематоди із осередків Закарпатської області

Висновки та перспективи

1. Найбільшу ймовірність виявлення осередків золотистої картопляної нематоди забезпечував відбір зразків ґрунту за методом конверту.
2. Для запобігання розселення карантинних видів нематод, особливо із садивним матеріалом, варто відбирати й аналізувати на наявність цист зразки ґрунту загальним об'ємом – 800 см³.
3. Використання насиченого розчину кухонної солі NaCl із розрахунку 50 грам на 1 літр води забезпечує підвищення ефективності виділення цист із вологого ґрунту флотаційним методом.
4. Біохімічні методи доцільно застосовувати першочергово для ідентифікації карантинних та нових для науки видів цистотворюючих нематод.

References

1. EPPO. (2013). *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. PM 7/40 (3). OEPP/EPPO Bull., 43, 119-138. <https://doi.org/10.1111/epp.12025>
2. Babych, A. G., Babych, A. A., Suhareva, R. D., & Statkevich, A. A. (2014). Effect of crop rotation on the abundance of golden potato nematode. *Plant protection and quarantine*, 1, 42-45. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sevooborota-na-chislennost-zolotistoy-kartofelnoy-nematody/viewer>
3. Shesteporov A. A., Lukyanova E. A. (2018). Foundations and methods of modeling of projected growth potato globoderosis on agrometeorological conditions. *Rosiyskiy parazitologicheskii zhurnal*, 12(2), 95–103. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2018-12-2-95-103>
4. Sukhomlin, K. B., Koshirets, V. M., Zinchenko, M. O., Biletskiy, Y. V., & Zinchenko, O. P. (2019). The current state of the pop-

- ulation of the golden potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* (Nematoda, Heteroderidae) in the northwest of Ukraine. *Biosystems Diversity*, 27(1), 33–38. doi:10.15421/011905
5. Christoforou M., Pantelides, I.S., Kanetis, L., Ioannou, N. (2014). Rapid detection and quantification of viable potato cyst nematodes using qPCR in combination with propidium monoazide. *Plant Pathology*, 63, 1185-1192.
6. Duceppe, MO., Lafond-Lapalme, J., Palomares-Rius, J.E. et al. (2017). Analysis of survival and hatching transcriptomes from potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Sci Rep* 7, 3882. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03871-x>
7. Shesteporov A. A., Lukyanova E. A., Bondarev A. A. (2019). Application the Hassell model for prediction the population density of golden nematode of potato after growing *Globodera* resistant variety of potato. *Russian Journal of Parasitology*, 13(1), 90–96. DOI: 10.31016/1998-8435-2019-13-1-90-96.
8. Pridannikov, M.V., Petelina, G.G., Palchuk, M.V., Masler, E.P., Dzhavakhiya, V.G. (2007). Influence of components of *Globodera rostochiensis* cysts on the in vitro hatch of second-stage juveniles. *Nematology*, 9, 837-844. <https://doi.org/10.1163/156854107782331126>
9. Karelov, A.V., Pylypenko, L.A., Kozub, N.O. et al. (2013). Allelic state of the molecular marker for golden nematode (*Globodera rostochiensis*) resistance gene H1 among Ukrainian and world potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) cultivars. *Cytol. Genet.*, 47, 294–297. <https://doi.org/10.3103/S0095452713050058>
10. Back, M., Haydock, P. and Jenkinson, P. (2006). Interactions between the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* and diseases caused by *Rhizoctonia solani* AG3 in potatoes under field conditions. *Eur. J. Pl. Pathol.*, 114, 215-223. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-5281-y>

11. Sudha, R., Venkatasalama, E.P., Bairwa, A., Bhardwaj, V. and Dalamu-Sharma, R. (2016). Identification of potato cyst nematode resistant genotypes using molecular markers. *Scient. Hort.*, 198, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.029>
12. Subbotin S.A., Vera I.C.D., Mundo-Ocampo M., Baldwin J.G. (2011). Identification, phylogeny and phylogeography of circumfenestrate cyst nematodes (Nematoda: Heteroderidae) as inferred from analysis of ITS-rDNA. *Nematology*, 13, 805–24. <https://doi.org/10.1163/138855410X552661>

A.G. Babich, R.D. Suhareva, O.A. Babich, I.V. Prichodko (2020). APPLIED PROBLEMS OF DETECTION AND IDENTIFICATION OF GOLDEN POTATO NEMATODE. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 11(4): 87-95. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/14558>. <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.04.008>.

Abstract. In Ukraine, the golden potato nematode - an object of internal quarantine of plants is distributed mainly in homesteads, much less often in collective farms. Detection of its foci, especially in the initial stages of land settlement is quite difficult, because the typical signs of damage - globoderosis (lag in growth and development, chlorosis, leaf wilting, etc.) are visually manifested only after the accumulation of high population density as a result of long-term cultivation of nightshade crops in monoculture or with minimal intervals between re-placement. To improve the methods of monitoring the golden potato nematode, various survey schemes were tested: diagonally, by the method of triangle and envelope. It is established that the highest probability of detection of land population by the golden potato nematode is provided by the selection of soil samples by the envelope method. At the same time, compared to other monitoring schemes, a more uniform coverage of the surveyed area is achieved.

Modern methods of flotation provide high efficiency of isolation of cysts from the soil brought to an air-dry state. However, soil samples taken from quarantined goods often require rapid analysis. It was found that with increasing humidity of soil samples, there was a tendency to decrease the proportion of nematode cysts. Therefore, to achieve higher efficiency of nematode cyst isolation, a saturated solution of NaCl should be used at the rate of 50 grams per 1 liter of water.

Determination of the species composition of cyst-forming potato nematodes should be carried out on a set of morphometric parameters, biological features (using varieties of differentiators) and biochemical differences. However, given the current high cost of biochemical diagnostic methods, they should be used primarily to identify quarantine and new to science species of cyst nematodes. In particular, the method of isoelectric focusing of proteins in polyacrylamide gel confirmed the belonging of cysts selected from Transcarpathian cells to one species - golden potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* (pathotype Ro1).

Keywords: golden potato nematode, potato globoderosis, detection methods, soil samples, cyst isolation, species identification.

ДО УВАГИ АВТОРІВ!

Вимоги до розміщення статті в журналі та на сайті журналу:

- ✓ УДК;
- ✓ назва статті;
- ✓ ім'я та прізвище автора (авторів);
- ✓ анотація;
- ✓ ключові слова;
- ✓ актуальність (introduction);
- ✓ аналіз останніх досліджень та публікацій (Analysis of recent researches and publications);
- ✓ мета (purpose);
- ✓ матеріали і методи дослідження (materials and methods);
- ✓ результати дослідження та їх обговорення (results and discussion);
- ✓ висновки і перспективи (discation);
- ✓ referens;
- ✓ назва статті, ім'я та прізвище автора (авторів), анотація (abstract), ключові слова (keywords) англійською мовою.

У статті має бути переклад англійською мовою (сумарним обсягом не менше ніж 1800 знаків): назва статті, ім'я та прізвище автора (авторів), анотація на 3-6 речень головних думок, важливих тез і формулювань, тексту матеріалу статті, що виявляє наукову новизну (нове знання).

Обов'язковим є список використаних джерел (**Referens**) наприкінці статті (праці не лише державних, а й зарубіжних дослідників). Посилання на авторів або на наукову працю має позначатися в тексті у квадратних дужках за міжнародним стандартом **APA** (**використовуватиметься під час розташування рукописів у зарубіжних базах**).

Рекомендований обсяг статті 10-20 стор. знаків. Табличний та графічний матеріал може бути лише книжкового формату, а його кількість доречною. Таблиця повинна мати порядковий номер, вказується зліва перед назвою таблиці. Назва таблиці подається над таблицею (кегль шрифту – 14, напівжирний, міжрядковий інтервал – 1,5, розміщення по ширині). Текст таблиці подається гарнітурою Times New Roman (кегль шрифту – 12, міжрядковий інтервал – 1). Рисунок повинен бути єдиним графічним об'єктом і згрупованим; мати номер і назву, що вказується поза об'єктом (кегль шрифту – 14, напівжирний, міжрядковий інтервал – 1, розміщення по ширині). Розташування рисунку має бути в тексті. Рисунки повинні бути контрастними, чорно-білими або кольоровими. Графічні матеріали не повинні бути сканованими!!! Формули (зі стандартною нумерацією) виконуються в редакторі Microsoft Equation. В наукових статтях не допускається автоматичних переносів слів та використання макросів. Абзаци позначати тільки клавішею “Enter”, не застосовувати пробіли або табуляцію (клавіша “Tab”). Не допускається використання ущільненого або розрідженого шрифту.

Категорично не приймаються описові статті (сукупність загальновідомих характеристик та оцінок об'єкта досліджень, або сукупність запозичених характеристик і тез).

Редакція залишає за собою право на скорочення, незначне редагування та виправлення статті (зі збереженням головних висновків та стилю автора).

При передруку посилання на науково-практичний журнал «BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION» *обов'язкове*.

ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗОЛОТИСТОЇ КАРТОПЛЯНОЇ НЕМАТОДИ

А.Г. БАБИЧ, кандидат сільськогосподарських наук, Національний
університет біоресурсів і природокористування України,
E-mail: nubipbabich@gmail.com

Р.Д. СУХАРЕВА, кандидат біологічних наук, УкрНДСКР ІЗР НААН України

О.А. БАБИЧ, кандидат біологічних наук, Національний університет
біоресурсів і природокористування України, E-mail: nubipbabich@gmail.com

І.В. ПРИХОДЬКО, аспірант, Національний університет біоресурсів
і природокористування України

Анотація. В Україні золотиста картопляна нематода – об'єкт внутрішнього карантину рослин поширена переважно на присадибних ділянках, значно рідше в колективних господарствах. Виявлення її осередків, особливо на початкових етапах заселення угідь досить ускладнено, оскільки типові ознаки ураження – глободерозом (відставання в рості й розвитку, хлорози, в'янення листя тощо) візуально проявляються лише після накопичення високої щільності популяції в результаті багаторічного вирощування пасльонових культур у монокультурі чи з мінімальними перервами між повторним їх розміщенням. Для удосконалення методів моніторингу золотистої картопляної нематоди апробовані різні схеми обстеження: по діагоналі, методом трикутника та конверту. Встановлено, що вищу ймовірність виявлення заселеності угідь золотистою картопляною нематодою забезпечує відбір ґрунтових зразків за методом конверту. Водночас порівняно з іншими схемами моніторингу, досягається більш рівномірне охоплення обстеженої площі.

Сучасні методи флотації забезпечують високу ефективність виділення цист з ґрунту, доведеного до повітряно-сухого стану. Однак, зразки ґрунту, відібрані з вантажів підкарантинної продукції, часто потребують проведення експрес аналізу. Встановлено, що з підвищенням рівня вологості зразків ґрунту, спостерігалася тенденція до зниження частки виділення цист нематод. Тому, для досягнення вищої ефективності виділення цист нематод, слід застосовувати насичений розчин кухонної солі NaCl із розрахунку 50 грам на 1 літр води.

Визначення видового складу цистоутворюючих нематод картоплі доцільно проводити за комплексом морфометричних показників, біологічними особливостями (використанням сортів-диференціаторів) та біохімічними відмінностями. Однак, зважаючи на нинішню високу вартість біохімічних методів діагностування, їх слід застосовувати першочергово для ідентифікації карантинних

та нових для науки видів цистоутворюючих нематод. Зокрема, методом ізоелектричного фокусування білків в поліакриламідному гелі підтверджено належність цист, відібраних з осередків Закарпаття, до одного виду – золотистої картопляної цистоутворюючої нематоди *Globodera rostochiensis* (патотипу Ro1).

Ключові слова: золотиста картопляна нематода, глободероз картоплі, методи виявлення, зразки ґрунту, виділення цист, ідентифікація видів.

Актуальність.

Золотиста картопляна нематода (ЗКН) *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975 є одним із найбільш небезпечних шкідливих організмів картоплі та інших пасльонових культур (ЕРРО, 2013).

Батьківщиною походження картопляної глободери вважають Андське передгір'я Південної Америки, звідки наприкінці XVIII століття вона була завезена в Європу, імовірно з посадковим матеріалом.

Нині золотиста картопляна нематода поширена в 36 країнах Європи, 12 – Азії, 6 – Африки, 3 – Північної Америки, 1 – Центральної Америки й Карибського регіону, 6 – Південної Америки, 3 – Океанії.

В Україні золотисту картопляну нематоду *G. rostochiensis* (Wollenweber, 1923; Behrens, 1975) уперше було виявлено в 1963 році на Всесоюзній науково-дослідній станції по раку картоплі Чернівецької області. Однак, незважаючи на запровадження карантинних заходів, запобігти її подальшому розселенню в нові регіони не вдалося. Так, в 1980 році осередки фітопаразита було зареєстровано в 11 областях на загальній площі 534,35 гектарів, а станом на 1 січня 1990 року площа заселення збільшилася до 4708,46 гектарів. На початок 2011 року осередки золотистої картопляної нематоди були зареєстровані у Вінницькій, Волин-

ській, Житомирській, Закарпатській, Івано-Франківській, Київській, Луганській, Львівській, Одеській, Рівненській, Сумській, Тернопільській, Харківській, Хмельницькій, Черкаській, Чернівецькій і Чернігівській областях в 1124 населених пунктах 126 районів 17 областей України на загальній площі 4951,0558 гектарів (Babych, A., Babych, A., Suhareva, R., Statkevich, A., 2014).

В Україні ЗКН поширена переважно на присадибних ділянках, рідше в колективних господарствах. Основною причиною такого стану є багаторічне вирощування картоплі в монокультурі та її безконтрольна реалізація, недотримання сівозмін чи неможливість їхнього практичного впровадження, відсутність ефективних нематодцидів тощо. Так, в 1995 році площа заселення золотистою картопляною нематодою в індивідуальних господарствах складала 86 % від загальної інвазійної (2167,1 га), у 2007 році майже 95 % (від 5669,07 га), а нині понад 97 %.

Найбільші площі осередків глободерозу виявлено у Львівській, Волинській, Житомирській, Чернігівській, Сумській, Тернопільській та Хмельницькій областях. Однак, з огляду на те, що діагностування дуже низької вихідної чисельності популяції ускладнене, припускаємо, що фактична зона її поширення є значно більшою порівняно з офіційно зареєстрованою.

Розселення ЗКН відбувається в основному антропогенним шляхом, а саме, цисти можуть переноситися зараженим ґрунтом, знаряддями обробітку ґрунту, транспортними засобами, садивним матеріалом, а також водою, вітром тощо (Shesteporov A. A., Lukyanova E. A., 2018).

Для запобігання подальшого розселення, необхідно проводити систематичний моніторинг пасльонових культур, особливо в прикордонних областях. Тому, вдосконалення сучасних і розробка нових методів моніторингу глободерозу залишається однією з найбільш актуальних задач сьогодення.

Для виявлення цистоутворюючих нематод в агроценозах та встановлення щільності їхніх популяцій застосовують різні схеми маршрутних обстежень (по діагоналі, методом трикутника, конверта, човника тощо). Оскільки, єдиної загальноприйнятої схеми відбору проб немає, тому науковці і спеціалісти служби карантину рослин постійно працюють над їхнім удосконаленням.

В Україні розроблено стандартні методики (ДСТУ 3355-96 та ДСТУ 3344-96) відбору зразків ґрунту та бульб картоплі.

Фітосанітарне обстеження насаджень картоплі рекомендовано проводити у фазу цвітіння, коли на коренях рослин, навіть без засобів оптики, можливо, діагностувати наявність новоутворених самиць, білих за кольором на початкових фазах онтогенезу (Sukhomlin, K. B., Koshirets, V. M., Zinchenko, et al., 2019).

Визначення патотипів ЗКН здійснюють методом біотестування із використанням стандартних рослин-диференціаторів.

Для виділення цист нематоди із ґрунтових зразків застосовують різні способи: Фенуїка, Кірхнера, Віль-

ке Бойнаке, флотаційно-лійковий та ін. Однак, постійно з'являються нові, більш досконалі пристрої. Зокрема, для виділення цист нематод із ґрунту спеціалістами Української науково-дослідної станції карантину рослин розроблено апарат «РУТА».

Ідентифікацію цистоутворюючих нематод картоплі здійснюють за трьома основними критеріями: комплексом морфометричних показників; біологічними особливостями (використанням сортів-диференціаторів) та біохімічними відмінностями.

Нині для ідентифікації розроблено також низку інших методів: ПЛР-аналіз, використання моноклональних антитіл у якості діагностичних процедур, серологічні методи ідентифікації тощо (Christoforou M., Pantelides, I.S., Kanetis, L., et al., 2014).

Проте, останнім часом, учені схиляються до думки, що достовірне визначення видового складу цистоутворюючих нематод можливе лише за поєднання різних методів: ПЛР-аналізу з морфо-анатомічною ідентифікацією та біотестуванням (Duceppe, MO., Lafond-Lapalme, J., Palomares-Rius, J.E. et al., 2017).

Метою дослідження було удосконалення методів виявлення, виділення та ідентифікації золотистої картопляної нематоди – об'єкта внутрішнього карантину рослин.

Матеріали і методи дослідження.

Обстеження полів, присадибних ділянок і відбір зразків ґрунту проводили за загальноприйнятими методиками (Shesteporov A. A., Lukyanova E. A., Bondarev A. A., 2019).

Вихідну (допосадкову) та післязбиральну щільність популяції

ЗКЦН встановлювали за кількістю личинок та яєць у цистах, виділених флотаційно-лійковим методом зі 100 см³ ґрунту. Життєздатність личинок та яєць у цистах визначали за допомогою їхнього забарвлення 0,05 % розчином малахітової зелені та візуально під мікроскопом за формою тіла і станом внутрішніх органів личинок (Pridannikov, M.V., Petelina, G.G., Palchuk, et al., 2007).

Анально-вувлярні пластинки цист виготовляли за загальноприйнятою методикою. Дослідження структури анально-вувлярної області самиць проводили за великого збільшення під мікроскопом, а також із використанням імерсійної системи. Здатних до міграції личинкові стадії глободер виділяли модифікованим методом Бермана.

Морфологічні та морфометричні показники личинок II віку, самців вивчали на тимчасових водно-гліцеринових препаратах із використанням мікроскопів МБІ-3, МБІ-15. Фіксування нематод здійснювали ТАФом.

Для удосконалення методів виявлення КЦН в агроценозах проводили відбір ґрунтових проб нематологічним буром за різними схемами маршрутів (по діагоналі, методом трикутника та конверту).

Додатково також вивчали ефективність виділення цист залежно від рівня вихідної заселеності ґрунту та його зволоження. Повторність польових дослідів чотирикратна, лабораторно-вегетаційних – восьми-десятикратна.

Для визначення видової належності картопляних цистоутворюючих нематод апробовано біохімічний метод – ізоелектрофокусування білків у пластинах поліакриламідного гелю (С-3 %, Т-5 %) з амфолітом в інтервалі рН 3.0-10.0 з деякими модифікаціями (Karelov, A.V., Pylypenko, L.A.,

Kozub, N.O. et al., 2013). В основі методу – принцип розділення білків ізоелектричними точками у градієнті рН. Цисти КН для біохімічних досліджень замочували в дистильованій воді на 48 годин, після чого розтирали в мікрогомогенізаторі з 40 мл води та залишали на 20 годин у морозильній камері. Після відтавання екстракт цист – 25 мл поміщали в лунки аплікатора (Back, M., Haydock, P. and Jenkinson, P., 2006). Ізоелектрофокусування білків проб проводили на приладі АГГЕ-3 фірми «Хайу Калур» на охолоджуючому столику за напруги 600 вольт упродовж 2 годин і силі струму 15 міліампер. Білкові спектри нематод виявляли після відмивки гелю від амфолітів, з одночасною їхньою фіксацією розчином трихлороцтової кислоти, етанолу, води в співвідношенні 10 : 25 : 65. Після ізоелектричного фокусування білків гель інкубували впродовж 1 години за 37 °С у 0,1 М фосфатному буфері з 0,025 % а – нафтилацетатом. Фарбування білкових спектрів і їхню відмивку від надлишку фарби (0,0С 5 % розчин кумасі синій R-250) проводили відповідно розчином оцтової кислоти, етанолу і води (10 : 25 : 65) (Sudha, R., Venkatasalama, E.P., Bairwa, A., et al., 2016). Фарбування естеразних зон здійснювали 0,1 % водним розчином міцного синього РР упродовж години. Фіксацію ізоферментного спектру естераз проводили розчином оцтової кислоти, етанолу і води (10 : 25 : 65) (Subbotin S.A., Vera I.C.D., Mundo-Ocampo M., Baldwin J.G., 2011).

Результати дослідження та їх обговорення.

Виявлення осередків глободерозу, особливо на початкових етапах заселення угідь досить ускладнено,

ділянок із меншими інтервалами між відбором певних зразків. Апробація цього методу засвідчила доцільність його практичного застосування фахівцями карантинних інспекцій для виявлення осередків золотистої картопляної нематоди (табл. 1).

Отримані результати досліджень (табл. 2) засвідчили, що рекомендований метод Держстандарту виділення цист зі 100 см³ ґрунту забезпечує імовірність виявлення цист лише у випадку надходження великих партій (завдяки збільшенню загального об'єму наважок ґрунту) або вантажів із високим рівнем інвазованості рослинної продукції.

Встановлено, що за наявності в 300 см³ ґрунту однієї цисти стандартним флотаційним методом досягалося її виділення лише в 3 % випадків. За вихідної заселеності – 5 цист /300 см³ ґрунту вірогідність виділення традиційним флотаційним методом становила 37 %. За рівня заселеності ґрунту – 15 цист імовірність їхнього виявлення досягала 87 %. За умови збільшення наважки ґрунту до 800 см³ вірогідність виявлення 1 цисти в пробі становила відповідно 15 %, 5 – 72 %, а 15 цист – 96 %. Отже, для запобігання

Водночас, порівняно з іншими схемами моніторингу, досягається більш рівномірне охоплення площі

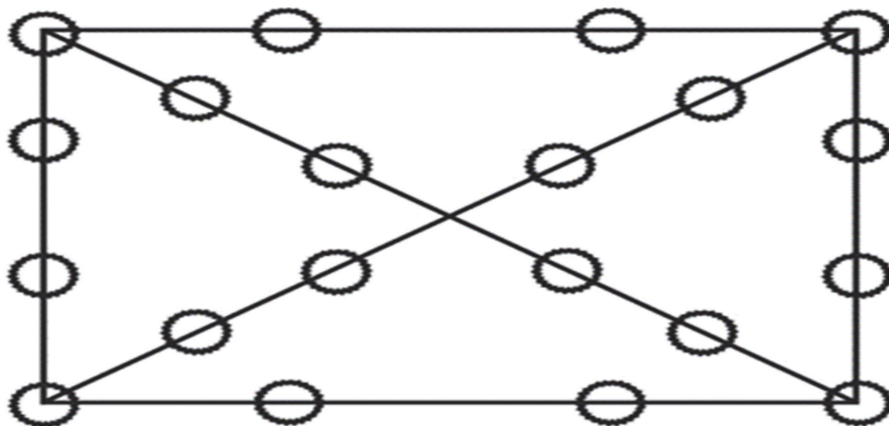


Рис. 1. Відбір ґрунтових зразків за схемою конверта

1. Ефективність виявлення заселеності ґрунту золотистою картопляною нематодою залежно від схеми відбору зразків

№ п/п	Схема відбору	Кількість цист, екз./100 см ³ ґрунту				
		1	2	3	4	Середнє
м. Рахів Закарпатської області						
1.	Діагоналі	40	20	70	17	36,8
2.	Трикутника	16	53	88	104	65,3
3.	Конверта	43	166	250	420	219,7
м. Маневичі Волинської області						
1.	Діагоналі	32	96	193	172	123,2
2.	Трикутника	24	39	65	108	59,0
3.	Конверта	47	243	281	351	230,5

розселення цист ЗКН із підкарантинною продукцією доцільно для аналізу відбирати й аналізувати зразки загальним об'ємом – 800 см³ ґрунту.

Усі наявні нині методи базуються на виділенні цист із ґрунту доведеного до повітряно-сухого стану. Однак, зразки ґрунту, відібрані з вантажів підкарантинної продукції часто потребують проведення експрес аналізу. Тому, для визначення ефективності виділення цист залежно від рівня зволоженості ґрунту нами були проведені спеціальні дослідження.

Встановлено, що з підвищенням рівня вологості відібраних зразків

ґрунту, спостерігалася тенденція до зниження частки їхнього виділення (табл. 3). Так, за 5 % вологості ґрунту флотаційним методом виділялося приблизно 97 % цист, а за 15,5 %, відповідно – 85 %. Тому, метою наших досліджень було підібрати економічно доступні речовини, які здатні забезпечити підвищення рівня виділення цист із вологого ґрунту.

У результаті проведених досліджень було встановлено, що найдоцільніше для цієї мети застосовувати насичений розчин кухонної солі NaCl із розрахунку 50 грам на 1 літр води (табл. 3).

2. Вірогідність виявлення цист золотистої картопляної нематоди залежно від об'єму ґрунтової проби

№ п/п	Кількість цист в 300 см ³ ґрунту	Вірогідність виявлення цист, %	
		Метод Держстандарту, 100 см ³ ґрунту	Збільшена вибірка до 800 см ³ ґрунту
1.	1	3	15
2.	3	19	28
3.	5	37	72
4.	7	53	81
5.	10	70	90
6.	15	87	96

3. Вплив вологості ґрунту на виділення цист картопляних нематод за методом Кірхнера

№ п/п	Вологість ґрунту в %	Вірогідність виділення, %	
		Рекомендований спосіб, %	При додаванні NaCl (50 гр/1л H ₂ O), %
1.	5,0	97	100
2.	10,0	90	99
3.	15,5	85	94
4.	24,0	73	90
5.	36,0	65	86

Традиційно цистоутворюючих нематод ідентифікують за комплексом морфологічних і біологічних особливостей та здатністю до розмноження на нематодостійких сортах. Однак, визначення видів і патотипів цими методами є досить складним і тривалим за часом процесом та вимагає певних практичних навичок. Тому, в останні роки для ідентифікації глободер почали застосовувати різні біохімічні методи.

Нашим завданням було оцінити можливість практичного використання методу ізоелектричного фокусування для ідентифікації цист золотистої картопляної нематоди.

У результаті проведених досліджень методом ізоелектричного фо-

кусування білків в поліакриламідному гелі встановлено (рис. 2.), що білкові спектри (паспорти) цист відібраних з осередків Закарпаття вказують на їхню ідентичність і належність до одного виду *G. rostochiensis* (патотипу Ro₁) – золотистої картопляної цистоутворюючої нематоди, що також було підтверджено морфо-анатомічними та біологічними дослідженнями.

Водночас, зважаючи на нинішню економічну затратність проведення біохімічних методів, вважаємо за доцільне їхнє застосування першочергово для діагностування карантинних та нових для науки видів цистоутворюючих нематод.

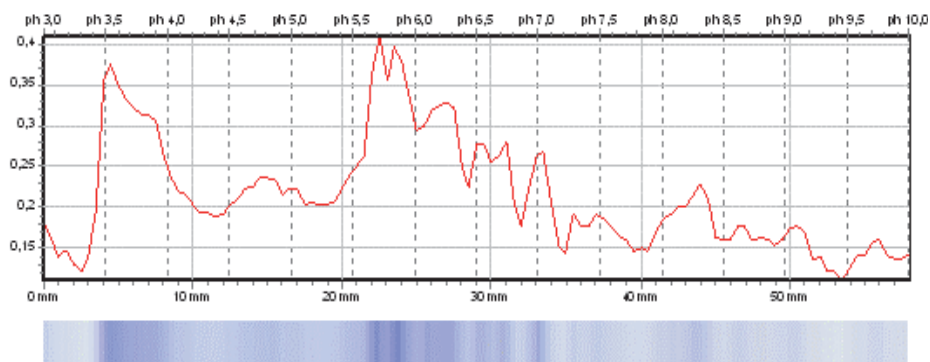


Рис. 2. Білковий паспорт цист золотистої картопляної нематоди із осередків Закарпатської області

Висновки та перспективи

1. Найбільшу ймовірність виявлення осередків золотистої картопляної нематоди забезпечував відбір зразків ґрунту за методом конверту.
2. Для запобігання розселення карантинних видів нематод, особливо із садивним матеріалом, варто відбирати й аналізувати на наявність цист зразки ґрунту загальним об'ємом – 800 см³.
3. Використання насиченого розчину кухонної солі NaCl із розрахунку 50 грам на 1 літр води забезпечує підвищення ефективності виділення цист із вологого ґрунту флотаційним методом.
4. Біохімічні методи доцільно застосовувати першочергово для ідентифікації карантинних та нових для науки видів цистотворюючих нематод.

References

1. EPPO. (2013). *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. PM 7/40 (3). OEPP/EPPO Bull., 43, 119-138. <https://doi.org/10.1111/epp.12025>
2. Babych, A. G., Babych, A. A., Suhareva, R. D., & Statkevich, A. A. (2014). Effect of crop rotation on the abundance of golden potato nematode. *Plant protection and quarantine*, 1, 42-45. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sevooborota-na-chislennost-zolotistoy-kartofelnoy-nematody/viewer>
3. Shesteporov A. A., Lukyanova E. A. (2018). Foundations and methods of modeling of projected growth potato globoderosis on agrometeorological conditions. *Rosiyskiy parazitologicheskii zhurnal*, 12(2), 95–103. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2018-12-2-95-103>
4. Sukhomlin, K. B., Koshirets, V. M., Zinchenko, M. O., Biletskiy, Y. V., & Zinchenko, O. P. (2019). The current state of the pop-

- ulation of the golden potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* (Nematoda, Heteroderidae) in the northwest of Ukraine. *Biosystems Diversity*, 27(1), 33–38. doi:10.15421/011905
5. Christoforou M., Pantelides, I.S., Kanetis, L., Ioannou, N. (2014). Rapid detection and quantification of viable potato cyst nematodes using qPCR in combination with propidium monoazide. *Plant Pathology*, 63, 1185-1192.
6. Duceppe, MO., Lafond-Lapalme, J., Palomares-Rius, J.E. et al. (2017). Analysis of survival and hatching transcriptomes from potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Sci Rep* 7, 3882. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03871-x>
7. Shesteporov A. A., Lukyanova E. A., Bondarev A. A. (2019). Application the Hassell model for prediction the population density of golden nematode of potato after growing *Globodera* resistant variety of potato. *Russian Journal of Parasitology*, 13(1), 90–96. DOI: 10.31016/1998-8435-2019-13-1-90-96.
8. Pridannikov, M.V., Petelina, G.G., Palchuk, M.V., Masler, E.P., Dzhavakhiya, V.G. (2007). Influence of components of *Globodera rostochiensis* cysts on the in vitro hatch of second-stage juveniles. *Nematology*, 9, 837-844. <https://doi.org/10.1163/156854107782331126>
9. Karelov, A.V., Pylypenko, L.A., Kozub, N.O. et al. (2013). Allelic state of the molecular marker for golden nematode (*Globodera rostochiensis*) resistance gene H1 among Ukrainian and world potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) cultivars. *Cytol. Genet.*, 47, 294–297. <https://doi.org/10.3103/S0095452713050058>
10. Back, M., Haydock, P. and Jenkinson, P. (2006). Interactions between the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* and diseases caused by *Rhizoctonia solani* AG3 in potatoes under field conditions. *Eur. J. Pl. Pathol.*, 114, 215-223. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-5281-y>

11. Sudha, R., Venkatasalama, E.P., Bairwa, A., Bhardwaj, V. and Dalamu-Sharma, R. (2016). Identification of potato cyst nematode resistant genotypes using molecular markers. *Scient. Hort.*, 198, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.029>
12. Subbotin S.A., Vera I.C.D., Mundo-Ocampo M., Baldwin J.G. (2011). Identification, phylogeny and phylogeography of circumfenestrate cyst nematodes (Nematoda: Heteroderidae) as inferred from analysis of ITS-rDNA. *Nematology*, 13, 805–24. <https://doi.org/10.1163/138855410X552661>

A.G. Babich, R.D. Suhareva, O.A. Babich, I.V. Prichodko (2020). APPLIED PROBLEMS OF DETECTION AND IDENTIFICATION OF GOLDEN POTATO NEMATODE. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 11(4): 87-95. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/14558>. <https://doi.org/10.31548/biologiya2020.04.008>.

Abstract. In Ukraine, the golden potato nematode - an object of internal quarantine of plants is distributed mainly in homesteads, much less often in collective farms. Detection of its foci, especially in the initial stages of land settlement is quite difficult, because the typical signs of damage - globoderosis (lag in growth and development, chlorosis, leaf wilting, etc.) are visually manifested only after the accumulation of high population density as a result of long-term cultivation of nightshade crops in monoculture or with minimal intervals between re-placement. To improve the methods of monitoring the golden potato nematode, various survey schemes were tested: diagonally, by the method of triangle and envelope. It is established that the highest probability of detection of land population by the golden potato nematode is provided by the selection of soil samples by the envelope method. At the same time, compared to other monitoring schemes, a more uniform coverage of the surveyed area is achieved.

Modern methods of flotation provide high efficiency of isolation of cysts from the soil brought to an air-dry state. However, soil samples taken from quarantined goods often require rapid analysis. It was found that with increasing humidity of soil samples, there was a tendency to decrease the proportion of nematode cysts. Therefore, to achieve higher efficiency of nematode cyst isolation, a saturated solution of NaCl should be used at the rate of 50 grams per 1 liter of water.

Determination of the species composition of cyst-forming potato nematodes should be carried out on a set of morphometric parameters, biological features (using varieties of differentiators) and biochemical differences. However, given the current high cost of biochemical diagnostic methods, they should be used primarily to identify quarantine and new to science species of cyst nematodes. In particular, the method of isoelectric focusing of proteins in polyacrylamide gel confirmed the belonging of cysts selected from Transcarpathian cells to one species - golden potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* (pathotype Ro1).

Keywords: golden potato nematode, potato globoderosis, detection methods, soil samples, cyst isolation, species identification.