

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КЛІМАТИЧНО ОРІЄНТОВАНОГО
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

ЗРОШУВАНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО

Міжвідомчий тематичний
науковий збірник

Випуск 83



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1553 від 09.05.2024 року. Ідентифікатор медіа R30-04608.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України категорії «Б» у галузі аграрних наук (Е2 – Екологія, Н1 – Агрономія) відповідно до Наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1)

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН
(протокол 12 від 22 травня 2025 року).

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:

Вожегова Раїса Анатоліївна – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН, заслужений діяч науки і техніки України, директор, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України.

Члени редакційної колегії:

Аверчев Олександр Володимирович – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри землеробства, Херсонський державний аграрно-економічний університет.

Базалій Валерій Васильович – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри рослинництва та агроінженерії, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Біднина Ірина Олександрівна – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Начальник відділу зведеного планування Науково-організаційного управління апарату Президії, Національна академія аграрних наук України;

Бояркіна Любов Вадимівна – доктор сільськогосподарських наук, завідувач відділу геоінформаційних технологій та економічних досліджень Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Влашук Анатолій Миколайович – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу первинного та елітного насінництва, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Голобородько Станіслав Петрович – доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник відділу кліматично орієнтованих агротехнологій, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Грановська Людмила Миколаївна – доктор економічних наук, професор, завідувач відділу зрошувального землеробства та декарбонізації агроєкосистем, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Денчіч Србіслав (Denčić Srbislav) – доктор генетичних наук, професор, Інститут польових та овочевих культур (Нові Сад, Сербія);

Заєць Сергій Олександрович – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу кліматично орієнтованих агротехнологій, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Хандакар Рафік Іслам (Khandakar Rafiq Islam) – доктор наук, старший науковий співробітник, доцент, Державний університет Огайо, (Огайо, США);

Лавриненко Юрій Олександрович, доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН, головний науковий співробітник відділу селекції сільськогосподарських культур, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Лиховид Павло Володимирович – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник відділу зрошувального землеробства та декарбонізації агроєкосистем, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Марченко Тетяна Юріївна – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу селекції сільськогосподарських культур, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Писаренко Павло Володимирович – доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу зрошення, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України;

Пілярська Олена Олександрівна – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, завідувач відділу маркетингу та міжнародної діяльності, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Петрзак Стефан (Pietrzak Stefan) – доктор наук, професор, завідувач відділу якості води, Технологічний та природничий інститут (Рашин, Польща);

Тищенко Андрій Вікторович – доктор сільськогосподарських наук, провідний науковий співробітник відділу селекції сільськогосподарських культур, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Шатковський Андрій Петрович – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України.

У збірнику подаються результати наукових досліджень теоретичного та практичного характеру з питань зрошувального землеробства. Висвітлено елементи системи землеробства, обробіток ґрунту, удобрення, раціональне використання поливної води, особливості ґрунтотворних процесів. Приділено увагу питанням кормовиробництва, вирощування зернових, картоплі та інших культур, створення нових сортів і гібридів, біотехнології, економіці виробництва.

Міжвідомчий тематичний науковий збірник розрахований на науковців, аспірантів, спеціалістів сільського господарства.

ЗМІСТ

НАШІ ЮВІЛЯРИ.....	5
Вожеговій Раїсі Анатоліївні – ювілей.....	5
МЕЛІОРАЦІЯ, ЗЕМЛЕРОБСТВО, РОСЛИННИЦТВО.....	9
Вожегова Р.А., Лиховид П.В., Грановська Л.М. Математичне моделювання вмісту поживних речовин у ґрунті за даними дистанційного зондування землі.....	9
Лікар Я.О., Гадзало Я.М., Вожегова Р.А. Продуктивність та біохімічні показники якості зерна гібридів кукурудзи залежно від різних схем захисту рослин	15
Омельяненко О.М. Біологічний контроль – невід’ємна складова сучасної інтегрованої системи захисту агроценозів соняшнику	23
Пілярська О.О., Шабля О.С., Петрів Л.М., Жеребчук С.В., Полагенько О.С. Використання очищених стічних вод для зрошення сільськогосподарських культур в Україні.....	30
Тараріко Ю.О., Зосимчук М.Д., Писаренко П.В., Сайдак Р.В., Біднина І.О., Книш В.В., Степанова М.М., Полагенько О.С., Вдовиченко О.П. Балансові дослідження у сівозмінах з лісостеповими культурами у Західному Поліссі за змінних гідро-термічних умов.....	35
Триус В.О. Агроекономічні перспективи вирощування сої в Україні	47

CONTENTS

OUR ANNIVERSARY CELEBRANTS.....	5
Raisa Anatoliivna Vozhehova's Anniversary.....	5
AMELIORATION, FARMING, CROP PRODUCTION.....	9
Vozhehova R.A., Lykhovyd P.V., Hranovska L.M. Mathematical modeling of soil organic matter content using remote sensing data.....	9
Hadzalo Ya.M., Vozhehova R.A., Likar Ya.O. Productivity and grain quality of maize hybrids depending on various plant protection schemes in the southern steppe under irrigation conditions.....	15
Omelyanenko O.M. Biological control is an integral part of a modern integrated system for protecting sunflower agroecosystems.....	23
Piliarska O.O., Shablia O.S., Petriv L.M., Zhrebchuk S.V., Polahenko O.S. The Use of Treated Wastewater for Irrigation of Agricultural Crops.....	30
Tarariko Yu.O., Zosymchuk M.D., Pysarenko P.V., Saidak R.V., Bidnyna I.O., Knysh V.V., Vdovychenko O.P., Polahenko O.S. Balance studies in crop rotations with forest-steppe crops in Western Polissia under variable hydro-thermal conditions.....	35
Tryus V.O. Agroecoeconomic prospects of soybean cultivation in Ukraine.....	47

НАШІ ЮВІЛЯРИ

ВОЖЕГОВІЙ РАЇСІ АНАТОЛІЇВНІ – ЮВІЛЕЙ



20 червня 2025 року виповнюється 60 років від дня народження директора Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, доктора сільськогосподарських наук, професора, академіка НААН, Заслуженого діяча науки і техніки України Раїси Анатоліївни Вожегової – провідного вченого в галузі землеробства, сільськогосподарських меліорацій, селекції, насінництва, рослинництва та агроєкології.

Раїса Анатоліївна народилась у селі Довга Поляна Старооскольського району Білгородської області Російської Федерації. Фундамент для майбутніх досягнень було закладено ще в роки

навчання – у 1987 році вона закінчила Кримський орден «Знак Пошани» сільськогосподарський інститут імені М.І. Калініна за спеціальність «Плодоовочівництво і виноградарство» та розпочала свою трудову діяльність на Кримській сільськогосподарській дослідній станції, де працювала упродовж 1987-2000 рр. на посадах молодшого, наукового і старшого наукового співробітника. З 2001 по 2010 рр. працювала в Інституті рису УААН на посадах завідувача відділу, вченого секретаря і заступника директора з наукової роботи. З 2010 р. і по 2022 р. очолювала Інститут зрошуваного землеробства НААН. З 2022 р. і по теперішній час Раїса Анатоліївна обіймає посаду директора Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН.

Паралельно з професійною діяльністю Раїса Анатоліївна неухильно розвивала і свій науковий потенціал. В 1999 році захистила кандидатську дисертацію за темою: «Створення вихідного матеріалу для селекції озимої пшениці в умовах степової зони за спеціальністю «Селекція і насінництво». В 2005 році їй було присвоєно вчене звання старшого наукового співробітника за спеціальністю «Селекція рослин». У 2010 році – докторську дисертацію за темою: «Наукове обґрунтування і результати селекції рису в Україні» за спеціальністю «Селекція рослин». У 2012 році їй було присвоєно почесне звання Заслужений діяч науки і техніки України, у 2013 році отримала вчене звання професора за спеціальністю «Сільськогосподарські меліорації», у 2016 році – обрана член-кореспондентом НААН, а у 2020 – обрана академіком НААН.

Вожегова Раїса Анатоліївна – провідний вчений аграрного сектору України, її багаторічна наукова діяльність є взірцем цілеспрямованої та високопрофесійної роботи, орієнтованої на вирішення акту-





альних завдань сучасного землеробства в умовах зміни клімату.

Основні напрями її наукових досліджень охоплюють питання ефективного використання зрошуваних земель, покращення їх еколого-меліоративного та агрохімічного стану, оптимізації технологій вирощування сільськогосподарських культур як на поливних, так і на неполивних землях. Особлива увага приділяється питанням селекції, створенню нових високопродуктивних та адаптивних сортів сільськогосподарських культур, здатних забезпечити стабільні врожаї за умов водного дефіциту.

Наукові розробки Раїси Анатоліївни мають визнання не лише в межах України, а й за кордоном. Вони активно використовуються в аграрній практиці, особливо в південних регіонах, де зрошення є ключовим фактором стабільного виробництва.

Значне місце у її діяльності займає впровадження науково обґрунтованих систем землеробства, спрямованих на забезпечення ресурсоз-

береження, екологічної безпеки та підвищення продуктивності агроландшафтів. Її підходи до раціонального використання водних і земельних ресурсів базуються на глибокому розумінні агроекологічних процесів, що дозволяє ефективно поєднувати інновації з практичними рішеннями для виробництва.

Важливою складовою наукової діяльності є створення й адаптація сортової агротехніки, розробка інноваційних технологій вирощування культур з урахуванням ґрунтово-кліматичних особливостей регіонів, а також інтеграція результатів досліджень у навчальний процес та систему підготовки кадрів аграрного профілю.

Раїса Анатоліївна також активно працює над формуванням міждисциплінарних підходів до розв'язання проблем сталого землекористування, збереження родючості ґрунтів, енергоефективності в агросекторі. Під її керівництвом створено та впроваджено низку комплексних наукових програм, спрямованих на розвиток аграрної науки та підвищення конкурентоспроможності українського сільського господарства.

Її внесок у розвиток аграрної науки відзначено численними державними та академічними нагородами, а також повагою з боку наукової і виробничої спільноти. Високий професіоналізм, управлінський талант, цінний практичний досвід та щирі людські якості дозволили Раїсі Вожеговій створити команду справжніх професіоналів, які ефективно і цілеспрямовано працюють на розвиток вітчизняної аграрної науки та сільського господарства України.

Раїса Вожегова – успішна жінка-лідер, ефективний менеджер та відкрита й порядна людина. Людина, яка вміє слухати й чути, здатна вести конструктивний діалог з колегами і представниками аграрного бізнесу.

Багаторічний досвід науковиці, професіоналізм і стратегічне мислення зробили Раїсу Анатоліївну





впливовою фігурою не лише в науковому середовищі, а й у сфері аграрної політики України. Вона є членом Українського товариства генетиків і селекціонерів імені М.І. Вавилова, Українського товариства ґрунтознавців і агрохіміків, Ради ботанічних садів і дендропарків України, Асоціації «Українське насіннєве товариство». Раїса Анатоліївна є членом секції Наукової Ради Міністерства освіти і науки України з експертизи проєктів наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок за тематичним напрямом «Аграрні науки та ветеринарія», Координаційної ради з питань відновлення роботи та розвитку зрошуваних систем та розвитку ринків сільськогосподарської продукції при Міністерстві аграрної політики та продовольства України; з питань забезпечення пом'якшення змін клімату при Міністерстві захисту довкілля та природних ресурсів України; науково-технічної ради Державного

агентства водних ресурсів України, формування та реалізації державної політики у сфері розвитку водного господарства, робочої групи з питань консервації деградованих і малопродуктивних земель в Херсонській області; з розроблення стратегічних напрямів відновлення навколишнього природного середовища в наслідок аварії на Каховській ГЕС при Херсонській обласній державній адміністрації. Вона є головою спеціалізованої вченої ради із захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії та доктора сільськогосподарських наук за спеціальностями «Сільськогосподарські меліорації» і «Селекція і насінництво». Також є керівником ПНД НААН 5 «Зрошуване землеробство».

Раїса Анатоліївна є головним редактором фахового міжвідомчого тематичного наукового збірника «Зрошуване землеробство» та журналу «Аграрні інновації», членом редакційної колегії науково-прак-





тичного журналу «Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин».

Значним є також внесок Раїси Анатоліївни у розвиток наукової комунікації та популяризацію результатів досліджень. У науковому доробку вченої понад 1200 наукових праць, з яких 97 книг, 30 статей у журналах, що індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science Core Collection, 140 методичних рекомендацій, 30 авторських свідоцтв та патентів. Вона є автором 12 сортів рису та 8 сортів пшениці озимої, 1 сорту буркуну булого, 1 сорту помідору їстівного, 3 гібридів кукурудзи та 3 сорти мигдалю звичайного.

Наукове керівництво Раїси Вожегової сприяло підготовці нового покоління фахівців. Під її професійним науковим керівництвом успішно захистили дисертаційні роботи 10 докторів наук, 17 кандидатів наук та 3 доктори філософії.

Раїса Анатоліївна за плідну наукову діяльність була нагороджена Почесною грамотою і медаллю

Верховної Ради України (2014 р., 2025 р.), Почесною грамотою Кабінету Міністрів України (2015 р.), Орде́ном княгині Ольги III ступеня (2020 р.), Почесними грамотами Національної академії аграрних наук України (2010, 2015, 2019 р., 2023 р.), Почесною відзнакою Національної академії аграрних наук України (2012 р., 2018 р.), неодноразово нагороджена грамотами Херсонської ОДА (2012 р., 2017 р.), Херсонської обласної ради (2013 р., 2017 р., 2024 р.), Одеської ОДА (2023 р., 2017 р.), Одеської обласної ради (2024 р.), Відзнакою Міжнародної Академії рейтингових технологій та соціології «Золота Фортуна» (2018 р.), медаллю «Народна шана Українським науковцям 1918-2018» (2018 р.), Грамотою міського голови (2019 р.) та багатьма іншими.

Щиро вітаємо Вожегову Раїсу Анатоліївну з ювілеєм, бажаємо міцного здоров'я, довголіття, невичерпаної життєвої енергії, примноження наукових звершень, творчої наснаги, реалізації дослідницьких ідей і задумів!

*Національна академія аграрних наук України,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН*

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВМІСТУ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН У ҐРУНТІ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ВОЖЕГОВА Р.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
академік Національної академії аграрних наук України, заслужений діяч науки
і техніки України

orcid.org/0000-0002-3895-5633

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

ЛИХОВИД П.В. – доктор сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-0314-7644

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

ГРАНОВСЬКА Л.М. – доктор економічних наук, професор,

член-кореспондент Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0001-7021-3093

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Раціональне управління природними ресурсами, які є основними засобами аграрного виробництва, вимагає точного та своєчасного оцінювання стану ґрунтів, зокрема рівня забезпеченості поживними речовинами, що є критичним фактором для продуктивності сільськогосподарських культур, оскільки саме земельні ресурси в цілому та ґрунти зокрема є основою виробництва продукції рослинництва. Традиційні методи аналізу ґрунтів, засновані на польовому відборі та лабораторних дослідженнях зразків, є трудомісткими, затратними за часом і не забезпечують просторової репрезентативності на великих територіях. У зв'язку з цим зростає потреба у використанні сучасних методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які дозволяють оперативно отримувати просторово-розподілену інформацію про властивості ґрунту.

Однак пряме визначення вмісту поживних речовин за допомогою супутникових даних є складним через непрямий характер зв'язку між спектральними характеристиками поверхні та хімічним складом ґрунту. Це зумовлює необхідність розробки математичних моделей, здатних описати взаємозв'язки між показниками ДЗЗ (такими як спектральні індекси, альbedo, температура земної поверхні, вегетаційні індекси) і вмістом ключових елементів живлення та органічної речовини в ґрунті.

На сьогодні існує обмежена кількість досліджень, у яких здійснюється інтеграція супутникових даних у форматі вегетаційних індексів, які опосередковано характеризують стан рослинності та відбивну здатність земної поверхні, з результатами ґрунтових аналізів на основі математичних методів моде-

лювання. Більшість наукових досліджень виконано закордонними науковими групами, а оскільки вони орієнтовані на конкретні регіони, то не враховують особливості ґрунтового покриття й агрокліматичних умов України та не можуть бути прямо екстраповані у вітчизняні наукові дослідження та агрономічну практику. Тому виникає науково-практична проблема: як створити адаптивну математичну модель, яка з достатньою точністю відображатиме вміст поживних речовин у ґрунті на основі розрахункових вегетаційних індексів (даних дистанційного зондування Землі), з урахуванням регіональних особливостей?

Огляд та узагальнення основних здобутків сучасної світової науки з питань залучення аерокосмічного моніторингу та вегетаційних індексів до завдань моніторингу стану та якості ґрунтів, наведено нижче.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У сучасному сільському господарстві дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є одним із ключових інструментів, що використовуються для моніторингу родючості ґрунтів, що дозволяє отримувати дані на територіях будь-якого масштабу без необхідності фізичного відбору проб і виконання лабораторних аналізів. Це особливо актуально для регіонів з обмеженим доступом до лабораторій або великою площею земельних ділянок, де традиційні методи є трудомісткими та затратними.

Дослідження, виконане в Перу, продемонструвало ефективність використання мультиспектральних зображень з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у поєднанні з алгоритмами ансамблевого машинного навчання для оцінки просторового роз-

поділу таких параметрів, як вміст азоту, фосфору, калію, органічної речовини та електропровідності ґрунту. Розроблена авторами роботи модель засвідчила свою достатню точність і надійність [1].

Крім того, огляд сучасних методів ДЗЗ підкреслює переваги вищевказаного підходу, включаючи можливість неінвазивного, масштабного та швидкого збору даних про властивості ґрунтів, такі як вологість, температура, вміст органічної речовини та текстура. Це дозволяє аграріям приймати обґрунтовані рішення щодо управління земельними ресурсами та оптимізації агротехнічних заходів [2]. Таким чином, інтеграція ДЗЗ у систему моніторингу родючості ґрунтів забезпечує більш ефективне, точне та економічно доцільне управління сільськогосподарськими угіддями.

Первинні дослідження щодо залучення нормалізованого диференційного вегетаційного індексу NDVI до вивчення стану ґрунтів дозволили припустити, що даний показник може опосередковано свідчити не тільки про стан рослинного покриву, але й про властивості ґрунтів, зокрема, вміст гумусу в орному шарі ґрунтів півдня України [3].

Індекс SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) є модифікацією індексу NDVI, розробленою для зменшення впливу ґрунтового фону на оцінку рослинного покриву, особливо в районах з низькою рослинністю. Це робить SAVI особливо корисним для аналізу ґрунтів з різною щільністю рослинного покриву [4].

У дослідженні, виконаному на полях рису, встановлено пряму сильну кореляцію між вмістом органічної речовини в ґрунті та величиною супутникових індексів NDVI і SAVI (коефіцієнт детермінації становив понад 95%). Це свідчить про потенціал використання SAVI для непрямої оцінки вмісту органічної речовини в ґрунтах за допомогою дистанційного зондування. Крім того, дослідження в Північному Іраку засвідчило, що SAVI, поряд з іншими факторами, є одним із ключових предикторів вмісту органічної речовини в ґрунті під час використання комплексних моделей машинного навчання, таких як Random Forest (ансамблеве навчання) та XGBoost (модель градієнтного підсилення) [5].

Таким чином, використання індексів NDVI та SAVI у поєднанні з методами машинного навчання забезпечує ефективний підхід до моніторингу вмісту органічної речовини в ґрунтах, що є критично важливим для оцінки їх родючості та загального стану. Інтеграція дистанційного зондування Землі та використання вегетаційних індексів у моніторингу родючості ґрунтів та вмісту органічної речовини надає аграріям потужні інструменти для точного, ефективного та доцільного з еколого-економічної точки зору управління земельними ресурсами. Ці методи дозволяють своєчасно виявляти зміни у властивостях ґрунтів, оптимізувати агротехнічні заходи та сприяти розвитку сільського господарства на принципах сталого розвитку.

Мета – розробити математичні моделі вмісту органічної речовини у ґрунтах України залежно від величини супутникових індексів SAVI та NDVI, виконати статистичну оцінку побудованих моделей та

надати обґрунтування можливості та доцільності їх використання у науково-практичній діяльності.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження ґрунтується на використанні даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що забезпечують високу просторову та часову репрезентативність для оцінювання стану ґрунтового покриву. Просторові дані про вміст органічної речовини в ґрунтах України (виражений у грамах на кілограм ґрунту, г/кг) було отримано за допомогою відкритого джерела OpenLandMap, яке надає глобальні ґрунтові характеристики з роздільною здатністю 250 м. Для оцінки стану рослинного покриву та потенційного впливу біомаси на показники ґрунтів було обчислено два вегетаційні індекси – SAVI та NDVI. Розрахунок цих індексів здійснювався на основі часової серії супутникових знімків із сенсорів MODIS (MOD13Q1 та MOD13A1) із просторовою роздільною здатністю 500 м, охоплюючи період 2022–2024 років. Отримані значення були агреговані та усереднені за адміністративно-територіальними одиницями першого рівня (областями) України.

Для точного просторового узгодження даних була використана маска адміністративних меж областей України відповідно до глобального набору FAO/GAUL/2015/level1. Обробка супутникових даних, виконання просторово-часового аналізу та розрахунок вегетаційних індексів здійснювалися на платформі Google Earth Engine, що забезпечує потужні обчислювальні ресурси для аналізу великих обсягів геопросторових даних. Усі обчислення реалізовані за допомогою авторських скриптів, написаних мовою програмування JavaScript, з урахуванням особливостей українського агроландшафту та агрокліматичних умов.

Індекс NDVI обчислювали за формулою (1):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Індекс SAVI обчислювали за формулою (2):

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \times (1 + L) \quad (2)$$

де: NIR – величина відбиття світла у близько інфрачервоному спектральному діапазоні; RED – величина відбиття світла червоному спектральному діапазоні; L – поправочний коефіцієнт-константа [6].

Для побудови моделей було створено відповідні пари даних «вміст органічної речовини (SOC)» – «величина SAVI / NDVI», та виконано лінійний регресійний аналіз даних за r -значення $< 0,05$ [7]. Математичні розрахунки та графічну роботу було виконано у програмному забезпеченні BioStat v.7. Оцінка якості моделі здійснювалася за величиною коефіцієнта детермінації та відносною середньої похибки [8]. Порівняння моделей виконували із використанням інформаційного критерія Акаїке (AIC) [9], розрахованого за формулою (3):

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (3)$$

де: k – кількість параметрів моделі; L – максимальне значення функції правдоподібності для моделі.

Чим менше величина AIC, тим краща модель – вона забезпечує кращий компроміс між точністю та простотою.

Результати досліджень. Регресійні моделі вмісту органічної речовини в ґрунтах України залежно від величини вегетаційних індексів NDVI та SAVI розроблено з урахуванням середніх показників за період 2022–2024 рр. (табл. 1). Обидві моделі демонструють високі коефіцієнти кореляції та детермінації. Втім, величина похибок є вище середньою, відповідно до сучасної градації моделі з такими похибками (10–20%) вважаються гарними, але не можуть гарантувати стабільно високу точність прогнозування. Головним обмеженням під час побудови моделей була недостатня кількість доступних супутникових даних щодо вмісту органічної речовини в ґрунтах України, що обмежило кінцевий набір пар даних під час математичного аналізу до 25 і не дозволяло виконати робастний математичний аналіз взаємозв'язків між показниками вегетаційних індексів та вмісту органіки в ґрунтах через ризики перетренування моделей і отримання неправдиво завищених показників точності.

Відповідно до інформаційного критерія Акаїке, децю кращою виявилася регресійна модель вмісту органічної речовини в ґрунті залежно від NDVI. Втім, варто відзначити фактично рівнозначну точність обох математичних моделей, що додатково підтверджує графік їх апроксимації (рис. 1).

Крім наочної демонстрації прогнозування вмісту органічної речовини у ґрунтах України, апроксимація моделей свідчить, що максимальні розбіжності між прогнозованими та реальними величинами спостерігаються для граничних випадків, тобто при значеннях, що перебувають на межах допустимого або очікуваного діапазону. Проведений додатковий аналіз для підмножини даних, що відповідає значенням, наближеним до медіани вмісту органічної речовини, засвідчив значне зниження відносної похибки моделей. Зокрема, в межах цієї підмножини вона становила 3,90–3,98%, що істотно менше, ніж середня похибка при валідації на повному обсязі вхідних даних. Це свідчить про підвищену чутливість моделей у межах репрезентативних значень, а також про потребу подальшої оптимізації для обробки екстремальних випадків (так званих «edge cases»).

Таблиця 1 – Регресійні моделі вмісту органічної речовини в ґрунтах України за величиною супутникового NDVI та SAVI

Параметри моделі	NDVI – SOC	SAVI – SOC
Модель	$2,6264 \times 10^3 \times \text{NDVI}$	$4,0993 \times 10^3 \times \text{SAVI}$
Коефіцієнт кореляції	0,97	0,97
Коефіцієнт детермінації	0,95	0,95
Похибка (середньоквадратична)	150,93 г/кг	153,71 г/кг
Похибка (відносна)	19,15%	19,71%
Критерій Акаїке	12,91	12,95

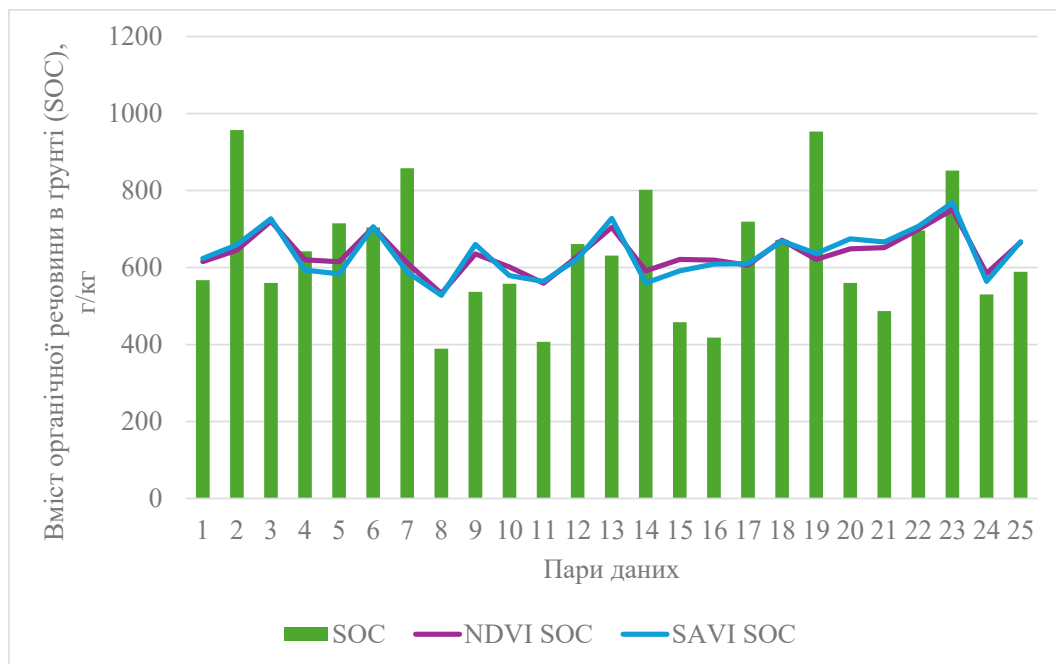


Рис. 1. Графічна апроксимація моделей вмісту органічної речовини в ґрунтах України (SOC), змодельованого за величиною вегетаційних індексів MODIS NDVI (NDVI SOC) та MODIS SAVI (SAVI SOC)

В цілому, варто відзначити перспективність залучення даних аерокосмічного моніторингу в форматі вегетаційних індексів MODIS NDVI та MODIS SAVI для динамічної оцінки вмісту органічної речовини в ґрунтах України. Результати нашого дослідження є перспективними, і знаходять підтримку в результатах інших науковців. Так, наприклад, SAVI постійно демонструє доволі сильну кореляцію з вмістом органічної речовини в ґрунтах у різних дослідженнях, часто разом з іншими вегетаційними індексами, такими як NDVI та EVI (поліпшений вегетаційний індекс, менш чутливий до атмосферних спотворень). У деяких випадках коефіцієнти кореляції між величинами SAVI і вмістом органіки в ґрунті перевищують 0,90, що свідчить про високу прогностичну здатність даного вегетаційного індексу [10, 11].

Нормалізований диференційний вегетаційний індекс NDVI, розрахований на основі аерокосмічних знімків, широко використовується для оцінки стану рослинного покриву агроєкосистем і в більшості випадків вивчається як опосередкований предиктор вмісту органічної речовини та загальної родючості ґрунтів. Високі значення NDVI, що вказують на добре розвинену здорову рослинність, часто асоціюються з вищим вмістом органіки в ґрунтах, особливо в рівнинних умовах. Однак цей взаємозв'язок є складним і на нього можуть впливати інші фактори навколишнього середовища, такі як текстура ґрунту та розташування ландшафту, а також агрокліматичні умови. Встановлено, що NDVI демонструє як позитивні, так і негативні кореляції з вмістом органічної речовини в ґрунті залежно від сезону та природно-кліматичної зони досліджень. Наприклад, значні позитивні кореляції спостерігаються в літні місяці, тоді як негативні кореляції зафіксовано взимку та в ранньовесняний період, що відображає вплив циклів росту сільськогосподарських культур та природного рослинного покриву на точність оцінки вмісту органічної речовини в ґрунтах [12, 13].

Крім того, варто відзначити перспективи залучення даних дистанційного зондування Землі не тільки для моделювання вмісту органічної речовини, але і агроеліоративного стану ґрунтів, зокрема, визначення ступеня засоленості ґрунтів. Наразі представлена робота має локальне значення та має багато лімітів, оскільки дослідження були виконані лише для одиничного типу ґрунтів в умовах Херсонської області, але вже зараз вона свідчить про перспективність даного напрямку [14].

Варто зазначити, що не дивлячись на те, що NDVI та SAVI є цінним інструментом оцінювання вмісту органічної речовини в ґрунтах, особливо в поєднанні з іншими індексами та екологічними змінними в сучасних моделях, варто бути обережними, оскільки прогностична цінність вегетаційних індексів істотно залежить від місцевих умов і якості супутникових даних, а також власне від алгоритмів математичної обробки та алгоритмів побудови прогнозів. Інтеграція вегетаційних індексів із машинним навчанням і знімками високої роздільної здатності відкриває перспективні шляхи для надійної, масштабованої оцінки вмісту органічної речовини в ґрунтах і поліпшення системи управління їх родючістю.

Крім того, такі оцінки не можуть слугувати у якості абсолютного мірила, а радше використовуються для оперативного динамічного моніторингу відносних змін у вмісті органіки в ґрунті та зміни його родючості. Абсолютні величини вмісту поживних речовин у ґрунті вимагають використання інших підходів до роботи зі спектральними знімками та прив'язки до конкретних результатів агрохімічних обстежень.

Висновки. Розроблено математичні моделі оцінки вмісту органічної речовини в ґрунтах України на основі значень вегетаційних індексів, розрахованих із використанням виключно даних аерокосмічного моніторингу – супутникових продуктів OpenLandMap та MODIS. Результати моделювання підтверджують перспективність обраного підходу, з огляду на його потенціал до оперативного, просторово-репрезентативного моніторингу стану ґрунтів. За умови подальшого розширення вхідного набору ознак, зокрема шляхом інтеграції додаткових індексів, багатоспектральних показників або даних про агрокліматичні умови, можливе впровадження більш стійких (робастних) методів машинного навчання. Це, у свою чергу, створює передумови для побудови прогностичних моделей підвищеної точності та практичної цінності в контексті оцінювання родючості ґрунтів на основі аерокосмічного моніторингу в умовах України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Detecting changes in soil fertility properties using multispectral UAV images and machine learning in Central Peru / Enriquez L., Ortega K., Ccopi D., Rios C., Urquiza J., Patricio S., Alejandro L., Oliva-Cruz M., Barboza E., Pizarro S. *AgriEngineering*. 2025. Vol. 7 (3). P. 70. DOI: 10.3390/agriengineering7030070
2. Advancement of remote sensing for soil measurements and applications: A comprehensive review / Abdulraheem M. I., Zhang W., Li S., Moshayed A. J., Farooque A. A., Hu J. *Sustainability*. 2023. Vol. 15 (21). P. 15444. DOI: 10.3390/su152115444
3. Lykhovyd P. V. The use of spatial normalized difference vegetation index for determination of humus content in the soils of southern Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24 (4). P. 223–228. DOI: 10.12912/27197050/162698
4. Huete A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 1988. Vol. 25 (3). P. 295–309. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X
5. Khalaf H. S., Mustafa Y. T., Fayyadh M. A. Digital mapping of soil organic matter in northern Iraq: Machine learning approach. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13 (19). P. 10666. DOI: 10.3390/app131910666
6. Vani V., Mandla V. R. Comparative study of NDVI and SAVI vegetation indices in Anantapur district semi-arid areas. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8 (4). P. 559–566.
7. Montgomery D. C., Peck E. A., Vining G. G. Introduction to linear regression analysis. John Wiley & Sons, 2021. 609 pp.
8. Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy / Moreno J. J. M., Pol A. P., Abad A. S., Blasco B. C. *Psicothema*. 2013. Vol. 25 (4). P. 500–506. DOI: 10.7334/psicothema2013.23

9. Cavanaugh J. E., Neath A. A. The Akaike information criterion: Background, derivation, properties, application, interpretation, and refinements. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. 2019. Vol. 11 (3). P. e1460. DOI: 10.1002/wics.1460

10. Predicting soil organic carbon and soil nitrogen stocks in topsoil of forest ecosystems in Northeastern China using remote sensing data / Wang S., Zhuang Q., Jin X., Yang Z., Liu H. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. P. 1115. DOI: 10.3390/rs12071115

11. Soil organic carbon assessment using remote-sensing data and machine learning: A systematic literature review / Lima A., Lopes J., Lopes R., de Figueiredo T., Vidal-Vázquez E., Hernández Z. *Remote Sensing*. 2025. Vol. 17 (5). P. 882. DOI:10.3390/rs17050882

12. Prediction of soil organic carbon based on Landsat 8 monthly NDVI data for the Jiangnan Plain in Hubei Province, China / Zhang Y., Guo L., Chen Y., Shi, T., Luo, M., Ju, Q., Zhang H., Wang, S. *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11. P. 1683. DOI:10.3390/rs11141683

13. A Bayesian network simulates the responses of soil organic carbon to environmental factors at a catchment scale / Liu S., Wang Y., Yang Y., Li Z. *CATENA*. 2023. Vol. 233. P. 107493. DOI:10.1016/j.catena.2023.107493

14. Lykhovyd P. V. A case study on the possibility of soil meliorative state assessment by remote sensing data. *Grail of Science*. 2023. Vol. 27. P. 226–230. DOI: 10.36074/grail-of-science.12.05.2023.034

REFERENCES:

1. Enriquez, L., Ortega, K., Ccopi, D., Rios, C., Urquiza, J., Patricio, S., Alejandro, L., Oliva-Cruz, M., Barboza, E., & Pizarro, S. (2025). Detecting changes in soil fertility properties using multispectral UAV images and machine learning in Central Peru. *AgriEngineering*, 7(3), 70. DOI: 10.3390/agriengineering7030070

2. Abdullaheem, M.I., Zhang, W., Li, S., Moshayedi, A.J., Farooque, A.A., & Hu, J. (2023). Advancement of remote sensing for soil measurements and applications: A comprehensive review. *Sustainability*, 15(21), 15444. DOI: 10.3390/su152115444

3. Lykhovyd, P.V. (2023). The use of spatial normalized difference vegetation index for determination of humus content in the soils of southern Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(4), 223–228. DOI: 10.12912/27197050/162698

4. Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X

5. Khalaf, H.S., Mustafa, Y.T., & Fayyadh, M.A. (2023). Digital mapping of soil organic matter in northern Iraq: Machine learning approach. *Applied Sciences*, 13(19), 10666. DOI: 10.3390/app131910666

6. Vani, V., & Mandla, V.R. (2017). Comparative study of NDVI and SAVI vegetation indices in Anantapur district semi-arid areas. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 559–566.

7. Montgomery, D.C., Peck, E.A., & Vining, G.G. (2021). *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons. 609 pp.

8. Moreno, J.J.M., Pol, A.P., Abad, A.S., & Blasco, B.C. (2013). Using the R-MAPE index as a resistant measure

of forecast accuracy. *Psicothema*, 25(4), 500–506. DOI: 10.7334/psicothema2013.23

9. Cavanaugh, J.E., & Neath, A.A. (2019). The Akaike information criterion: Background, derivation, properties, application, interpretation, and refinements. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 11(3), e1460. DOI: 10.1002/wics.1460

10. Wang, S., Zhuang, Q., Jin, X., Yang, Z., & Liu, H. (2020). Predicting soil organic carbon and soil nitrogen stocks in topsoil of forest ecosystems in Northeastern China using remote sensing data. *Remote Sensing*, 12, 1115. DOI: 10.3390/rs12071115

11. Lima, A., Lopes, J., Lopes, R., de Figueiredo, T., Vidal-Vázquez, E., & Hernández, Z. (2025). Soil organic carbon assessment using remote-sensing data and machine learning: A systematic literature review. *Remote Sensing*, 17(5), 882. DOI: 10.3390/rs17050882

12. Zhang, Y., Guo, L., Chen, Y., Shi, T., Luo, M., Ju, Q., Zhang, H., & Wang, S. (2019). Prediction of soil organic carbon based on Landsat 8 monthly NDVI data for the Jiangnan Plain in Hubei Province, China. *Remote Sensing*, 11, 1683. DOI: 10.3390/rs11141683

13. Liu, S., Wang, Y., Yang, Y., & Li, Z. (2023). A Bayesian network simulates the responses of soil organic carbon to environmental factors at a catchment scale. *CATENA*, 233, 107493. DOI: 10.1016/j.catena.2023.107493

14. Lykhovyd, P.V. (2023). A case study on the possibility of soil meliorative state assessment by remote sensing data. *Grail of Science*, 27, 226–230. DOI: 10.36074/grail-of-science.12.05.2023.034

Вожегова Р.А., Лиховид П.В., Грановська Л.М. Математичне моделювання вмісту поживних речовин у ґрунті за даними дистанційного зондування Землі

Мета. Розробити математичні моделі вмісту органічної речовини у ґрунтах України залежно від величини супутникових індексів SAVI та NDVI, виконати статистичну оцінку побудованих моделей та надати обґрунтування можливості та доцільності їх використання у науково-практичній діяльності. **Методи.** Вміст органічної речовини в ґрунтах України (виражений у г/кг ґрунту) за оцінювали за даними OpenLandMap (роздільна здатність супутникових зображень – 250 м); величину індексу SAVI та індексу NDVI розраховано за часовою серією супутникових знімків MODIS ((MOD13Q1 та MOD13A1, роздільна здатність – 500 м) та узагальнено за регіонами України для 2022-2024 років. Доступ до аерокосмічних знімків і виконання відповідних розрахунків виконували на платформі Google Earth Engine із використанням авторських запитів на мові програмування JavaScript. Для побудови моделей було створено відповідні пари даних «вміст органічної речовини (SOC)» – «величина SAVI / NDVI», та виконано лінійний регресійний аналіз даних за r -значення $< 0,05$. Додатково для порівняльної оцінки моделей використано критерій Акаїке. **Результати.** Розроблені математичні моделі оцінки вмісту органічної речовини в ґрунтах України за величинами вегетаційних індексів, розрахованих за даними дистанційного зондування Землі, продемонстрували достатньо високий рівень точності: коефіцієнт детермінації на рівні 0,95 за відносної похибки $< 20\%$. Згідно величини інформаційного критерія Акаїке модель із залученням величини MODIS

NDVI у якості предиктора має незначну перевагу над моделлю, де в якості предиктора використано MODIS SAVI. Апроксимація дозволила встановити, що максимальні розбіжності між прогнозованими та реальними величинами вмісту органічної речовини в ґрунтах спостерігаються для граничних випадків, у той час як за більш репрезентативних значень відносна похибка моделей не перевищує 5%. **Висновки.** Розроблено математичні моделі оцінки вмісту органічної речовини в ґрунтах України на основі значень вегетаційних індексів, розрахованих із використанням виключно даних аерокосмічного моніторингу – супутникових продуктів OpenLandMap та MODIS. Результати моделювання підтверджують перспективність обраного підходу, з огляду на його потенціал до оперативного, просторово-репрезентативного моніторингу стану ґрунтів. За умови подальшого розширення вхідного набору ознак, зокрема шляхом інтеграції додаткових індексів, багатоспектральних показників або даних про агрокліматичні умови, можливе впровадження більш стійких (робастних) методів машинного навчання. Це, у свою чергу, створює передумови для побудови прогностичних моделей підвищеної точності та практичної цінності в контексті оцінювання родючості ґрунтів на основі аерокосмічного моніторингу в умовах України.

Ключові слова: аерокосмічні знімки, вміст органічної речовини, прогнозування, регресійний аналіз, супутниковий моніторинг.

Vozhehova R.A., Lykhovyd P.V., Hranovska L.M.
Mathematical modeling of soil organic matter content using remote sensing data

Purpose. To develop mathematical models for the estimation of soil organic matter content in Ukrainian soils based on satellite-derived indices SAVI and NDVI; to perform statistical evaluation of the constructed models; to provide a rationale for the feasibility and applicability of these models in scientific and practical contexts. **Methods.** The organic matter content in Ukrainian soils (expressed in g/kg of soil) was assessed using OpenLandMap data (satellite image resolution –

250 m). SAVI and NDVI indices were calculated from time series of MODIS satellite imagery (MOD13Q1 and MOD13A1 products, resolution – 500 m) and aggregated by region for the years 2022–2024. Access to satellite imagery and related computations was provided via the Google Earth Engine platform using custom JavaScript queries. To construct the models, data pairs of “soil organic carbon (SOC) content” and “SAVI / NDVI value” were generated, followed by linear regression analysis under the significance threshold of $p < 0.05$. Additionally, the Akaike Information Criterion (AIC) was employed for comparative model assessment. **Results.** The developed mathematical models for estimating soil organic matter content in Ukrainian soils using vegetation indices derived from remote sensing data demonstrated a high level of accuracy: the coefficient of determination reached 0.95 with a relative error below 20%. According to the Akaike Information Criterion, the model employing MODIS NDVI as a predictor showed a slight advantage over the model based on MODIS SAVI. Model approximation indicated that the greatest discrepancies between predicted and observed SOC values occurred at extreme values, whereas for more representative values, the relative error did not exceed 5%. **Conclusions.** Mathematical models for estimating soil organic matter content in Ukrainian soils were developed based exclusively on vegetation indices derived from satellite monitoring data, i.e., OpenLandMap and MODIS products. The modeling results confirm the promise of the proposed approach, highlighting its potential for rapid and spatially representative soil condition monitoring. With the inclusion of additional input features – such as supplementary indices, multispectral indicators, or agroclimatic data – more robust machine learning methods could be implemented. This would enable the development of predictive models with enhanced accuracy and practical value for assessing soil fertility using remote sensing technologies under the conditions present in Ukraine.

Key words: aerospace imagery, soil organic matter content, forecasting, regression analysis, remote sensing.

ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЗЕРНА ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД РІЗНИХ СХЕМ ЗАХИСТУ РОСЛИН

ЛІКАР Я.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
orcid.org/0000-0003-1241-8634

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ГАДЗАЛО Я.М. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
академік Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-5028-2048

Національна академія аграрних наук України

ВОЖЕГОВА Р.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
академік Національної академії аграрних наук України, заслужений діяч науки
і техніки України
orcid.org/0000-0002-3895-5633

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. З розширенням ареалу кукурудзи, різноманітністю використання її в харчових, кормових і технічних цілях значно підвищуються вимоги до удосконалення сортової технології кукурудзи з урахуванням урожайності та якості зерна. При цьому необхідно враховувати не тільки диференціацію біохімічного складу кукурудзи, а й поліпшення технологічних, фізичних і органолептичних властивостей для підвищення товарності в широкому плані й придатності до динамічних навантажень при збиранні. Одночасно із збільшенням валового виробництва зерна кукурудзи необхідно більше приділяти увагу і його показникам якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Залежно від напрямку використання зерна зумовлюються критерії його оцінки за біохімічними показниками якості, що є одним із найважливіших елементів його споживчої цінності, дозволяє визначити потребу людини і тварини у тих чи інших елементах живлення. У харчових цілях найбільшу увагу приділяють вмісту білка, від якого залежить ціна на продукцію і рентабельність виробництва [1, 2].

Зерно кукурудзи є джерелом багатьох важливих речовин для харчування людей і тварин, воно добре зберігається, транспортується, з нього можна виготовляти багато різноманітних продуктів харчування. До складу зерна входять білки, вуглеводи, вітаміни, жири, мінеральні речовини, амінокислоти. Тому поліпшення якості зерна кукурудзи має важливе значення і являється досить важливим завданням поряд з підвищенням урожайності. При цьому необхідно враховувати напрям цільового використання зерна та сучасні критерії оцінки за якісними показниками. Так, якщо за виробництва біоетанолу важливим буде вміст у зерні крохмалю, то для харчових цілей найбільше значення має вміст в одержаній продукції протеїну і жиру. Слід зауважити, що вартість зерна на світових і європейських ринках, перш за все, обумовлена вмістом у зерні білка. Тому, за кордоном велика увага приділяється дослідженням щодо підвищення вмісту білка за рахунок підбору гібридного складу кукурудзи з високим рівнем

урожайності та якості, а також комплексному вдосконаленню технологічних прийомів. Посушливий клімат Південного Степу України та застосування зрошення сприяють формуванню зерна кукурудзи з високим вмістом білка. Підвищена температура повітря (понад 30°C) наприкінці вегетаційного періоду знижує процеси фотосинтезу та сприяє втра-там органічних сполук на дихання і теплообмін. Крім цього, відбувається втрата вуглеводів та інших речовин, однак вміст білків суттєво зростає [3, 4].

Зацікавленість товаровиробників у вирощуванні кукурудзи обумовлене високою її врожайністю, порівнюючи з іншими зерновими культурами, пристосованістю до усіх ґрунтово-кліматичних умов України й різнобічними сферами використання. Зокрема, останнім часом, крім традиційних напрямків використання продовольчого, технічного і кормового, долучилася переробка на біопаливо (біогаз і біоетанол), обсяги виробництва якого можуть становити 5–12 % від загального обсягу використання традиційних видів палива [5, 6]. До анатомічної структури зерна кукурудзи належать такі складові: ендосперм, зародок і оболонки. В ендоспермі міститься до 98 % крохмалю та 75 % білкових речовин, зокрема основна частина білка знаходиться у верхньому шарі ендосперму – алеїиновому шарі [7, 8]. Основними запасними речовинами зерна кукурудзи, які визначають якісні показники, є вуглеводи, білки, жири, вітаміни, макро- і мікроелементи тощо. Вуглеводи у структурі зерна кукурудзи займають 75–80 %, що й створює істотні перспективи використання його для отримання біоетанолу [9]. Для виробництва біоетанолу важливе значення має вміст вуглеводів (крохмалю) у зерні, а для харчової промисловості найбільш цінним є зерно з високим вмістом протеїну і крохмалю [10, 11]. Зокрема, підвиди кукурудзи відрізняються за показниками якості зерна, що обумовлює відповідний напрям їхнього використання [12].

Основні причини, що перешкоджають широкому впровадженню у виробництво високоолійних гібридів: зниження у них маси зернівки на 2–3 %, пухка

структура ендосперму та підвищене його травмування при збиранні і обмолоті, більш висока сприйнятливості до ураження хворобами і шкідниками, що, в підсумку більшості випадків, знижує врожайність зерна на 10–15 % [13].

Значної шкоди рослинам кукурудзи завдають комахи, які пошкоджують внутрішні частини стебел і генеративні органи: кукурудзяний стебловий метелик та бавовникова совка. Гусениці стеблового кукурудзяного метелика пошкоджують ніжну частину листків, проникають у стебла, волоті, ніжки та обгортки качанів, спричиняють обламування стебел та качанів, що ускладнює збирання, погіршується товарна якість качанів [14]. Відомо, що розселення *Ostrinia nubilalis* Hübner у межах України більш стабільне, ніж інших фітофагів кукурудзи. Найбільша заселеність посівів кукурудзи та шкодочинність кукурудзяного метелика в період вегетації спостерігалася, за даними 1985–2000 рр., у зоні Лісостепу України [15].

Гусениці бавовникової совки обгризають нитки качана, видають зернівки, внаслідок чого пошкоджені зерна уражуються пліснявими грибами, знижується врожайність [16, 17].

Зрошення в посушливих районах країни є важливим фактором, що гарантує високі врожаї кукурудзи, впливаючи не тільки на умови росту рослин, але й на розвиток всіх живих організмів, що мешкають як у ґрунті, рослинах, так і в зоні рослинного покриву. При зрошенні істотно змінюється мікроклімат приземного шару атмосфери та ґрунту. Для більшості шкідників пірофільної та мезофільної екологічних груп, які у всіх фазах розвитку не пов'язані з ґрунтом та живуть у зоні рослинного ярусу, при зрошенні створюються більш сприятливі умови. До шкідників, чисельність яких при зрошенні зростає, належить і стебловий кукурудзяний метелик (*Ostrinia nubilalis* Hübner), який повсюдно поширений в Україні [18]. Про наявність гусениць цього фітофага на рослинах кукурудзи свідчать круглі отвори й подовжені погризи на пластинках листків, ходи в середніх жилках і листових піхвах, обламні стебла, отвори та ходи в стеблах і качанах. Пошкодження комахами рослин, а також травми, завдані рослинам механічно під час догляду за посівами стають місцями для проникнення збудників інфекції різноманітних хвороб кукурудзи. Окрім того, часто рослина ламається у місці пошкодження фітофагом під качаном, який падає на землю, що унеможливає його підбирання жаткою комбайна при збиранні врожаю. За недостатньо ефективного та несвоєчасного контролю фітофагів кукурудзи втрати врожаю можуть сягати до 40% [19].

Стебловий кукурудзяний метелик (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) один з найбільш небезпечних фітофагів кукурудзи, втрати урожаю зерна від якого становлять 14–16%, а у роки масового розмноження до 25% і більше. Живлення гусениць сприяє проникненню у рослини збудників пухирчастої сажки, фузаріозу та пліснявини зерна. Зламні стебла та качани – наслідок живлення гусениць метелика, утруднюють механізований збір урожаю, що є однією із причин додаткових втрат [20].

Загалом на території України нараховують майже 190 видів комах, здатних різною мірою пошкоджувати кукурудзу. Серед них 20–22 види вважаються найнебезпечнішими. Нині особливо зросла загроза від таких фітофагів ряду лускокрилих (*Lepidoptera*), як кукурудзяний стебловий метелик (*Ostrinia nubilalis* Hb.) і бавовникова совка (*Helicoverpa armigera* Hb.). Це сталося внаслідок розширення їхніх ареалів і збільшення чисельності. Це основні й найнебезпечніші види, які завдають значної шкоди культурі в другій половині її вегетації, а тому мають найбільше економічне значення. Крім них, кукурудзу в цей час нерідко пошкоджують лучний метелик (*Pyrausta sticticalis* L.), кілька інших видів листогризучих совок (*Noctuidae* sp.), західний кукурудзяний жук (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte), низка видів попелиць тощо. Проте, головні фітофаги культури в пізніший період її вегетації – стебловий метелик і бавовникова совка [21].

Високу шкідливість кукурудзяного стеблового метелика вчені вкотре підтвердили й зовсім недавно (Vozhehova, Marchenko et al.). За даними цих авторів, заселення рослини кукурудзи хоча б однією гусеницею призводило до зниження маси зерна в одному качані в середньому на 32–61%, залежно від характеру пошкодження. Неважко порахувати, що навіть у разі ушкодження 50% рослин у посіві, що майже завжди спостерігається в районах масового розмноження шкідника без інсектицидного захисту, урожайність може зменшитися на 16–30%. За потенціалу продуктивності 80–100 ц/га абсолютні втрати сягатимуть 13–30 ц/га [22].

Отже, для успішного регулювання продуктивності й підвищення якості зерна кукурудзи потрібно ретельно добирати гібриди для конкретної ґрунтово-кліматичної зони з урахуванням їх біологічних вимог та розробити ефективні агрозаходи вирощування, спрямовані на процеси, які відбуваються в рослинах у різні фази їхнього росту й розвитку. Найбільш актуальною залишається проблема реалізації прийомів оперативного захисту кукурудзи від шкідливих організмів.

Метою досліджень було встановити вплив систем захисту рослин на біохімічні показники якості зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО.

Матеріал та методика досліджень. Дослідження проводили у 2017–2019 рр. на дослідному полі Інституту зрошувального землеробства НААН (нині Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН). Фактор А – гібриди кукурудзи різних групи ФАО: Степовий (ФАО 190), Скадовський (ФАО 290), Інгільський (ФАО 350), Чонгар (ФАО 420), Арабат (ФАО 430) селекції Інституту зрошувального землеробства НААН. Фактор В – система захисту: контроль, обробка водою; біологічна; хімічна; інтегрована. Технологія вирощування кукурудзи була загальноприйнятою для зрошуваних умов і відповідала вимогам технології виробництва кукурудзи для агроєкологічних умов степової зони України. Дослідження проводили за водозберігаючого режиму зрошення.

В системі захисту використовували пестициди: Іншур® Перформ – перший двокомпонент-

ний фунгіцидний протруйник насіння зернових культур широкого спектру дії, що містить стробілури, з ефективним контролем хвороб і яскраво вираженим фізіологічним ефектом **AgCelence®**. Група 33P – Протруйники. Виробник BASF. Діюча речовина: Піраклостробін, 40 г/л, Тритіконазол, 80 г/л. Препаративна форма – текучий концентрат для обробки насіння (т.н). Хімічна група: стробілури, триазоли. Клас токсичності (Класифікація ВООЗ) – III.

Інсектицид Канонір Дуо – контактно-системний препарат, який захищає культурні рослини від багатьох видів комах-шкідників. Група 33P – інсектицид. Діюча речовина: Імідаклоприд, 300 г/л, Лямбда-цигалотрин, 100 г/л. Препаративна форма – концентрована суспензія. Хімічна група: неонікотиніди і піретроїди. Клас токсичності (Класифікація ВООЗ) – II.

Харнес (ацетохлор, 2,0 л/га) – селективний досходовий ґрунтовий гербіцид для застосування на посівах кукурудзи, засіб боротьби з однорічними злаковими бур'янами. Група 33P – гербіцид. Діюча речовина: ацетохлор 900 г/л. Хімічний група: хлорацетаніліди. Препаративна форма – концентрована емульсія. Клас токсичності (Класифікація ВООЗ) – III.

Мілагро (нікосульфурон, 1,0 л/га) – гербіцид для кукурудзи. Група 33P – гербіцид. Вміст діючої речовини: 40 г/л Нікосульфурон. Хімічна група: Сульфонілсечовини. Препаративна форма: Концентрат суспензії. Клас токсичності (Класифікація ВООЗ) – III.

Біологічний інсекто-фунгіцид Гуапсин, 150 мл (Гаупсин) – біологічний інсекто-фунгіцидний препарат для захисту рослин від грибних захворювань і шкідників. Склад: водна суспензія штамів бактерії *Pseudomonas aureofaciens* B-111 (IBM B-7096) і *Pseudomonas aureofaciens* B-306 (IBM B-7097), продукти їх метаболізму, стартові дози макроелементів (N, P, K). Захищає рослини як фунгіцид від кореневих та листових хвороб, і як інсектицид від комах-шкідників; стимулює ріст кореневої системи і покращує живлення рослин; збільшує стійкість культур до заморозків і посухи; не викликає резистентності патогенів; збільшує врожайність.

Польові досліді закладено згідно методичних рекомендацій з проведення польових дослідів на зрошенні [23, 24].

Результати досліджень. Встановлено, що біохімічні якісні характеристики зерна культури залежали від систем захисту рослин та від генотипових особливостей гібридів кукурудзи.

Аналіз показників якості зерна досліджуваних гібридів кукурудзи, продуктивність яких досліджували в польових досліді, довів істотний рівень коливань показників вмісту протеїну, крохмалю та жиру залежно від варіантів захисту рослин (табл. 1).

Так, під впливом досліджуваних чинників та залежно від генотипових особливостей гібридів змінювався вміст протеїну, крохмалю та олії у зерні. Максимальний вплив на формування якісних показників зерна культури спричиняв фактор А (гібрид). Серед гібридного складу, в середньому за роки досліджень, за вмістом білка істотно вирізнявся ранньостиглий гібрид Степовий (FAO 180) – 9,09 % порівняно з іншими гібридами, в яких

уміст білка варіював у межах 8,25–9,01, найменшу частку продемонстрував середньопізній гібрид Арабат (FAO 430) – 8,25 %. Середньоранній гібрид Скадовський також мав перевагу за білковістю порівняно з гібридами Інгульський, Чонгар та Арабат. Це можна пояснити генотиповими особливостями структури зернівки цих гібридів, яка має зубовидну структуру з підвищеною часткою ендосперму, що накопичує переважно крохмаль. У гібридів Степовий та Скадовський зернівка має напів-кременисту структуру, розміри зернівки менших лінійних параметрів з переважаючою часткою алейронового прошарку, що накопичує переважно білкову фракцію.

Застосування біологічного захисту рослин дещо підвищило вміст білка, проте – істотно тільки у гібридів з FAO 180...350 (Степовий, Скадовський, Інгульський). У гібридів з FAO 420...430 (Чонгар, Арабат) спостерігалась тенденція до підвищення білковості без суттєвих перевищень над контролем. Тренд зменшення дії біопрепарату з підвищенням групи FAO можливо пояснити з подовженням тривалості пошкодження шкідниками та збільшенням ураженості пошкоджених зернівок фузаріозом, що поширюється в пізні фази розвитку у зв'язку з підвищенням вологості повітря.

Хімічний захист гібридів був більш ефективним порівняно з біологічним. У гібридів усіх груп FAO білковість істотно підвищувалась порівняно з контролем. Інтегрований захист рослин був найбільш результативним порівняно з біологічним та хімічним у всіх гібридів. Інтегрований захист проявив кумулятивну дію препаратів і був найбільш ефективним щодо зменшення ураженості зернівки шкідниками та збереженості білковості зерна.

У середньому за роки досліджень зерно досліджуваних гібридів кукурудзи за варіантами містило 3,30–3,96 % жиру. Так, серед досліджуваних гібридів, найвищий вміст жиру у середньому за фактором А – 3,86 % продемонстрував середньопізній гібрид Чонгар (FAO 420), у інших гібридів цей показник вимірювався на рівні 3,62–3,84 %. Більший вміст жиру у зерні зафіксований у гібридів середньопізньої групи стиглості (FAO 420...430). Це можна пояснити генотиповими особливостями цих гібридів, які мають зернівку зубовидного типу, тому збільшення вмісту жиру відбувається за рахунок зменшення білковості, що була більшою у гібридів кременистого типу (Степовий, Скадовський).

Засоби захисту рослин сприяли істотному підвищенню вмісту жиру у всіх гібридів. Таке зростання вмісту жиру пояснюється зменшенням травмованості зерна після ураження шкідниками і хворобами. Найбільш ефективним був інтегрований захист рослин, який сприяв підвищенню вмісту жиру в зерні на 0,17...0,55 %.

Відомо, що для максимального виходу якісного етанолу найоптимальнішим є співвідношення в зерні вмісту білка менше 10% та крохмалю – більше 65%. До того ж, для повнішого використання потенціалу кукурудзи у технологіях вирощування культури для переробки на енергетичні цілі необхідно обирати гібриди, які характеризуються висо-

Таблиця 1 – Якість зерна досліджуваних гібридів кукурудзи залежно від варіантів захисту рослин, % (середнє за 2017-2019 рр.)

Гібрид (фактор А)	Захист рослин (фактор В)	Вміст у зерні кукурудзи			В середньому по фактору А		
		протеїн	крохмаль	жир	протеїн	крохмаль	жир
Степовий (ФАО 180)	Контроль (обробка водою)	8,50	68,0	3,30	9,09	68,5	3,62
	Біологічний	9,03	68,4	3,60			
	Хімічний	9,11	68,8	3,74			
	Інтегрований	9,38	68,8	3,85			
Скадовський (ФАО 290)	Контроль (обробка водою)	8,83	68,1	3,38	9,01	68,6	3,63
	Біологічний	9,08	68,4	3,52			
	Хімічний	9,15	68,7	3,79			
	Інтегрований	9,32	69,0	3,82			
Інгульський (ФАО 350)	Контроль (обробка водою)	8,32	68,3	3,47	8,51	69,0	3,71
	Біологічний	8,47	68,8	3,73			
	Хімічний	8,54	69,1	3,80			
	Інтегрований	8,69	69,2	3,85			
Чонгар (ФАО 420)	Контроль (обробка водою)	8,11	68,2	3,68	8,32	69,1	3,86
	Біологічний	8,22	69,4	3,89			
	Хімічний	8,30	69,1	3,90			
	Інтегрований	8,37	69,5	3,96			
Арабат (ФАО 430)	Контроль (обробка водою)	8,19	68,3	3,78	8,25	69,2	3,84
	Біологічний	8,24	69,4	3,84			
	Хімічний	8,26	69,2	3,80			
	Інтегрований	8,59	69,4	3,95			
У середньому по фактору В		8,62	68,8	3,73			
НІР ₀₅ , %	А	0,27	0,85	0,12			
	В	0,22	0,60	0,07			

ким генетично детермінованим вмістом крохмалю в зерні, що підтверджують й інші науковці [25, 26]

За вмістом крохмалю у зерні, у середньому за фактором А, переважав гібрид Арабат (ФАО 430) – 69,2 %, тоді як у інших гібридів його вміст варіював у межах 68,5–69,1 %. Вміст крохмалю в зерні був більшим у гібридів пізньої групи стиглості, що мають зернівку зубовидного типу з переважаючим вмістом ендосперму. Засоби захисту рослин мали менший вплив на показники вмісту крохмалю, а у гібридів Степовий, Скадовський, Арабат підвищення вмісту крохмалю було в межах похибки. Різниця між біологічним, хімічним та інтегрованим захистом також була мінімальною (0,2...0,6%).

Дослідженнями встановлено, що система захисту рослин (фактор В) певною мірою позначилась на якості зерна гібридів кукурудзи. Максимальний вміст протеїну – 8,37–9,38%, крохмалю – 68,8–69,4% та жиру – 3,80–3,96% спостерігався за інтегрованою системою захисту рослин.

Мінімальний вміст протеїну – 8,11–8,83%, крохмалю – 68,0–68,3% та жиру – 3,30–3,78% спостерігалась на контрольному варіанті. Слід зауважити, що якість зерна знижувалась на контрольному варі-

анті за рахунок пошкодженості зерна фузаріозними гнилями *Fusarium moniliforme* J. Sheld., кукурудзяним метеликом *Ostrinia nubilalis*.

Гусениці кукурудзяного метелика (*Ostrinia nubilalis*) розселяються по рослині у захищених місцях (у піхвах листка, під обгортками качана тощо), вгризаються в середину стебла, де живляться. Шкідливість фузаріозної кореневої і стеблової гнилі полягає у зрідженні посівів, зменшенні стеблостою, зниженні продуктивності хворих рослин. Сильне ураження кукурудзи стебловими гнилями призводить до зменшення довжини качанів, їх кількості та маси зерна. За інтегрованого захисту зараженість фузаріозними гнилями, кукурудзяним метеликом була мінімальною.

Рівень врожайності опосередковано впливає на формування основних показників якості зерна (рис.). Аналіз масиву даних вмісту протеїну у гібридів кукурудзи різних груп ФАО показав, що існує певний від'ємний кореляційний зв'язок дуже сильного рівня між показниками урожайності зерна гібридів і кількістю протеїну у зерні ($r = -0,811...-0,951$). Така кореляція пояснюється підвищенням урожайності зерна гібридів кукурудзи, при застосуванні засобів захисту

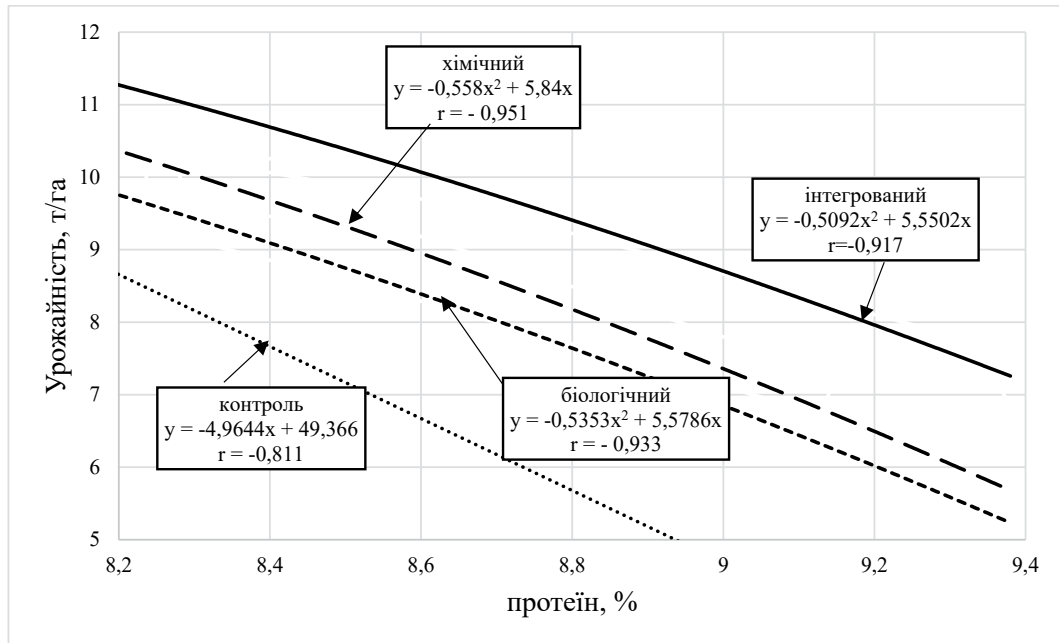


Рис. 1. Кореляційно-регресійні моделі залежності вмісту протеїну в зерні гібридів кукурудзи та урожайності зерна за різних систем захисту рослин

рослин, підвищенням виповненості зернівки, що відбувається за рахунок збільшення частки ендосперму, який має мінімальну частку протеїну.

Встановлено, у середньому за роки проведення досліджень, стосовно впливу систем захисту рослин на продуктивність різних за скоростиглістю гібридів кукурудзи при зрошенні в умовах півдня України, гібриди всіх досліджуваних груп ФАО – від ранньої до середньої і пізньої, забезпечували максимальну врожайність зерна за дотримання інтегрованого захисту рослин (табл. 2).

Дослідження ранньостиглих гібридів (Степовий, ФАО 180; Скадовський, ФАО 290) показало, що використання біологічного захисту рослин істотно підвищувало урожайність зерна на 7,9–14,3%. При вирощуванні гібриду Степовий (ФАО 180) біологічний захист рослин (урожайність 6,39 т/га) виявився більш ефективним, ніж хімічний (урожайність 6,25 т/га). У всіх гібридів кукурудзи найбільш ефективним засобом захисту рослин був інтегрований і сприяв підвищенню урожайності зерна на 1,07...1,71 т/га. Найбільша прибавка урожайності зерна від застосування інтегрованого захисту рослин була зафіксована у пізньостиглого гібриду Арабат, що пов'язано з подовженою його вегетацією та підвищеним терміном ураженості шкідниками та хворобами.

Висновки. Встановлено, що формування біохімічних показників якості зерна кукурудзи зумовлюється впливом технологічних чинників, а їх рівень залежить від генотипових особливостей гібридів та специфіки дії засобів захисту.

Встановлено, що система захисту рослин певною мірою позначилась на якості зерна гібридів кукурудзи. Максимальний вміст протеїну – 8,37–9,38%, крохмалю – 68,8–69,4% та жиру – 3,80–3,96% спостерігався за інтегрованої системи захисту рослин.

Гібриди кукурудзи всіх досліджуваних груп ФАО забезпечували підвищення урожайності зерна при застосуванні біологічного та хімічного захисту рослин.

Таблиця 2 – Урожайність зерна гібридів кукурудзи залежно від системи захисту рослин, т/га (середнє за 2017-2019 рр.)

Гібрид (фактор А)	Захист рослин (фактор В)				Середнє по фактору А
	без захисту	біологічний	хімічний	інтегрований	
Степовий (ФАО 180)	5,43	6,39	6,25	6,87	6,23
Скадовський (ФАО 290)	6,30	6,88	7,28	7,77	7,06
Інгільський (ФАО 350)	8,38	8,67	9,39	9,53	8,99
Чонгар (ФАО 420)	9,05	9,33	9,51	10,12	9,50
Арабат (ФАО 430)	9,41	10,15	10,54	11,12	10,31
Середнє по фактору В	7,72	8,28	8,59	9,08	8,42
НІР ₀₅ часткових відмінностей, : А – 0,23; В – 0,19 головних ефектів, : А – 0,12; В – 0,08					

лин. Застосування біологічного захисту рослин від шкідників і хвороб має перспективи в біологічному землеробстві.

У всіх гібридів кукурудзи найбільш ефективним засобом захисту рослин був інтегрований, що сприяв підвищенню урожайності зерна на 1,07...1,71 т/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ващенко І. В. Теоретичні засади та сучасний стан розвитку ринку кукурудзи. *Економіка АПК*. 2017. № 2. С. 88–92.

2. Маслак О. Ринок кукурудзи врожаю 2016 р. *Агробізнес сьогодні*. 2016. № 20 (339). С. 5–6.

3. Ткачук О. П., Бондаренко М. І. Формування урожайності та якості зерна повторних посівів кукурудзи. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2023. № 129. С. 139–145. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.129.18>.

4. Мазур В. А., Шевченко Н. В. Вплив технологічних прийомів вирощування на формування якісних показників зерна. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. Вип. 6 (Т.1). С. 7–13.

5. Калетнік Г. М. Диверсифікація розвитку виробництва біопалив – основа забезпечення продовольчої, енергетичної, економічної та екологічної безпеки України. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 11. С. 169–176. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811&21>.

6. Фурман І. Перспективи виробництва біогазу та біоетанолу на спиртових заводах. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 36. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1163/1120>. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-36-42>.

7. Шаповаленко О. І., Рибчинський Р. С., Кустов І. О. Технологічна характеристика зерна кукурудзи. *Наукові праці*. 2019. Том 83, Вип. 2. С. 39–43. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v2i83.1531>

8. Основи насінництва (теорія, методологія, практика): монографія / Паламарчук В. Д., Дорошнін В. А., Колісник О. М., Алексєєв О. О. Вінниця: ТОВ Друк, 2022. 392 с. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?lang=uk&id=30594>

9. Лавриненко Ю. О., Рубан В. Б., Михайленко В. Б. Наукове обґрунтування технології вирощування кукурудзи при краплинному способі поливу: монографія. Херсон: Айлант, 2014. 198 с.

10. Поляков В. І. Особливості формування якісних показників зерна кукурудзи залежно від комплексу елементів технології вирощування. *Агробіологія*. 2020. № 2. С. 132–138. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-161-2-132-138>.

11. Перспективи використання кукурудзи для енергоефективного та екологічно безпечного розвитку сільських територій: монографія / Калетнік Г. М., Паламарчук В. Д., Гончарук І. В., Ємчик Т. В., Телекало Н. В. Вінниця: ФОП Кушнір Ю. В., 2021. 260 с. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?lang=uk&id=31069>.

12. Осокіна Н. М., Костецька К. В., Євчук Я. В. Технологічні властивості зерна гібриду кукурудзи ПР39Б58. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 86(1). С. 37–43.

13. Palamarchuk V., Solomon A. Research of the corn assimilation surface formation depending on foliar

feeding. *Feeds and Feed Production*. 2021. № 92. P. 82–94.

14. Круть М. В. Успіх боротьби з кукурудзяним метеликом. *Пропозиція*. 2005. № 4. С. 92.

15. Бахмут О. О. Кукурудзяний метелик. Стійкість нових гібридів і сортів культури з його пошкоджень. *Захист рослин*. 2001. № 9. С. 14–15.

16. Гончаров О. Бавовникова совка: життя та смерть у фотографіях *Агроексперт: практичний посібник аграрії*. 2017. № 7. С. 28–33.

17. Ляска Ю. М., Стригун О. О. Видовий склад основних шкідників агроценозу кукурудзи Лівобережного Лісостепу України. *Вісник ПДАА*. 2019. № 2. С. 45–52.

18. Дудка В. В. Зернові культури на краплинному зрошенні. *Пропозиція*. 2013. № 3–4 (213–214). С. 72–82.

19. Мельничук Ф. С., Мельничук Л. М., Алексєєва С. А., Лікар С. П. Вплив стеблового кукурудзяного метелика на розвиток фузаріозу качана. *Карантин і захист рослин*. 2017. № 10–12. С. 21–24.

20. Федоренко В. П., Гуляк Н. В. Шкідливість стеблового кукурудзяного метелика в посівах кукурудзи. *Вісник аграрної науки*. 2013 № 4. С. 27–29.

21. Довгань С. В. Агроекологічне обґрунтування моделей прогнозу розвитку та розмноження стеблового (кукурудзяного) метелика в Україні. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2009. № 4. С. 59–63.

22. Vozhehova R., Marchenko T., Piliarska O. et al. Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2021. Vol. 21, Issue 4. P. 611–619. managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.21_4/volume_21_4_2021.

23. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Малярчук М. П. та ін. Методика польових і лабораторних досліджень на зрошуваних землях. Херсон: Грін Д. С., 2014. 286 с.

24. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві. Херсон: Айлант, 2013. 381 с.

25. Рибалка О. І., Червоніс М. В., Моргун Б. В. Генетичні та селекційні критерії створення сортів зернових культур спирто-дистиляційного напрямку технологічного використання зерна. *Фізіологія та біохімія культурних рослин*. 2013. Т. 45. № 1. С. 3–19.

26. Прядкіна Г. О., Михальська Л. М., Швартау В. В. Крохмаль у зерні кукурудзи як сировина для виробництва біоетанолу. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 40–41.

REFERENCES:

1. Vashchenko, I.V. (2017). Teoretychni zasady ta suchasnyi stan rozvytku rynku kukurudzy [Theoretical foundations and current state of corn market development]. *Ekonomika APK – Economics of the Agricultural Industry*, 2, 88–92 [in Ukrainian].

2. Maslak, O. (2016). Rynok kukurudzy vrozhaiu 2016 r. [Corn market of the 2016 harvest]. *Ahrobiznes sohodni – Agribusiness today*, 20(339), –6 [in Ukrainian].

3. Tkachuk, O.P., & Bondarenko, M.I. (2023). Formuvannia urozhainosti ta yakosti zerna povtornykh posiviv kukurudzy [Formation of yield and grain quality of repeated corn crops]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk. Seriya: Silskohospodarski nauky – Tavria Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences*, 129, 139–145. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.129.18> [in Ukrainian].
4. Mazur, V.A., & Shevchenko, N.V. (2017). The influence of technological methods of cultivation on the formation of grain quality indicators [Vplyv tekhnologichnykh pryimiv vyroshchuvannia na formuvannia yakisnykh pokaznykiv zerna]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo – Agriculture and Forestry*, 6(1), 7–13 [in Ukrainian].
5. Kaletnik, H.M. (2018). Dyversyfikatsiia rozvytku vyrobnytstva biopalyv – osnova zabezpechennia prodovolchoi, enerhetychnoi, ekonomichnoi ta ekolohichnoi bezpeky Ukrainy [Diversification of the development of biofuel production is the basis for ensuring food, energy, economic and environmental security of Ukraine]. *Visnyk aharnoï nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 11, 169–176. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811&21> [in Ukrainian].
6. Furman, I. (2022). Prospects for biogas and bioethanol production at alcohol plants [Perspektyvy vyrobnytstva biohazu ta bioetanolu na spyrtovykh zavodakh]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, 36, 1120. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-36-42> [in Ukrainian].
7. Shapovalenko, O., Kustov, I., & Rybchynskyi, R. (2019). Tekhnologichna kharakterystyka zerna kukurudzy [Technological characteristics of corn grain]. *Scientific Works – Scientific Works*, 83(2), 39–43. <https://doi.org/10.15673/swonft.v2i83.1531> [in Ukrainian].
8. Palamarchuk, V.D., Doronin, V.A., Kolisnyk, O.M., & Alekseev, O.O. (2022). *Osnovy nasinnieznavstva (teoriia, metodolohiia, praktyka) [Fundamentals of seed science (theory, methodology, practice)]*. Vinnytsia: Druk LLC, 392. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?lang=uk&id=30594> [in Ukrainian].
9. Lavrynenko, Yu.O., Ruban, V.B., & Mykhailenko, V.B. (2014). *Naukove obgruntuvannia tekhnolohii vyroshchuvannia kukurudzy pry kraplynnomu sposobi polyvu [Scientific justification of corn growing technology using drip irrigation]*. Kherson: Ailant, 198 [in Ukrainian].
10. Poliakov, V.I. (2020). Osoblyvosti formuvannia yakisnykh pokaznykiv zerna kukurudzy zalezno vid kompleksu elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia [Peculiarities of formation of qualitative indicators of corn grain depending on the complex of elements of cultivation technology]. *Ahrobiolohiia – Agrobiology*, 2, 132–138. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-161-2-132-138> [in Ukrainian].
11. Kaletnik, G.M., Palamarchuk, V.D., Goncharuk, I.V., Yemchik, T.V., & Telekalo, N.V. (2021). Perspektyvy vykorystannia kukurudzy dlia enerhoefektyvnoho ta ekolohobezpechnoho rozvytku sil'skykh terytorii [Prospects for the use of corn for energy-efficient and environmentally safe development of rural areas]. Vinnytsia, 260. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?lang=uk&id=31069> [in Ukrainian].
12. Osokina, N.M., Kostetska, K.V., & Yevchuk, Ya.V. (2014). Tekhnologichni vlastyvoli zerna hibrydu kukurudzy PR39B58 [Technological properties of corn hybrid grain PR39B58]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoï natsionalnoï universytetu sadivnytstva – Collection of scientific papers of the Uman National University of Horticulture*, 86(1), 37–43 [in Ukrainian].
13. Palamarchuk, V., & Solomon, A. (2021). Research of the corn assimilation surface formation depending on foliar feeding. *Feeds and Feed Production*, 92, 82–94.
14. Krut, M.V. (2005). Uspikh borotby z kukurudzianym metelikom [Success in the fight against the corn borer]. *Propozytsiia – Proposa*, 4, 92 [in Ukrainian].
15. Bakhmut, O.O. (2001). Kukurudzianyi metelyk. Stiikist novykh hibrydiv i sortiv kultury z yoho poshkodzhen [Corn moth. Resistance of new hybrids and crop varieties to its damage]. *Zakhyst roslyn – Plant Protection*, 9, 14–15 [in Ukrainian].
16. Honcharov, O. (2017). Bavovnykova sovka: zhyttia ta smert u fotohrafiiakh [Cotton Scops: Life and Death in Photographs]. *Ahroekspert: praktychnyi posibnyk aharii – Agroexpert: Practical Guide for Agrarians*, 7, 28–33 [in Ukrainian].
17. Liaska, Yu.M., & Stryhun, O.O. (2019). Vydovyi sklad osnovnykh shkidnykiv ahrotsenozu kukurudzy Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [The species composition of the main pests of the corn agrocenosis of the Left Bank Forest Steppe of Ukraine]. *Visnyk PDAA – PDAA Bulletin*, 2, 45–52 [in Ukrainian].
18. Dudka, V.V. (2013). Zernovi kultury na kraplynnomu zroshenni [Cereal crops on drip irrigation]. *Propozytsii – Proposal*, 3–4(213–214), 72–82 [in Ukrainian].
19. Melnychuk, F.S., Melnychuk, L.M., Alekseeva, S.A., & Likar, S.P. (2017). Vplyv steblovoho kukurudzianoho metelyka na rozvytok fuzariozu kachana [The influence of the corn stem borer on the development of fusarium head blight]. *Karantyn i zachyst roslyn – Quarantine and Plant Protection*, 10–12, 21–24 [in Ukrainian].
20. Fedorenko, V.P., & Gulyak, N.V. (2013). Shkidlyvist steblovoho kukurudzianoho metelyka v posivakh kukurudzy [Harmfulness of the corn stem borer in corn crops]. *Visnyk aharnoï nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 4, 27–29 [in Ukrainian].
21. Dovgan, S.V. (2009). Ahroekolohichne obgruntuvannia modelei prohnozu rozvytku ta rozmnozhenntia steblovoho (kukurudzianoho) metelyka v Ukraini. [Agroecological substantiation of models for the forecast of the development and reproduction of the stem (corn) moth in Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi aharnoï akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 4, 59–63 [in Ukrainian].
22. Vozhehova, R., Marchenko, T., Piliarska, O., Lavrynenko, Y., Halchenko, N., & Lykhovyd, P. (2021). Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 21(4), 611–619.
23. Ushkarenko, V.O., Vozhehova, R.A., Holoborodko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2014). *Metodyka polovoho doslidu (Zroshuvane zemlerobstvo) [Field experiment methodology (Irrigated agriculture)]*. Kherson: Grin D. S., 448 [in Ukrainian].
24. Ushkarenko, V.O., Vozhehova, R.A., Holoborodko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2013). *Statystychnyi analiz rezul'tativ polovykh doslidiv u zemlerobstvi [In Statistical*

analysis of field experiment results in agriculture]. Kherison: Ailant, 381 [in Ukrainian].

25. Rybalka, O.I., Chervonis, M.V., & Morgun, B.V. (2013). Henetychni ta selektsiini kryterii stvorennia sortiv zernovykh kultur spyrtu-dystyliatsiinoho napriamu tekhnolohichnoho vykorystannia zerna [Genetic and selection criteria for creating varieties of grain crops for the alcohol-distillation direction of technological use of grain]. *Fiziologiya ta biokhimiia kulturnykh roslin – Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 45(1), 3–19 [in Ukrainian].

26. Pryadkina, G.O., Mykhal'ska, L.M., Shvartau, V.V. (2013). Krokhmal u zerni kukurudzy yak syrovyna dlia vyrobnytstva bioetanolu [Starch in corn grain as a raw material for bioethanol production]. *Bioenerhetyka – Bioenergetics*, 2, 40–41 [in Ukrainian].

Лікар Я.О., Гадзало Я.М., Вожегова Р.А. Продуктивність та біохімічні показники якості зерна гібридів кукурудзи залежно від різних схем захисту рослин

Мета статті – встановити вплив систем захисту рослин на показники якості зерна гібридів кукурудзи різних груп ФАО. **Методи дослідження.** Застосовано сукупність загальнонаукових методів і підходів емпіричного та теоретичного пізнання: абстрактно-логічний, статистичний, моделювання, узагальнення. **Результати досліджень.** Встановлено, що якісні характеристики зерна культури залежали від систем захисту рослин та від генотипових особливостей гібридів кукурудзи. Дослідженнями встановлено, що система захисту рослин (фактор В) певною мірою позначилась на якості зерна гібридів кукурудзи. Максимальний вміст протеїну – 8,37–9,38%, крохмалю – 68,8–69,4% та жиру – 3,80–3,96% спостерігався за інтегрованої системи захисту рослин. Рівень врожайності опосередковано впливає на формування основних показників якості зерна. Аналіз масиву даних вмісту протеїну у гібридів кукурудзи різних груп ФАО показав, що існує певний від'ємний кореляційний зв'язок дуже сильного рівня між показниками урожайності зерна гібридів і кількістю протеїну у зерні ($r = -0,811 \dots -0,951$). Така кореляція пояснюється підвищенням урожайності зерна гібридів кукурудзи, при застосуванні засобів захисту рослин, підвищенням виповненості зернівки, що відбувається за рахунок збільшення частки ендосперму, який має мінімальну частку протеїну. Дослідження ранньостиглих гібридів показало, що використання біологічного захисту рослин істотно підвищувало урожайність зерна на 7,9–14,3%. При вирощуванні гібриду Степовий (ФАО 180) біологічний захист рослин (урожайність 6,39 т/га) виявився більш ефективним, ніж хімічний (урожайність 6,25 т/га). У всіх гібридів кукурудзи найбільш ефективним засобом захисту рослин був інтегрований і сприяв підвищенню урожайності зерна на 1,07...1,71 т/га. Найбільша прибавка урожайності зерна від застосування інтегрованого захисту рослин була зафіксована у пізньостиглого гібриду Арабат, що пов'язано з подовженою його вегетацією та підвищенням терміном ураженості шкідниками та хворобами. **Висновки.** Встановлено, що формування показників якості зерна кукурудзи зумовлюється впливом технологічних чинників, а їх рівень залежить від генотипових особливостей гібридів та специфіки дії засобів захисту. Встановлено, що система захисту рослин певною мірою позначилась на якості зерна

гібридів кукурудзи. Максимальний вміст протеїну – 8,37–9,38%, крохмалю – 68,8–69,4% та жиру – 3,80–3,96% спостерігався за інтегрованої системи захисту рослин. Гібриди кукурудзи всіх досліджуваних груп ФАО забезпечували максимальну врожайність зерна за дотримання інтегрованого захисту рослин.

Ключові слова: кукурудза, гібрид, система захисту рослин, протеїн, жир, крохмаль, урожайність.

Hadzalo Ya.M., Vozhehova R.A., Likar Ya.O. Productivity and grain quality of maize hybrids depending on various plant protection schemes in the southern steppe under irrigation conditions

The purpose – to establish the influence of plant protection systems on grain quality indicators of maize hybrids of different FAO groups. **Research methods.** A set of general scientific methods and approaches of empirical and theoretical knowledge was applied: abstract-logical, statistical, modeling, generalization. **Research results.** It was established that the qualitative characteristics of the grain of the crop depended on the plant protection systems and on the genotypic characteristics of maize hybrids. The studies established that the plant protection system (factor B) to some extent affected the grain quality of maize hybrids. The maximum protein content of 8.37–9.38%, starch content of 68.8–69.4% and fat content of 3.80–3.96% was observed under the integrated plant protection system. The yield level indirectly affects the formation of the main indicators of grain quality. Analysis of the data set of protein content in maize hybrids of different FAO groups showed that there is a certain negative correlation of a very strong level between the grain yield indicators of hybrids and the amount of protein in the grain ($r = -0.811 \dots -0.951$). This correlation is explained by the increase in grain yield of corn hybrids, when using plant protection products, by the increase in grain fullness, which occurs due to an increase in the proportion of endosperm, which has a minimum share of protein. A study of early-ripening hybrids showed that the use of biological plant protection significantly increased grain yield by 7.9–14.3%. When growing the Steppe hybrid (FAO 180), biological plant protection (yield 6.39 t/ha) turned out to be more effective than chemical (yield 6.25 t/ha). In all maize hybrids, the most effective means of plant protection was integrated and contributed to an increase in grain yield by 1.07...1.71 t/ha. The greatest increase in grain yield from the use of integrated plant protection was recorded in the late-ripening Arabat hybrid, which is associated with its extended vegetation and increased period of damage by pests and diseases. **Conclusions.** It was established that the formation of maize grain quality indicators is determined by the influence of technological factors, and their level depends on the genotypic characteristics of hybrids and the specificity of the action of protective agents. It was established that the plant protection system to a certain extent affected the grain quality of corn hybrids. The maximum protein content – 8.37–9.38%, starch – 68.8–69.4% and fat – 3.80–3.96% was observed with an integrated plant protection system. Maize hybrids of all studied FAO groups provided maximum grain yield with compliance with integrated plant protection.

Key words: maize, hybrid, plant protection system, protein, fat, starch, yield.

БІОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ – НЕВІД’ЄМНА СКЛАДОВА СУЧАСНОЇ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ АГРОЦЕНОЗІВ СОНЯШНИКУ

ОМЕЛЬЯНЕНКО О.М. – аспірант

orcid.org/0000-0003-1251-4044

Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Сільське господарство відіграє ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки, тому підвищення врожайності культур та збереження ґрунтових ресурсів є актуальними завданнями сучасної аграрної науки. Одним із найважливіших викликів, з якими стикаються агрови-робники, є захист сільськогосподарських культур від хвороб, що можуть суттєво знизити якість і кіль-кість врожаю. Традиційні хімічні методи боротьби з патогенами, хоча й залишаються ефективними, нерідко викликають занепокоєння через їхній вплив на навколишнє середовище, біорізноманіття та здоров’я людини. Тому все більшої популярності набувають альтернативні підходи, зокрема інтегро-вані системи захисту, які поєднують використання хімічних, агротехнічних та біологічних засобів.

У статті розглянуто сучасні підходи до захисту сільськогосподарських культур, зокрема соняшника, від хвороб. Досліджено специфіку використання біологічних методів та їх поєднання з традиційними засобами захисту. Розглянуто ключові патогени, що впливають на врожайність культури, та ефектив-ність біоагентів у боротьбі з ними. Особлива увага приділена питанню сумісності біологічних препара-тів із фунгіцидами та можливостям оптимізації тех-нологій захисту рослин.

Результати досліджень свідчать, що біологічний контроль є ефективним доповненням до традицій-них методів захисту рослин, сприяє зниженню еко-логічного навантаження, підвищенню врожайності та забезпеченню сталого розвитку агроecosистем. Подальші дослідження та удосконалення техноло-гій інтегрованого захисту сприятимуть ефективному впровадженню біоконтролю у сучасне сільське гос-подарство.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сучасне сільське господарство стикається з чис-ленними викликами, серед яких збереження про-дуктивності агроценозів за умов зростаючого антропогенного навантаження та зміни клімату. Вирощування стратегічно важливих культур, таких як соняшник, вимагає впровадження інноваційних технологій захисту від хвороб та шкідників, які вра-ховують екологічні та економічні аспекти. Однією з найбільш перспективних стратегій є біологічний контроль, що ґрунтується на використанні мікроор-ганізмів та/або їх метаболітів як альтернативи хіміч-ним пестицидам.

Соняшник є однією з основних олійних культур світу, поряд із соєю, пальмою та ріпаком [1]. Куль-тура поширена на всіх континентах земної кулі, за даними ФАО, світова площа його посівів станом

на 2022 рік становила понад 28,75 млн. га з яких 7,1 млн. га або 25% від загальної площі у світі при-падає на Україну. Також, на великих площах його висівають в Аргентині, США, Китаї, Румунії, Туреч-чині, Франції та багатьох інших держав [2]. Сьогодні зростає зацікавленість у вирощуванні соняшнику через підвищення глобального та регіонального ринкового попиту. Великі прибутки від вирощування цієї культури є найважливішою рушійною силою для фермерів та компаній, про що свідчать прогнози темпів зростання доходів від виробництва харчової олії на рівні 7,68% до 2027 року [3].

В Україні соняшник займає провідне місце у структурі вирощування сільськогосподарських олійних культур [4, 5]. Його вирощування та пере-робка є важливими складовими агропромислового сектора економіки, тому за останнє десятиріччя площа під вирощування соняшнику в Україні збіль-шилася на 56% [6].

Середня врожайність соняшнику в Україні поки що не висока і становить 1,9–2,0 т/га [4]. Найвища вона в господарствах, де соняшник вирощують за прогресивною технологією – 3,5 т/га і більше, а за умов зрошення – 3,8–4,0 т/га [7].

Сьогодні збільшення валових зборів насіння соняшнику досягається, в основному, за рахунок роз-ширення посівних площ культури, що в свою чергу призводить до деградації ґрунтів та поширення хво-роб і шкідників в соняшникових агроценозах.

Хвороби є одним із найважливіших факторів, що впливають на урожайність та якість продукції соняшнику. Всього налічується більше 30 патоген-них мікроорганізмів, які уражують соняшник. Для України найбільш поширеними є такі хвороби, як біла гниль (*Sclerotinia sclerotiorum*) [7, 8], сіра гниль (*Botrytis cinerea*) [8, 9, 10], переноспороз (*Plasmopara halstedii*) [11, 12], фомоз (*Phoma macdonaldii*) [13, 14], фомопсис (*Diaporthe helianthi*) [15, 16], іржа (*Puccinia helianthi*) [17], та інші. В середньому недобір врожаю від цих захворювань може сягати 30–50 %, а в роки епіфітотії – перевищувати 70 %.

Використання синтетичних пестицидів стало невід’ємною частиною сільського господарства. З моменту відкриття першого синтетичного фунгі-циду фенілртути ацетат у 1913 році, впродовж остан-нього століття було розроблено понад 110 нових фунгіцидів, що дозволило збільшити виробництво продуктів харчування на суму 12,8 мільярдів доларів США щорічно [16, 18]. Однак їх широке викорис-тання зіткнулося з двома основними проблемами. По-перше, висловлено занепокоєння щодо залиш-кових ефектів і токсичності, які впливають на навко-

лише середовище та здоров'я людини. Наприклад, фунгіциди та інші типи пестицидів нещодавно пов'язали з раком, респіраторними захворюваннями та захворюваннями гормонального дисбалансу, що залежить від рівня впливу [18, 19, 20]. Керуючись думкою споживачів, які сприймають пестициди як загрозу, і величезною кількістю досліджень, що підтверджують цю точку зору, регулятори схвалили закони, які забороняють або обмежують їх використання шляхом встановлення нижчих максимально допустимих залишків (maximum residue limits, MRL) [21]. У Європейському Союзі програма перегляду MRL була впроваджена відповідно до Регламенту 396/2005 з метою обмеження використання синтетичних пестицидів. По-друге, знизилася ефективність фунгіцидів через появу резистентних патогенів, а відкриття нових видів фунгіцидів стало складнішим і дорожчим. Так вартість розробки одного нового активного інгредієнта зросла з 195 мільйонів доларів США у 1995 році до 286 мільйонів доларів США в 2016 році [20, 21].

У зв'язку із збільшенням даних про негативні побічні ефекти надмірного використання пестицидів було впроваджено інтегровану систему боротьби із фітопатогенами. Вона характеризується поєднанням різних стратегій боротьби з хворобами рослин, враховуючи врожайність, прибуток і безпеку, як представлено Продовольчою та сільськогосподарською організацією Об'єднаних Націй (FAO) [15, 19]. Особлива увага приділяється профілактиці інфекції та розгляду всіх доступних засобів боротьби з хворобами рослин, враховуючи їх економічну вигоду та токсичність. У зв'язку з цим біоконтроль був запропонований як альтернатива звичайним пестицидам [12, 18].

У вузькому розумінні біологічний контроль – це використання живого організму для боротьби зі специфічним патогеном рослин або шкідником через паразитизм, антибіоз або конкуренцію за поживні речовини чи простір [4]. Ширший термін включає застосування живих організмів та їх похідних для боротьби з хворобами та шкідниками рослин, не лише через прямий антагоністичний вплив на патогенів рослин та шкідників, але й опосередковано через індуктори резистентності, які активують захисні механізми рослин і також визначаються як агенти біоконтролю [5, 6]. Одним з прикладів індукторів резистентності є хітозан, і його похідні, такі як хітоолігосахариди, що містяться в стінках клітин грибів відділу *Zygomycota*. Потенціал цих речовин змусив дослідників розробити хімічні аналоги з подібними характеристиками або відмінними від відомих природних індукторів імунітету рослин [8, 19].

Фунгіциди розроблені для боротьби з фітопатогенними грибами спрямовані на різні компоненти або механізми їх клітин, включаючи дихання, метаболізм нуклеїнових кислот, цілісність клітинної мембрани, синтез білків, передачу сигналів та клітинний мітоз [6]. Однак деякі фунгіциди виконують ці дії не розрізняючи шкідливих патогенів і нецільових організмів, таких як корисні мікроорганізми ґрунту та селекціоновані у лабораторіях біоагенти, впливаючи на чисельність їхньої популяції та роблячи впровадження біоконтролю неефективним. Тому

знання про сумісність фунгіцидів з біопрепаратами на основі корисних мікроорганізмів та їх метаболітів є вирішальним для того, щоб дозволити їх комплексне застосування [2, 11, 20].

Метою статті було провести аналіз результатів сучасних досліджень вітчизняних та світових науковців щодо ефективності застосування біологічних і хімічних засобів захисту сільськогосподарських культур, у тому числі соняшнику, від збудників захворювань.

Результати досліджень. Сьогодні в Україні та Світі активно досліджують ефективність як окремого так і сумісного застосування існуючих фунгіцидів та біоагентів мікробних препаратів направлених на захист від фітопатогенів.

А. А. Esawy та ін. впродовж 2019–2020 рр. дослідили застосування п'яти засобів біоконтролю (*B. subtilis*, *B. pumilus*, *T. harzianum*, *T. viride* та *T. koningii*) для боротьби з борошнистою росою рослин соняшнику в польових умовах порівняно з фунгіцидом Вектра 10% SC та контролем. Результати досліджень показують значну ефективність біоагентів щодо розвитку захворювання. Найкращим серед досліджуваних варіантів виявився препарат на основі *T. koningii* у якому розвиток захворювання борошнистою росою становив по роках – 18–20%, при показниках у контролі – 85–92%. За використання Вектра 10% SC розвиток захворювання становив – 10–12%. Обробка рослин соняшнику *T. koningii* та хімічним фунгіцидом майже на рівні забезпечила достовірне збільшення врожайності культури на 0,41 т/га та 0,49 т/га, вмісту олії – на 11,5% та 12,7%, маси 1000 насінин – на 12,5 г та 18,3 г відповідно, порівняно з контролем [22].

Співробітниками Інституту захисту рослин НААН України досліджено вплив комплексного застосування біологічних і хімічних препаратів у системі захисту картоплі від хвороб. Встановлено, що застосування біологічних препаратів Фітоцид, Азотобактерин, Серенада, створених на основі живих клітин мікроорганізмів, окремо та в сумішах з хімічними препаратами (Інфініто 61 SC, Ридоміл Голд МЦ 68 WG, Еместо Квантум 273,5 FS, Селест Топ 312,5 FS) в технологіях захисту картоплі, забезпечило їхню високу ефективність. Пригнічення розвитку домінуючих хвороб – альтернаріозу та фітофторозу протягом вегетації було на рівні 45% і 51%, підвищення врожайності – у середньому на 13 т/га порівняно з контролем і на 2 т/га – порівняно з хімічними препаратами, товарності бульб – на 18% порівняно з контролем. Суміші біологічних препаратів з фунгіцидами зі зменшеними на 20% і 25% нормами витрати забезпечили ефективність заходів на рівні фунгіцидів з повними нормами витрати та дозволили скоротити на 1–2 кількість обробок [13, 15].

Р. Л. Conrado із співав. [23] дослідили *in vitro* сумісність чотирьох видів грибів роду *Trichoderma* з трьома фунгіцидами та їх антагоністичну активність проти *Fusarium solani*. Найвищий рівень антагонізму проти *F. solani* продемонстрував *T. asperellum* в обробленому фунгіцидами культуральному середовищі PDA, причому фунгіциди Каптан

і Манкоцеб у концентраціях 450, 900 і 1350 мг/л показали найбільшу сумісність. *T. harzianum* досяг другого найвищого значення, продемонструвавши високий потенціал антагонізму проти *F. solani* з досліджуваними фунгіцидами у трьох оцінюваних концентраціях. За цим слідував *T. hamatum*, який продемонстрував ефективність у концентраціях 450 та 900 мг/л. *T. koningiopsis* продемонстрував середній потенціал антагонізму, пригнічуючи ріст *F. solani* на 60–75% з фунгіцидами Каптан і Манкоцеб у трьох концентраціях, оцінених у цьому дослідженні. Використання штамів *Trichoderma* разом із фунгіцидом хлороталонілом у дозах 450, 900 та 1350 мг/л у культуральному середовищі PDA показало несумісність та низький рівень антагонізму, на що вказує менш ніж 59% інгібування проти *F. solani*. При цьому фітопатоген продемонстрував кращий розвиток та адаптацію, ніж штам *Trichoderma*, у присутності фунгіциду хлороталонілу в усіх досліджуваних концентраціях.

Дослідники кафедри патології рослин Університету сільськогосподарських наук, Бенгалуру, Індія, порівняли ефективність мікробних біоагентів контролю з фунгіцидами проти збудника альтернаріозу сояшника [6, 16]. У досліді використовували різні штам *Trichoderma viride*, *T. harzianum* та бактерій (*Pseudomonas fluorescens* і *Bacillus subtilis*), ефективність яких проти *Alternaria helianthi* визначали методом подвійної культури. Серед фунгіцидів у досліді застосовували: манкоцеб, іпродіон+карбендазім, пропіконазол, хлороталоніл, гексаконазол і дифеноконазол, а ефективність оцінювали *in vitro* відмічаючи відсоток пригнічення росту патогена на поживному середовищі. Серед агентів біоконтролю максимальне пригнічення радіального росту *A. helianthi* спостерігався за використанням двох штамів *T. viride* – 85,3% – 79,3% і *T. harzianum* – 76,4%. Серед фунгіцидів, які максимально пригнічували ріст міцелію *A. helianthi* були: пропіконазол – 90,4%, манкоцеб – 90,4% та іпродіон+карбендазім – 89,7%. У польових умовах серед біоагентів найефективнішим виявився варіант із застосуванням штаму *Trichoderma viride* T1, де ступінь ураження рослин сояшника патогеном *A. helianthi* становило – 23%, при показниках у контролі – 46%. За використання хімічних засобів найефективнішим виявився пропіконазол, у цьому варіанті ступінь ураження патогеном становив – 9,8%.

G. T. Dinkwar та ін. дослідили сумісність фунгіцидів із п'ятьма ізолятами грибів роду *Trichoderma*. За результатами досліджень встановлено, що ізоляти мікроміцету добре сумісні з наступними контактними, системними та комбінованими фунгіцидами: Imbrex (Fluxarugrohad EC), Curzate M8 (Cytozoxanil 8%+ Mancozeb 64% WP), Vitavax (Carboxin 37.5% + Thiram 37.5% DS) і Seedkot (Thiram 75% WS); помірно сумісні з Amistar top (Azoxystrobin 18.2% + Difenoconazole 11.4% SC) і Headline (Pyraclostrobin 20% WG). Найменшу сумісність ізоляти грибів роду *Trichoderma* мали з Nativio (Tebuconazole 50% + Trifloxystrobin 25% WG), Taqat (Captan 70%+ Hexaconazole 5% WP), Folicur (Tebuconazole 25.9%

EC), та Saaf (Carbendazim 12% + Mancozeb 63% WP) [3, 19, 21].

Науковцями Індонезійського науково-дослідного інституту зернових культур, Південний Сулавесі, Індонезія, досліджено сумісність засобів біоконтролю та синтетичних фунгіцидів у боротьбі зі збудником опіку кукурудзи (*Bipolaris maydis*). Використовували п'ять типів синтетичних діючих речовин: дифеноконазол, пропінеп, флуопіколід, металаксил і диметоморф та біофунгіцид на основі *Bacillus subtilis*. Результати досліджень показали, що всі перевірені синтетичні фунгіциди були сумісні з агентом біологічного контролю. Фунгіцид із діючою речовиною дифеноконазол виявився найбільш сумісним із *Bacillus subtilis*, демонструючи найнижче значення тяжкості захворювання – 27%, тоді як у контрольному варіанті без застосування біоагенту ступінь ураження становив – 72% [9, 11].

Висновки. На основі проведеного аналізу сучасних досліджень, можна зробити висновок, що біологічний контроль є ефективним доповненням до традиційних хімічних методів захисту рослин. Використання біоагентів, таких як *Trichoderma*, *Bacillus* та інші, забезпечує не лише значне зменшення рівня розвитку хвороб, але й підвищення врожайності, якості продукції та зниження екологічного навантаження. Однак для досягнення максимального ефекту важливо враховувати сумісність біологічних і хімічних препаратів, а також розробляти технології їх спільного використання. Подальші дослідження у цій сфері є необхідними для впровадження сталих систем захисту агроценозів сільськогосподарських культур, зокрема сояшнику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Adeleke B. S., Babalola O. O. Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Science and Nutrition*. 2020. Vol. 8. P. 4666–4684. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1783>
2. ТОП-10 країн виробників сояшнику у 2021/22 МР. *Latifundist Media*. 2022. URL: <http://https://latifundist.com/rating/top-10-krayin-virobnikiv-sonyashniku-2021-22mr>
3. Gunacti H. Sunflower diseases and downy mildew (*Plasmopara halstedii*) in Adana. *Journal of Plant Sciences and Phytopathology*. 2023. Vol. 7. P. 66–68. <https://doi.org/10.29328/journal.jpssp.1001107>
4. Офіційний сайт Державного комітету статистики України: URL: <http://ukrstat.gov.ua>
5. Пастернак О. Перспективи ринку ріпаку і сояшнику. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2011. № 3. С. 40–44.
6. Кононюк В. А. Сояшник – провідна культура АПК України. *Агровісник*. 2007. № 1. С. 47–50.
7. Марков І. Л. Гнилі сояшнику та заходи щодо обмеження їх шкідливості. *Агроном*. 2012. № 4. С. 76–83.
8. Ретьман С., Базикіна Н. Біла гниль сояшнику. Карантин і захист рослин. 2019. № 1-2. С. 25–28.
9. Mercier A., Carpentier F., Duplaix C., Auger A., Pradier J., Viaud M., Gladieux P., Walker A.-S. The polyphagous plant pathogenic fungus *Botrytis cinerea* encompasses host-specialized and generalist populations.

Environmental Microbiology. 2019. Vol. 21. P. 4808–4821. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14829>

10. Поспелов С. В., Поспелова Г. Д., Нечипоренко Н. І., Міщенко О. В., Черняк О. О., Скляр С. С., Іванічко О. В. Аналіз фітопатогенного стану посівів соняшнику в період вегетації за різних агрокліматичних умов. *Вісник ПДАА*, 2021. № 4. С. 133–141.

11. Gulya T., Harveson R., Mathew F., Block C., Thompson S., Kandel H., Berglund D., Sandbakken J., Kleingartner L., Markell S. Comprehensive disease survey of U.S. sunflower: Disease trends, research priorities, and unanticipated impacts. *Plant Disease*. 2019. Vol. 103. P. 601–618. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-0980-FE>

12. Picard C., Afonso T., Benko-Beloglavec A., Karadjova O., Matthews-Berry S., Paunovic S. A., Pietsch M., Reed P., Gaag D. J., Ward M. Recommended regulated non-quarantine pests (RNQPs), associated thresholds and risk management measures in the European and Mediterranean region. *EPPO Bulletin*, 2018. Vol. 48. P. 552–568. <https://doi.org/10.1111/epp.12500>

13. Балан Г. О., Ткачик С. О. Ідентифікаційна оцінка патогенної мікобіоти селекційних зразків соняшнику однорічного в умовах Причорноморського Степу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2020. Вип. 28. С. 182–194.

14. Bennett M. M., Ponder J., Garcia-Diaz J. *Phoma* infections: Classification, potential food sources, and their clinical impact. *Microorganisms*. 2018. Vol. 6. 58 p. <https://doi.org/10.3390/microorganisms6030058>

15. Сиводед Є. В., Кирик М. М., Колесніченко О. В., Мельник В. І. Особливості біології гриба *Phomopsis helianthi* М. та патогенезу фомопсису соняшника. *Біоресурси та природокористування*. 2018. 10. № 3–4. С. 41–48.

16. Третьякова С. О., Сержук О. П., Єремєєва О. А., Терещенко Ю. Ф. Вплив фомопсису на формування рівня врожайності насіння гібридів соняшнику. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2020. Вип. 28. С. 147–155.

17. Ретьман С. В., Базикіна Н. Г. Іржа соняшника. *Карантин і захист рослин*. 2018. № 1–2. С. 1–2.

18. Piel C., Pouchieu C., Carles C., Béziat B., Boulanger M., Bureau M., Busson A., Grüber A., Lecluse Y., Migault L. Agricultural exposures to carbamate herbicides and fungicides and central nervous system tumour incidence in the cohort AGRICAN. *Environment International*, 2019. 130 p. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.070>

19. Hoppin J. A., Umbach D. M., Long S., London S. J., Henneberger P. K., Blair A., Alavanja M., Freeman L. E. B., Sandler D. P. Pesticides are associated with allergic and non-allergic wheeze among male farmers. *Environmental Health Perspectives*. 2017. Vol. 125. P. 535–543. <https://doi.org/10.1289/EHP315>

20. Juntarawijit C., Juntarawijit Y. Association between diabetes and pesticides: A case-control study among Thai farmers. *Environmental Health and Preventive Medicine*. 2018. 23. P. 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0692-5>

21. Kim K., Kabir E., Ara S. Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 575. P. 525–535.

22. Esawy A. A., Elsharkawy M. M., Omara R. I. Biological control of *Golovinomyces cichoracearum*, the

causal pathogen of sunflower powdery mildew. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 2021. Vol. 31. 133 p.

23. Parraguirre Lezama C., Romero-Arenas O., Valencia de Ita M. D. L. A., Rivera A., Sangerman Jarquín D. M., Huerta-Lara M. In vitro study of the compatibility of four species of *Trichoderma* with three fungicides and their antagonistic activity against *Fusarium solani*. *Horticulturae*. 2023. Vol. 9. 905 p. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080905>

REFERENCES:

1. Adeleke B.S., Babalola O.O. (2020). Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Science and Nutrition*, 8, 4666–4684. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1783>

2. (2022). TOP-10 krain vyrobnykiv soniashnyku u 2021/22 MR [TOP 10 sunflower producing countries in 2021/22 MY]. *Latifundist Media*. URL: <https://latifundist.com/rating/top-10-krayin-virobnikiv-sonyashnyku-2021-22-mr> [in Ukrainian].

3. Gunacti H. (2023). Sunflower diseases and downy mildew (*Plasmopara halstedii*) in Adana. *Journal of Plant Sciences and Phytopathology*, 7, 66–68. <https://doi.org/10.29328/journal.jpssp.1001107>

4. (2025). Ofitsiyni sait Derzhavnoho komitetu statystyky Ukrainy. [Official website of the State Statistics Committee of Ukraine]. URL: <http://ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].

5. Pasternak O. (2011). *Perspektyvy rynku ripaku i soniashnyku* [Prospects for the rapeseed and sunflower market. Bulletin of Khmelnytskyi National University]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, 3, 40–44 [in Ukrainian].

6. Kononiuk V.A. (2007). *Soniashnyk – providna kultra APK Ukrainy* [Sunflower is the leading crop of Ukraine's agricultural industry]. *Ahrovisnyk*, 1, 47–50 [in Ukrainian].

7. Markov I.L. (2012). *Hnyli soniashnyku ta zakhody shchodo obmezhennia yikh shkidlyvosti* [Sunflower rot and measures to limit its harmfulness]. *Ahronom*, 4, 76–83 [in Ukrainian].

8. Retman S., Bazykina N. (2019). *Bila hnyl soniashnyku* [Sunflower white rot]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 1-2, 25–28 [in Ukrainian].

9. Mercier A., Carpentier F., Duplaix C., Auger A., Pradier J., Viaud M., Gladieux P., Walker A.-S. (2019). The polyphagous plant pathogenic fungus *Botrytis cinerea* encompasses host-specialized and generalist populations. *Environmental Microbiology*, 21, 4808–4821. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14829>

10. Pospelov S.V., Pospelova H.D., Nechiporenko N.I., Mishchenko O.V., Cherniak O.O., Skliar S.S., Ivanichko O.V. (2021). *Analiz fitopatohennoho stanu posiviv soniashnyku v period vehetatsii za riznykh ahroklimatychnykh umov* [Analysis of the phytopathogenic state of sunflower crops during the growing season under different agroclimatic conditions]. *Visnyk PDAA*, 4, 133–141 [in Ukrainian].

11. Gulya T., Harveson R., Mathew F., Block C., Thompson S., Kandel H., Berglund D., Sandbakken J., Kleingartner L., Markell S. (2019). Comprehensive disease survey of U.S. sunflower: Disease trends, research priorities, and unanticipated impacts. *Plant Disease*, 103, 601–618. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-0980-FE>

12. Picard C., Afonso T., Benko-Beloglavec A., Karadjova O., Matthews-Berry S., Paunovic S.T.A., Pietsch M., Reed P., Gaag D. J., Ward M. (2018). Recommended regulated non-quarantine pests (RNQPs), associated thresholds and risk management measures in the European and Mediterranean region. *EPPO Bulletin*, 48, 552–568. <https://doi.org/10.1111/epp.12500>

13. Balan H.O., Tkachuk S.O. (2020). *Identyfikatsiina otsinka patohennoi mikrobioty selektsiinykh zrazkiv soniashnyku odnorichnoho v umovakh Prychornomorskoho Stepu Ukrainy* [Identification assessment of pathogenic mycobiota of annual sunflower breeding samples in the Black Sea Steppe of Ukraine]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv*, 28, 182–194 [in Ukrainian].

14. Bennett M.M., Ponder J., Garcia-Diaz J. (2018). *Phoma* infections: Classification, potential food sources, and their clinical impact. *Microorganisms*, 6, p. <https://doi.org/10.3390/microorganisms6030058>

15. Syvoded Ye.V., Kyryk M.M., Kolesnichenko O.V., Melnyk V.I. (2018). *Osoblyvosti biologii hryba Phomopsis helianthi M. ta patohenezu fomopsysu soniashnyka* [Features of the biology of the fungus *Phomopsis helianthi* M. and the pathogenesis of *Phomopsis helianthi* on sunflower]. *Bioresursy ta pryrodokorystuvannia*, 10(3–4), 41–48 [in Ukrainian].

16. Tretiakova S.O., Serzhuk O.P., Yereimeieva O.A., Tereshchenko Yu.F. (2020). *Vplyv fomopsysu na formuvannia rivnia vrozhaivosti nasinnia hibrydiv soniashnyku* [The influence of *Phomopsis* on the formation of the yield level of sunflower hybrid seeds]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv*, 28, 147–155 [in Ukrainian].

17. Retman S.V., Bazykina N.H. (2018). *Irzha soniashnyka* [Sunflower rust]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 1(2), 1–2 [in Ukrainian].

18. Piel C., Pouchieu C., Carles C., Béziat B., Boulanger M., Bureau M., Busson A., Grüber A., Lecluse Y., Migault L. (2019). Agricultural exposures to carbamate herbicides and fungicides and central nervous system tumour incidence in the cohort AGRICAN. *Environment International*, 130, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.070>

19. Hoppin J.A., Umbach D.M., Long S., London S.J., Henneberger P.K., Blair A., Alavanja M., Freeman L.E.B., Sandler D.P. (2017). Pesticides are associated with allergic and non-allergic wheeze among male farmers. *Environmental Health Perspectives*, 125, 535–543. <https://doi.org/10.1289/EHP315>

20. Juntarawijit C., Juntarawijit Y. (2018). Association between diabetes and pesticides: A case-control study among Thai farmers. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 23, 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0692-5>

21. Kim K., Kabir E., Ara S. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525–535.

22. Esawy A.A., Elsharkawy M.M., Omara R.I. (2021). Biological control of *Golovinomyces cichoracearum*, the causal pathogen of sunflower powdery mildew. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 133.

23. Parraguirre Lezama C., Romero-Arenas O., Valencia de Ita M.D.L.A., Rivera A., Sangerman Jarquín D.M., Huerta-Lara M. (2023). In vitro study of the

compatibility of four species of *Trichoderma* with three fungicides and their antagonistic activity against *Fusarium solani*. *Horticulturae*, 9, 905. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080905>

Омельяненко О.М. Біологічний контроль – невід’ємна складова сучасної інтегрованої системи захисту агроценозів соняшнику

Метою статті було провести аналіз результатів сучасних досліджень вітчизняних та світових науковців щодо ефективності застосування біологічних і хімічних засобів захисту сільськогосподарських культур, у тому числі соняшнику, від збудників захворювань.

Результати. Результати досліджень показують значну ефективність біоагентів щодо розвитку захворювання. Найкращим серед досліджуваних варіантів виявився препарат на основі *T. koningii* у якому розвиток захворювання борошнистою россою становив по роках – 18–20%, при показниках у контролі – 85–92%. За використання Вектра 10% SC розвиток захворювання становив – 10–12%. Обробка рослин соняшнику *T. koningii* та хімічним фунгіцидом майже на рівні забезпечила достовірне збільшення врожайності культури на 0,41 т/га та 0,49 т/га, вмісту олії – на 11,5% та 12,7%, маси 1000 насінин – на 12,5 г та 18,3 г відповідно, порівняно з контролем.

Досліджено вплив комплексного застосування біологічних і хімічних препаратів у системі захисту картоплі від хвороб. Встановлено, що застосування біологічних препаратів Фітоцид, Азотобактерин, Серенада, створених на основі живих клітин мікроорганізмів, окремо та в сумішах з хімічними препаратами (Інфініто 61 SC, Ридоміл Голд МЦ 68 WG, Еместо Квантум 273,5 FS, Селест Топ 312,5 FS) в технологіях захисту картоплі, забезпечило їхню високу ефективність. Пригнічення розвитку домінуючих хвороб – альтернаріозу та фітофторозу протягом вегетації було на рівні 45% і 51%, підвищення врожайності – у середньому на 13 т/га порівняно з контролем і на 2 т/га – порівняно з хімічними препаратами, товарності бульб – на 18% порівняно з контролем. Суміші біологічних препаратів з фунгіцидами зі зменшеними на 20% і 25% нормами витрати забезпечили ефективність заходів на рівні фунгіцидів з повними нормами витрати та дозволили скоротити на 1–2 кількість обробок.

Дослідники кафедри патології рослин Університету сільськогосподарських наук, Бенгалуру, Індія, порівняли ефективність мікробних біоагентів контролю з фунгіцидами проти збудника альтернаріозу соняшника. У досліді використовували різні штами грибів (*Trichoderma viride*, *T. harzianum*) та бактерій (*Pseudomonas fluorescens* і *Bacillus subtilis*), ефективність яких проти *Alternaria helianthi* визначали методом подвійної культури. Серед фунгіцидів у досліді застосовували: манкоцеб, іпродіон+карбендазим, пропіконазол, хлороталоніл, гексаконазол і дифеноконазол, а ефективність оцінювали in vitro відмічаючи відсоток пригнічення росту патогена на поживному середовищі. Серед агентів біоконтролю максимальне пригнічення радіального росту *A. helianthi* спостерігався за використання двох штамів *T. viride* – 85,3% – 79,3% і *T. harzianum* – 76,4%. Серед фунгіцидів, які максимально пригнічували ріст міцелію *A. helianthi* були: пропіконазол – 90,4%, манкоцеб – 90,4% та іпродіон+карбендазим – 89,7%. У польових умо-

вах серед біоагентів найефективнішим виявився варіант із застосуванням штаму *Trichoderma viride* T1, де ступінь ураження рослин соняшника патогеном *A. helianthi* становило – 23%, при показниках у контролі – 46%. За використання хімічних засобів найефективнішим виявився пропіконазол, у цьому варіанті ступінь ураження патогеном становив – 9,8%.

Г. Т. Dinkwar та ін. дослідили сумісність фунгіцидів із п'ятьма ізолятами грибів роду *Trichoderma*. За результатами досліджень встановлено, що ізоляти мікроміцету добре сумісні з наступними контактними, системними та комбінованими фунгіцидами: Imbrex (Fluxapyroxad EC), Curzate M8 (Cymoxanil 8%+ Mancozeb 64% WP), Vitavax (Carboxin 37.5% + Thiram 37.5% DS) і Seedkot (Thiram 75% WS); помірно сумісні з Amistar top (Azoxystrobin 18.2% + Difenconazole 11.4% SC) і Headline (Pyraclostrobin 20% WG). Найменшу сумісність ізоляти грибів роду *Trichoderma* мали з Nativo (Tebuconazole 50% + Trifloxystrobin 25% WG), Taqat (Captan 70%+ Hexaconazole 5% WP), Folicur (Tebuconazole 25.9% EC), та Saaf (Carbendazim 12% + Mancozeb 63% WP).

Науковцями Індонезійського науково-дослідного інституту зернових культур, Південний Сулавесі, Індонезія, досліджено сумісність засобів біоконтролю та синтетичних фунгіцидів у боротьбі зі збудником опіку кукурудзи (*Bipolaris maydis*). Використовували п'ять типів синтетичних діючих речовин: дифеноконазол, пропінеп, флуопіколід, металаксил і диметоморф та біофунгіцид на основі *Bacillus subtilis*. Результати досліджень показали, що всі перевірені синтетичні фунгіциди були сумісні з агентом біологічного контролю. Фунгіцид із діючою речовиною дифеноконазол виявився найбільш сумісним із *Bacillus subtilis*, демонструючи найнижче значення тяжкості захворювання – 27%, тоді як у контрольному варіанті без застосування біоагенту ступінь ураження становив – 72%.

Висновки. На основі проведеного аналізу сучасних досліджень, можна зробити висновок, що біологічний контроль є ефективним доповненням до традиційних хімічних методів захисту рослин. Використання біоагентів, таких як *Trichoderma*, *Bacillus* та інші, забезпечує не лише значне зменшення рівня розвитку хвороб, але й підвищення врожайності, якості продукції та зниження екологічного навантаження. Однак для досягнення максимального ефекту важливо враховувати сумісність біологічних і хімічних препаратів, а також розробляти технології їх спільного використання. Подальші дослідження у цій сфері є необхідними для впровадження сталих систем захисту агроценозів сільськогосподарських культур, зокрема соняшнику.

Ключові слова: біологічний контроль, інтегрований захист, соняшник, біоагенти мікробних препаратів, пестициди.

Omelyanenko O.M. Biological control is an integral part of a modern integrated system for protecting sunflower agroecosystems

The purpose of the article was to analyze the results of contemporary research by domestic and international scientists on the effectiveness of using biological and chemical plant protection products for agricultural crops, including sunflowers, against pathogens.

Results. The results of the research show significant effectiveness of bioagents in terms of disease

development. The best among the studied options was the preparation based on *T. koningii*, in which the development of powdery mildew disease was 18-20% over the years, with indicators in the control being 85-92%. When using Vectra 10% SC, the development of the disease was 10-12%. Treatment of sunflower plants with *T. koningii* and a chemical fungicide almost on par provided a significant increase in crop yield by 0.41 t/ha and 0.49 t/ha, oil content by 11.5% and 12.7%, and the weight of 1000 seeds by 12.5 g and 18.3 g, respectively, compared to the control. The effect of the complex application of biological and chemical preparations in the potato protection system against diseases has been studied. It was found that the use of biological preparations Phytocid, Azotobacterin, and Serenade, created on the basis of living cells of microorganisms, separately and in mixtures with chemical preparations (Infinito 61 SC, Ridomil Gold MC 68 WG, Emesto Quantum 273.5 FS, Celest Top 312.5 FS) in potato protection technologies ensured their high efficiency. The suppression of the development of dominant diseases – alternariosis and phytophthora during the vegetation period was at the level of 45% and 51%, the increase in yield – on average by 13 t/ha compared to the control and by 2 t/ha – compared to chemical preparations, the marketability of tubers – by 18% compared to the control. Mixtures of biological preparations with fungicides with reduced consumption rates by 20% and 25% provided the effectiveness of measures at the level of fungicides with full consumption rates and allowed reducing the number of treatments by 1-2. Researchers from the Department of Plant Pathology, University of Agricultural Sciences, Bangalore, India, compared the effectiveness of microbial biocontrol agents with fungicides against the sunflower alternariosis pathogen. The study used various strains of fungi (*Trichoderma viride*, *T. harzianum*) and bacteria (*Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*), the effectiveness of which against *Alternaria helianthi* was determined by the double culture method. Among the fungicides used in the study were: mancozeb, iprodione+carbendazim, propiconazole, chlorothalonil, hexaconazole, and difenoconazole, and the effectiveness was evaluated in vitro by noting the percentage of pathogen growth inhibition on the nutrient medium. Among the biocontrol agents, the maximum inhibition of the radial growth of *A. helianthi* was observed when using two strains of *T. viride* – 85.3% – 79.3% and *T. harzianum* – 76.4%. Among the fungicides that maximally suppressed the growth of the mycelium of *A. helianthi* were: propiconazole – 90.4%, mancozeb – 90.4% and iprodione+carbendazim – 89.7%. In field conditions, the most effective among the bioagents was the variant with the use of the *Trichoderma viride* T1 strain, where the degree of damage to sunflower plants by the *A. helianthi* pathogen was 23%, with indicators in the control being 46%. When using chemical agents, propiconazole proved to be the most effective, in this variant, the degree of pathogen damage was 9.8%. G. T. Dinkwar et al. investigated the compatibility of fungicides with five isolates of fungi of the genus *Trichoderma*. According to the research results, it was found that the micromycete isolates are well compatible with the following contact, systemic, and combined fungicides: Imbrex (Fluxapyroxad EC), Curzate M8 (Cymoxanil 8%+ Mancozeb 64% WP), Vitavax (Carboxin 37.5% + Thiram 37.5% DS) and Seedkot (Thiram 75% WS); moderately compatible with Amistar top (Azoxystrobin 18.2% + Difenconazole 11.4% SC)

and Headline (Pyraclostrobin 20% WG). The isolates of fungi of the genus *Trichoderma* had the least compatibility with Nativo (Tebuconazole 50% + Trifloxystrobin 25% WG), Taqat (Captan 70%+ Hexaconazole 5% WP), Folicur (Tebuconazole 25.9% EC), and Saaf (Carbendazim 12% + Mancozeb 63% WP). Scientists of the Indonesian Research Institute for Food Crops, South Sulawesi, Indonesia, investigated the compatibility of biocontrol agents and synthetic fungicides in combating the corn blight pathogen (*Bipolaris maydis*). Five types of synthetic active substances were used: difenoconazole, propineb, fluopicolid, metalaxyl, and dimethomorph, and a biofungicide based on *Bacillus subtilis*. The research results showed that all tested synthetic fungicides were compatible with the biological control agent. The fungicide with the active substance difenoconazole proved to be the most compatible with *Bacillus subtilis*, demonstrating the lowest disease severity value – 27%, while in the control variant with-

out the use of the bioagent, the degree of damage was 72%.

Conclusions. Based on the analysis of contemporary research, it can be concluded that biological control is an effective addition to traditional chemical plant protection methods. The use of bioagents such as *Trichoderma*, *Bacillus*, and others provides not only a significant reduction in the level of disease development but also an increase in yield, product quality, and a reduction in environmental load. However, to achieve maximum effect, it is important to consider the compatibility of biological and chemical preparations, as well as to develop technologies for their joint use. Further research in this area is necessary for the implementation of sustainable protection systems for agricultural crop agrobiocenoses, in particular sunflowers.

Key words: biological control, integrated protection, sunflower, microbial preparation bioagents, pesticides.

ВИКОРИСТАННЯ ОЧИЩЕНИХ СТИЧНИХ ВОД ДЛЯ ЗРОШЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ

ПІЛЯРСЬКА О.О. – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник

orcid.org/0000-0001-8649-0618

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

ШАБЛЯ О.С. – кандидат економічних наук, старший дослідник

orcid.org/0000-0002-2669-0711

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

ПЕТРІВ Л.М. – науковий співробітник

orcid.org/0000-0003-0238-1858

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

ЖЕРЕБЧУК С.В. – науковий співробітник

orcid.org/0000-0002-0212-7107

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

ПОЛАГЕНЬКО О.С. – науковий співробітник

orcid.org/0009-0002-4416-4835

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Дефіцит прісної питної води на теперішній час розглядається як одна з глобальних проблем сучасності. Із зростанням чисельності населення планети істотно збільшилися обсяги водоспоживання, що згодом сприяло погіршення умов життя і уповільнення темпів економічного розвитку країн, що зазнають дефіциту води. Фахівці наголошують, що запаси прісної питної води далеко не безмежні і вони вже підходять до кінця. За прогнозами [1], в 2030 році приблизно 47,0% населення планети буде існувати під загрозою водного дефіциту. При цьому до 2050 року значно збільшиться населення країн, в яких вже сьогодні води не вистачає. Застосування очищених стічних вод (ОСВ) у сільському господарстві – це один із способів вирішення проблем дефіциту води та покращення родючості ґрунтів. Їх можна використовувати як альтернативне джерело зрошення, особливо в регіонах із дефіцитом водних ресурсів. З огляду на кліматичні зміни в Україні, що проявляються зменшенням кількості опадів і зростанням частоти посух – застосування ОСВ у сільському господарстві стає актуальним. Це має особливе значення для регіонів степової та лісостепової зон, де традиційно спостерігається дефіцит вологи та як наслідок зниження врожайності. Завдяки такому застосуванню ОСВ досягаються наступні цілі: раціональне використання водних ресурсів, підвищення врожайності культури, відновлення родючості деградованих земель та зниження негативного впливу на довкілля [2]. Використання такої води зменшує залежність від прісних джерел водопостачання та підвищує ефективність виробництва сільськогосподарської продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Використання очищених стічних вод у сільському господарстві розглядається науковою спільнотою, як ефективний підхід до збереження водних ресурсів і забезпечення сталого землеробства. В умовах глобального потепління та зростаючого дефіциту прісної води цей напрям досліджень набуває особливої актуальності. У багатьох країнах світу вже впроваджено практики повторного використання води після очищення для поливу сільськогосподарських культур.

Світовий та європейський досвід свідчить, що повторне використання очищених стічних вод у сільському господарстві для зрошення є загальноприйнятною практикою. Так, в Ізраїлі очищується 100 % стічних вод, 93 % з яких використовуються для потреб саме сільського господарства. Сінгапур використовує 35 % стічних вод, США – 14 %. Країни Південної Європи (Кіпр, Греція, Італія, Мальта, Португалія, Іспанія), – більше 60% очищених стічних вод використовується саме для зрошення [3, 4]. Таким чином, використання очищених міських і промислових стічних вод для агрокультур є ефективною стратегією адаптації до посух і наслідків зміни клімату.

У країнах, що розвиваються, таких як Індія та Китай, практика використання стічних вод часто відбувається без відповідного очищення. Це призводить до серйозних ризиків: забруднення ґрунтів важкими металами, накопичення патогенних мікроорганізмів, погіршення санітарного стану агроєкосистем [5]. Окремі дослідження вказують на зниження якості продукції при використанні неочищених або недостатньо очищених стічних вод [6].

В українських умовах можливість використання очищених стічних вод також активно обговорюється. Як зазначає Коваль С.М., потенціал застосування таких технологій у південних регіонах України значний, особливо в умовах зміни клімату [7]. Водночас Іщенко В.М. акцентує увагу на ризиках, пов'язаних із засоленням ґрунтів, накопиченням токсичних елементів і необхідністю створення національної нормативно-методичної бази [8]. Відсутність стандартизованих вимог до якості ОСВ для зрошення в Україні є істотним бар'єром на шляху впровадження цих практик.

Отже, наукові дослідження однозначно підтверджують ефективність і доцільність використання очищених стічних вод для сільськогосподарських потреб за умови дотримання санітарно-гігієнічних норм. Упровадження такої практики має супроводжуватись розвитком очисних технологій, запровадженням нормативного контролю та активною участю держави в регулюванні водного обігу в аграрному секторі.

Мета дослідження. Проаналізувати європейський досвід регламентування та застосування очищених стічних вод (ОСВ) у сільському господарстві, а також розробити систему критеріїв для оцінки доцільності їх використання в умовах України, враховуючи регіональні особливості клімату.

Матеріали та методика досліджень. Для досягнення поставленої мети у процесі роботи використовували сучасні методи наукових досліджень: історичний, абстрактно-логічний, системного підходу, статистичний, монографічний, моделювання, комплексного аналізу, узагальнення.

Результати досліджень. У зв'язку з посиленням кліматичних змін, зростанням водного дефіциту та необхідністю сталого використання природних ресурсів, повторне використання очищених стічних вод у сільському господарстві стало одним з пріоритетних напрямів водної політики Європейського Союзу. Європейські країни накопили значний досвід у цій сфері, що ґрунтується на законодавчому регулюванні, технічних стандартах та системі управління ризиками.

Ключовим нормативним актом Європейського Союзу у сфері регенерації стічних вод є Регламент (ЄС) 2020/741 Європейського парламенту та Ради від 25 травня 2020 року «Про мінімальні вимоги до повторного використання води». Цей документ встановлює єдині критерії для безпечного використання очищених стічних вод з метою зрошення сільськогосподарських культур на території всіх держав-членів ЄС. Зокрема, у регламенті запроваджено чотири класи якості води (А, В, С, D) залежно від типу культур, способу зрошення та призначення продукції (харчове або технічне). Наприклад, вода класу А допускається для зрошення сирих овочів та фруктів, які споживаються без термічної обробки, і повинна мати концентрацію *E. coli* не вище 10 КУО/100 мл. [9].

Крім цього регламенту, у правовому полі ЄС діють також Рамкова водна директива (2000/60/ЄС) [10], яка забезпечує цілісний підхід до управління водними ресурсами, та Директива 91/271/ЄС [11]

щодо очищення міських стічних вод. Вони створюють базу для інтегрованого управління якістю води, включаючи обов'язковість очищення стічних вод до встановлених екологічних норм перед їх повторним використанням.

Деякі країни ЄС уже досягли значних успіхів у застосуванні очищених стоків у сільському господарстві. Іспанія є лідером у цьому напрямку: близько 20% усіх очищених стічних вод тут використовується повторно, з яких приблизно 70% – для аграрного зрошення [12]. У регіонах, як-от Мурсія, очищена вода застосовується для вирощування овочевих культур завдяки високотехнологічним станціям доочистки, що забезпечують відповідність класу А. Подібний підхід демонструє і Кіпр, де до 90% стічних вод після очищення використовуються в аграрному секторі, що дозволяє компенсувати хронічний дефіцит прісної води [13].

Важливою складовою європейського підходу є запровадження оцінки ризиків для здоров'я людини та довкілля. Згідно з Регламентом (ЄС) 2020/741, для кожного проекту повторного використання води має бути розроблений «План управління ризиками», який включає аналіз джерел забруднення, оцінку шляху передачі патогенів, заходи моніторингу та інформування споживачів. Такі підходи дозволяють забезпечити безпечне використання води навіть у випадках, коли вона спочатку не відповідає питній якості, але проходить відповідне очищення та контроль.

Країни ЄС також передбачають державну підтримку аграріїв, які використовують регеновану воду. Це стосується як фінансування модернізації інфраструктури зрошення, так і компенсації витрат на лабораторний контроль якості води. У деяких випадках також впроваджуються стимули, пов'язані з «екологічними схемами» у рамках спільної аграрної політики ЄС.

Таким чином, європейський підхід до повторного використання очищених стічних вод у сільському господарстві базується на поєднанні жорстких стандартів, адаптованих до конкретних умов, системного моніторингу ризиків, фінансової підтримки агровиробників та правової визначеності. Цей досвід може бути надзвичайно корисним для України, де наразі відсутнє спеціалізоване законодавство у цій сфері. Адаптація норм ЄС з урахуванням національних особливостей водокористування дозволила б підвищити ефективність водозабезпечення агросектору та водночас забезпечити екологічну безпеку.

Застосування додатково очищених стічних вод для потреб іригації потребує системного підходу з урахуванням зовнішніх чинників. Сільське господарство України має свої особливості у кожному регіоні – починаючи з різних кліматичних зон, закінчуючи розташуванням до ланцюгів переробки, логістики та збуту. Тому було розроблено систему критеріїв, які будуть визначати доцільність використання очищених стічних вод як додаткового ресурсу.

Перший критерій. Забезпечення вологою потреб сільського господарства за умов зміни клімату з урахуванням кількості опадів, наявності водних ресурсів та основних сільськогосподарських

культур за регіонами України. які поділені на різні кліматичні зони – змішаний ліс, лісостеп і степ, але цей розподіл має загальносвітову тенденцію змін меж кліматичних поясів зі зміщенням до Півночі в наслідок змін клімату. За цим критерієм визначається співвідношення потреб вологи для сільсько-господарських культур та наявності вологи (середньорічний обсяг опадів, наявність прісних джерел води, що можуть використовуватися для іригації).

Другий критерій. Відповідність Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення на місцевому рівні до наявності очисних споруд та рівню очисти стічних вод, які визначають вимоги до складу та якості стічних вод, які підприємства або інші абоненти скидають у каналізаційну мережу певної адміністративної одиниці. Такі води можуть використовуватися у сільському господарстві за умов: здійснення контролю над шкідливими речовинами, такими як важкі метали, нафтопродукти, пестициди та інших токсичні речовин на етапі їх приймання; дотримання параметрів очищення та якості води за рахунок технологій очищення (біологічні, хімічні, механічні), та відповідності екологічним стандартам для вторинного використання, зокрема для технічних потреб або поливу; дотримання норм та стандартів санітарної безпеки – використання очищених стічних вод в іригації вимагає, щоб такі води не містили патогенних мікроорганізмів і мали низький вміст органічних речовин.

Третій критерій. Вибір культури, методів зрошення, управління водними ресурсами для збереження і підвищення врожайів, якості ґрунту та захисту навколишнього середовища. Для ефективного використання ОСВ у сільському господарстві необхідно використовувати культури, що найбільш толерантні до вмісту солей, що містяться у ОСВ, а також не сприяють накопиченню токсичних речовин у рослинах та ґрунтах. Метод зрошення, який буде обрано з використанням ОСВ залежить від: типу водопостачання, якості води, температурного режиму, типу та якості ґрунту, типу зрошувальних культур, вартості методу зрошення, наявності існуючої системи зрошення. Управління водними ресурсами. Очищення стічних вод дає середній рівень солоності 200-500 мг/л, але застарілі очисні споруди, посухи, високі температури можуть давати рівень 2000 мг/л.

Четвертий критерій. Складові економічної ефективності. Баланс між економічними показниками вартості на водопостачання ОСВ та збереженням урожайності, якості ґрунтів. Вартість води для зрошення складається з декількох складових та залежить від регіону й особливостей постачання. Використання очищених стічних вод, як альтернативного джерела для зрошення дозволяє скоротити витрати на закупівлю або видобуток прісної води, особливо в регіонах з обмеженими водними ресурсами, де водопостачання може бути дорогим або нестабільним. Стічні води містять значну кількість поживних елементів, таких як азот, фосфор та калій, що дозволяє скоротити використання мінеральних добрив. Це знижує витрати на добрива приблизно

на 20–30%, що може мати істотний вплив на рентабельність виробництва продукції. У деяких випадках очищені стічні води містять до 20–50 мг/л азоту та 5–10 мг/л фосфору.

Використання ОСВ для зрошення забезпечує стабільність поливу навіть у посушливих періодах, що підвищує врожайність, особливо у зонах із дефіцитом водних ресурсів, а поживні речовини у стічних водах сприяють росту рослин та зменшують потребу у мінеральних добривах. В регіонах із напівпосушливим кліматом, таких як південь України, застосування ОСВ може забезпечити стійкі врожаї в умовах недостатньої кількості прісної води. І це особливо важливо внаслідок руйнування меліоративних систем півдня України під час воєнних дій.

П'ятий критерій. Вплив на соціальну складову розвиток сільських громад.

Зміни клімату викликають зміни в усіх сферах життя. Кліматична міграція – це новий тренд, який набирає обертів у зв'язку із втратою робочих місць через несприятливі природні умови життя та змінами у ринках праці. Використання ОСВ сільськими громадами, у регіонах, де нестача водних ресурсів стоїть особливо гостро, може зупинити ці процеси. Використання ОСВ може забезпечити громаду альтернативним безперервним джерелом води, який можна використовувати не тільки для потреб у сільському господарстві, але у комунальній сфері, промисловості, лісовому господарстві, для відновлення пересихаючих річок і т.д.

Таким чином використання стічних вод для поливу дозволяє зменшити конкуренцію за прісні ресурси між сільським господарством, промисловістю та населенням, знижуючи соціальну напругу. Зменшується екологічний тиск на природні водойми, запобігається ризик забруднення, що цілком відповідає принципам циркулярної економіки: ресурси використовуються повторно, зменшується кількість відходів і забруднень, зменшуються ризики виникнення та розвитку інфекцій особливо в посушливі періоди. Використання очищених стічних вод сприяє формуванню екологічної культури, підвищує усвідомлення важливості раціонального використання води та природних ресурсів.

Висновки. Повторне використання очищених стічних вод (ОСВ) у сільському господарстві – це ефективний інструмент адаптації до кліматичних змін, подолання водного дефіциту та підвищення стійкості агровиробництва, що підтверджено практикою країн ЄС, зокрема Іспанії та Кіпру.

Європейський підхід до повторного використання ОСВ базується на чітких законодавчих нормах (Регламент (ЄС) 2020/741), стандартах якості, системах оцінки ризиків і державній підтримці фермерів. Це забезпечує безпечне, контрольоване та економічно вигідне застосування стічних вод в агросекторі.

Використання ОСВ в Україні має значний потенціал, особливо у південних і східних регіонах, які страждають від хронічного дефіциту води та руйнування меліоративних систем. Для ефективного впровадження необхідно адаптувати європейські норми до національного контексту.

Запропонована система критеріїв дозволяє всебічно оцінювати придатність регіонів і господарств до впровадження повторного використання води, з урахуванням кліматичних, технічних, економічних та соціальних чинників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Грановська Л. М., Прудська А. О. Використання стічних вод – важливий фактор в системі раціонального природокористування. *Таврійський науковий вісник*. 2009. Вип. 21. С. 134-139.
2. Мірошниченко В. В. Водозабезпеченість населення України: рівень, проблеми та напрями їх розв'язання. *Наукові записки НаУКМА. Економічні науки*. 2021. Том 6. Вип. 1. С. 99-104.
3. Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications / Asano T., Burton F. L., Leverenz H. L., Tsuchihashi R., Tchobanoglous G. *McGraw-Hill*. 2007. 1570 p.
4. Тодосійчук А. М., Кузьменко М. І. Використання стічних вод у сільському господарстві. Харків: Агро-Світ, 2016. 198 с.
5. Wastewater use in agriculture: review of impacts and methodological issues in valuing impacts. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. URL: <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/tools/tool-detail/en/c/326049/> (дата звернення 28.05.2025).
6. Toze S. Reuse of effluent water—benefits and risks. *Agricultural Water Management*. 2006. Vol. 80(1–3). P. 147–159.
7. Коваль С. М. Екологічні аспекти використання очищених стічних вод у землеробстві. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 4. С. 25–30.
8. Іщенко В. М., Дьяков І. Г. Раціональне використання стічних вод у зрошенні агроєкосистем. *Екологічна безпека*. 2022. № 2 (30). С. 12–17.
9. Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741> (дата звернення 02.06.2025).
10. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. URL: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/directive-2000-60-ec-of> (дата звернення 02.06.2025).
11. Directive 91/271/EEC concerning urban waste water treatment. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj/eng> (дата звернення 02.06.2025).
12. Eurostat. Reclaimed water statistics in the EU. European Commission, 2023. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/water-savings-for-a-water-resilient-europe> (дата звернення 04.06.2025).
13. Wastewater reuse in agriculture in Southern Europe: Country studies. Rome: FAO, 2021. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/24/11277> (дата звернення 04.06.2025).
14. Guidance on Risk Management in the Reuse of Water. *European Commission*. 2024. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-reuse_en

environment.ec.europa.eu/topics/water/water-reuse_en (дата звернення 04.06.2025).

REFERENCES:

1. Hranovska, L.M., & Prudska, A.O. (2009). Vykorystannia stichnykh vod – vazhlyvyi faktor v systemi ratsionalnogo pryrodokorystuvannia [Wastewater use is an important factor in the system of rational environmental management]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*, 21, 134-139 [in Ukrainian].
2. Miroshnychenko, V.V. (2021). Vodozabezpechenist naselennia Ukrainy: riven, problemy ta napriamy ikh rozv'azannia [Water supply of the population of Ukraine: level, problems and directions of their solution]. *Naukovi zapysky NaUKMA. Ekonomichni nauky*, 6, 1, 99-104[in Ukrainian].
3. Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications. *McGraw-Hill*, 1570 p.
4. Todosiichuk, A.M., & Kuzmenko, M.I. (2016). *Vykorystannia stichnykh vod u sil'skomu hospodarstvi [Use of wastewater in agriculture]*. Kharkiv: AhroSvit, 198 c.
5. Wastewater use in agriculture: review of impacts and methodological issues in valuing impacts. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. URL: <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/tools/tool-detail/en/c/326049/>
6. Toze, S. (2006). Reuse of effluent water – benefits and risks. *Agricultural Water Management*, Vol. 80(1–3), P. 147–159.
7. Koval, S.M. (2021). Ekologichni aspekty vykorystannia ochyshchenykh stichnykh vod u zemlerobstvi [Ecological aspects of the use of treated wastewater in agriculture]. *Visnyk ahramoi nauky*, 4, 25–30.
8. Ishchenko, V.M., & Diakov, I.H. (2022). Ratsionalne vykorystannia stichnykh vod u zroshenni ahroekosystem [Rational use of wastewater in irrigation of agroecosystems]. *Ekologichna bezpeka*, 2 (30), 12–17.
9. Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. *Official Journal of the European Union*. 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741>
10. EC (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. URL: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/directive-2000-60-ec-of>
11. Directive 91/271/EEC concerning urban waste water treatment. 2014. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj/eng>
12. Eurostat. Reclaimed water statistics in the EU. European Commission, 2023. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/water-savings-for-a-water-resilient-europe>
13. Wastewater reuse in agriculture in Southern Europe: Country studies. Rome: FAO, 2021. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/24/11277>
14. Guidance on Risk Management in the Reuse of Water. European Commission, 2024. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-reuse_en

Пілярська О.О., Шабля О.С., Петрів Л.М., Жеребчук С.В., Полаченко О.С. Використання очищених стічних вод для зрошення сільсько-господарських культур

Мета. Проаналізувати європейський досвід регламентування та застосування очищених стічних вод (ОСВ) у сільському господарстві, а також розробити систему критеріїв для оцінки доцільності їх використання в умовах України, враховуючи регіональні особливості клімату. **Методи.** Для досягнення поставленої мети у процесі роботи використовували сучасні методи наукових досліджень: історичний, абстрактно-логічний, системного підходу, статистичний, монографічний, моделювання, комплексного аналізу, узагальнення. **Результати.** Здійснено аналіз європейського досвіду повторного використання очищених стічних вод (ОСВ) у сільському господарстві в контексті кліматичних змін та зростання дефіциту водних ресурсів. Розглянуто нормативно-правове забезпечення цієї сфери в Європейському Союзі, зокрема положення Регламенту (ЄС) 2020/741 щодо мінімальних вимог до повторного використання води, а також Рамкової водної директиви та Директиви 91/271/ЄЕС. Проаналізовано практичний досвід Іспанії та Кіпру щодо впровадження систем повторного використання води для аграрного зрошення. Визначено актуальність застосування зазначеного досвіду в Україні. Запропоновано систему з п'яти критеріїв, що дозволяють оцінити доцільність використання ОСВ у сільському господарстві України, з урахуванням кліматичних, технічних, агрономічних, економічних та соціальних чинників. Обґрунтовано потенціал впровадження повторного використання стічних вод як інструменту адаптації аграрного сектору до змін клімату та забезпечення сталого управління водними ресурсами. **Висновки.** Повторне використання очищених стічних вод (ОСВ) в сільському господарстві є ефективним інструментом адаптації до кліматичних змін, зменшення водного дефіциту та підвищення сталості аграрного виробництва, що доведено на прикладі країн ЄС, таких як Іспанія та Кіпр. В Україні використання ОСВ має високий потенціал, особливо в південних та східних регіонах із хронічним дефіцитом водних ресурсів і зруйнованою зрошувальною інфраструктурою. Для ефективного впровадження необхідна адаптація європейських норм до українських умов. Розроблена система критеріїв доцільності використання ОСВ дозволяє комплексно оцінювати придатність

регіонів і конкретних господарств до повторного використання води.

Ключові слова: сільське господарство, очищені стічні води, зрошення, сталий розвиток, зміни клімату.

Piliarska O.O., Shablia O.S., Petriv L.M., Zhrebchuk S.V., Polahenko O.S. The Use of Treated Wastewater for Irrigation of Agricultural Crops

Purpose. This article aims to analyze the European experience in regulating and utilizing treated wastewater (TWW) in agriculture, and to develop a system of criteria for assessing the feasibility of its use in Ukraine, taking into account regional climatic characteristics. **Methods.** To achieve this goal, modern scientific research methods were employed, including historical, abstract-logical, systems approach, statistical, monographic, modeling, comprehensive analysis, and generalization. **Results.** The article provides an analysis of the European experience in the reuse of treated wastewater (TWW) in agriculture in the context of climate change and increasing water scarcity. It reviews the regulatory framework in the European Union, particularly the provisions of Regulation (EU) 2020/741 on minimum requirements for water reuse, as well as the Water Framework Directive and Directive 91/271/EEC. The practical experience of Spain and Cyprus in implementing water reuse systems for agricultural irrigation is examined. The relevance of applying this experience in Ukraine is emphasized. A system of five criteria is proposed to assess the feasibility of using TWW in Ukrainian agriculture, considering climatic, technical, agronomic, economic, and social factors. The potential of treated wastewater reuse is substantiated as a tool for adapting the agricultural sector to climate change and ensuring sustainable water resource management. **Conclusions.** The reuse of treated wastewater (TWW) in agriculture is an effective tool for climate change adaptation, reducing water scarcity, and enhancing the sustainability of agricultural production, as demonstrated by EU countries such as Spain and Cyprus. In Ukraine, TWW use holds significant potential, especially in southern and eastern regions facing chronic water shortages and damaged irrigation infrastructure. For effective implementation, European standards must be adapted to Ukrainian conditions. The proposed system of feasibility criteria allows for a comprehensive assessment of the suitability of regions and individual farms for water reuse.

Key words: agriculture, treated wastewater, irrigation, sustainable development, climate change.

БАЛАНСОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ У СІВОЗМІНАХ З ЛІСОСТЕПОВИМИ КУЛЬТУРАМИ У ЗАХІДНОМУ ПОЛІССІ ЗА ЗМІННИХ ГІДРО-ТЕРМІЧНИХ УМОВ

ТАРАРИКО Ю.О. – доктор сільськогосподарських наук,
академік Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0001-8475-240X
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук
України

ЗОСИМЧУК М.Д. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0002-7162-8300
Сарненська дослідна станція Інституту водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України

ПИСАРЕНКО П.В. – доктор сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0002-2104-2301
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук
України

САЙДАК Р.В. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0002-0213-0496
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук
України

БІДНИНА І.О. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0001-8351-2519
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук
України

КНИШ В.В. – науковий співробітник
orcid.org/0000-0002-3220-9883
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

СТЕПАНОВА М.М. – кандидат економічних наук
orcid.org/0009-0008-5650-9232
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

ПОЛАГЕНЬКО О.С. – науковий співробітник
orcid.org/0009-0002-4416-4835
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

ВДОВИЧЕНКО О.П. – аспірант
orcid.org/0009-0007-0557-0036
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук
України

Постановка проблеми. Ведення землеробства в умовах нестійкого зволоження та високої вірогідності екстремальних температурних режимів пов'язано з великою кількістю ризиків [1,2]. Крім того результативність аграрної виробничої діяльності визначається комплексною дією великої кількості чинників: забезпеченість поживними речовинами, фізико-хімічні, агрофізичні властивості ґрунту, розвиток шкочинних організмів [3,4]. Ступінь впливу цих факторів також у значній мірі залежить від поточних гідротермічних умов [5-7]. За значного дефіциту вологи знижується доступність біогенних елементів, внесені мінеральні добрива та застосовані пестициди можуть мати зворотній ефект, зростає щільність ґрунту, змінюється кислотність ґрунтового розчину, поширюються специфічні інфекції і шкідники. Все це стосується не тільки лісостепової і степової частини сільськогосподар-

ських територій, але й у минулому перезволожених земель Полісся [8,9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині у поліських регіонах температурний режим і, відповідно, умови зволоження кардинально змінилися у бік зростання сприятливості для вирощування лісостепових культур [10,11]. При тому важливо, що ґрунтовий покрив розподіляється між мінеральними і органогенними відмінами, що за сприятливостю для вирощування окремих культур за різними показниками стосовно змінних гідротермічних умов є своєрідними. Торфові ґрунти відрізняються кращою водоутримуючою здатністю і відносно високими запасами доступних для рослин сполук азоту. Дерново-підзолисті ґрунти бідні на поживні речовини і під час літньої спеки не здатні забезпечити посіви вологою навіть на меліорованих землях [12-14]. За розширення площ притаманних

для більш південних територій культур важливого значення набуває розуміння процесів росту і розвитку культурних рослин у цих умовах. Дослідження останніх років свідчать, що такі культури як соняшник, соя, сорго та кукурудза на зерно дають змогу навіть на варіантах без добрив досягати високого рівня їх продуктивності [15, 16]. Враховуючи невисоку забезпеченість ґрунтів елементами живлення встає питання про оцінку балансу макро- та мікро- елементів [17]. Очевидно, накопичення значної надземної біомаси в таких умовах відбувається за рахунок глибини проникнення кореневої системи, що потребує поглиблення знань щодо розвитку кореневої системи різних рослин у цих умовах [18]. В даній роботі представлено результати спостережень за динамікою наростання надземної маси ряду культур стосовно запасів вологи в органо-генному і мінеральному ґрунтах Західного Полісся. Адже загальна площа меліорованих земель на півночі України становить 3,2 млн га [19], що в умовах опустелювання південних регіонів є актуальним.

Мета – провести балансові дослідження у сівозмінах з лісостеповими культурами на органо-генних і мінеральних ґрунтах Західного Полісся за органічних, мінеральних та органо-мінеральних систем удобрення.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводилися на осушуваних торфових та дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах у 2021-2024 рр. в межах Сарненської дослідної станції Інституту водних проблем і меліорації (м. Сарни). Торфовий ґрунт має середню забезпеченість доступними для рослин сполуками азоту, високу – рухомим фосфором, дуже низьку обмінним калієм, рН – 4,0-4,2. Дерново-слабо підзолистий ґрунт містить 1,1-2,0% гумусу, його щільність становить 1,56 г/см³, уміст азоту є дуже низьким, забезпеченість рухомим фосфором висока, кількість обмінного калію – низька, рН – 4,4-4,6.

Сівозміна: 1 – озимі зернові (на дерново-підзолистому ґрунті пшениця, на торфовому – тритикале; 2 – соя; 3. кукурудза; 4. соняшник. Висівали середньостиглі сорти озимих пшениці та тритикале, ранньостиглий сорт сої, ранньостиглий гібрид соняшнику, середньоранній гібрид кукурудзи на зерно.

Порівнювали наступні системи удобрення:

1. Контроль – без добрив;
2. Органічна – побічна продукція усіх культур на добриво на торфовому ґрунті 6 т/га, на дерново-підзолистому ґрунті – 9 т/га сівозміни;
3. Мінеральна – $N_{35}P_{60}K_{102}$ на торфовому ґрунті, $N_{72}P_{72}K_{72}$ на дерново-підзолистому ґрунті;
4. Органо-мінеральна – 9 т/га побічної продукції разом з $N_{35}P_{60}K_{102}$ на торфовому ґрунті, 10 т/га побічної продукції разом з $N_{72}P_{72}K_{72}$ на дерново-підзолистому ґрунті.

Середні по сівозміні обсяги надходження органічної біомаси у ґрунт визначали за фактично встановленим по культурах співвідношенням основної і побічної продукції. Для оцінки особливостей погодних умов використовувались дані метеопостей Сарненської дослідної станції. Балансові розрахунки здійснювали за Нормативи ґрунтозахисних

контурно-меліоративних систем землеробства, 1998 [17].

Результати дослідження. У цілому за період 2007-2024 відзначається тенденція до скорочення кількості опадів і підвищення температурного режиму на протязі вегетаційного періоду. У середньому, найменша кількість опадів випадає на початку (IV) та в кінці вегетаційного періоду (X). При наближенні до середини (VII) їх кількість зростає, сягаючи максимуму в липні. В цілому за вегетаційний період кількість опадів коливалась від 201 до 472 мм при середньому значенні 330 мм, що на 17,7% менше стандартної кліматичної норми.

Якщо вегетаційний період триває з квітня по листопад, то найтеплішим у середньому за 2007-2024 рр. є липень – 20,3°C з коливанням від 18,4-22,7°C, найпрохолоднішим є жовтень – 7,9°C з коливанням 4,7-11,5°C. За 18 років найтеплішим був 2024 р. (16,5°C), найпрохолоднішим – 2021 р. (14,2°C) з середнім значенням 14,8°C.

За показником гідротермічного коефіцієнту (ГТК) зволоження вегетаційних періодів 2007-2009, 2013 і 2014 років були слабо посушливими, 2011 року – посушливими, а 2015-2018 і 2021 – дуже посушливими, лише 2010, 2012, 2019 та 2020 роки були вологими (рис.).

За роки ведення дослідів (2021-2024 рр.) відхилення від середньо багаторічної норми суми опадів за IV-IX місяці коливалось у межах мінус 90-170 мм, відхилення від середньо багаторічної норми середньої за вегетацію температури повітря у межах 0,6-3,2 °C. Це підтверджує підвищення актуальності організації активного регулювання водно-повітряного режиму ґрунту в умовах Західного Полісся за останні роки.

У даному випадку основним прийомом управління водним режимом є своєчасне відкриття і закриття щитів підпірних гідротехнічних споруд (шлюзів). Після проходження весняної повені, при зниженні рівнів ґрунтових вод до глибини, яка забезпечує нормальну роботу сільськогосподарської техніки, щити закриваються. На осушуваних ґрунтах найменш допустимі рівні ґрунтових вод (РГВ) на початку вегетації становлять 0,75 м та у кінці вегетації 1,2 м від поверхні ґрунту. В усі роки досліджень (2021-2024 рр.) РГВ підтримувався на прийнятному рівні. Навіть за істотного коливання кількості опадів на протязі періодів вегетації таке положення забезпечувало відносно рівномірну врожайність вирощуваних культур на відповідних фонах удобрення. Лише в окремі роки, на культурах і ґрунтах по різному, відзначаються помітні відхилення, що очевидно зумовлено дією інших чинників, зокрема формуванням специфічного режиму живлення (табл. 1).

Як видно з таблиці, що навіть на варіанті дослідів без добрив (контроль) врожайність пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті становить до 3,0 т/га, тритикале на торфовому ґрунті – на рівні 2,0 т/га, сої відповідно до 3,3 та 1,7 т/га, соняшнику по роках – 2,1-2,9 та 1,7-1,8 т/га, кукурудзи – 4,8-13,9 та 2,9-5,2 т/га.

Мінеральні та органо-генні ґрунти відрізняються строкатістю показників родючості, зокрема забез-

Таблиця 1 – Врожайність культур сівозмін по роках за регулювання умов зволоження та різних систем удобрення, т/га

Системи удобрення	Дерново-підзолистий ґрунт					Торфовий ґрунт				
	2021	2022	2023	2024	Середнє	2021	2022	2023	2024	Середнє
<i>Зернові колосові</i>										
Контроль (№ 1)	3,0	2,8	2,6	2,8	2,8	2,3	1,9	1,7	2,0	2,0
Органічна (№ 2)	3,6	3,5	3,2	3,6	3,5	3,3	2,5	2,2	2,6	2,6
Мінеральна (№ 3)	4,4	4,2	3,8	4,2	4,1	3,3	3,3	3,0	3,5	3,3
Органо-Мінеральна (№ 4)	4,9	5,0	4,5	5,1	4,9	3,9	4,0	3,6	4,2	3,9
<i>Соя</i>										
Контроль (№ 1)	3,3	3,1	2,3	1,8	2,6	1,6	1,6	1,7	1,4	1,5
Органічна (№ 2)	4,0	3,8	2,8	2,2	3,2	2,2	2,0	2,2	1,7	2,0
Мінеральна (№ 3)	4,2	4,1	3,3	2,6	3,5	2,3	2,2	2,4	2,1	2,2
Органо-Мінеральна (№ 4)	4,6	4,7	3,8	3,0	4,0	2,7	2,6	2,8	2,5	2,6
<i>Соняшник</i>										
Контроль (№ 1)	2,1	2,9	2,2	2,3	2,4	1,7	1,8	1,7	1,8	1,7
Органічна (№ 2)	2,5	3,4	2,5	2,7	2,8	2,0	2,1	1,9	2,3	2,1
Мінеральна (№ 3)	3,1	3,7	2,8	2,9	3,1	2,5	2,6	2,4	2,4	2,5
Органо-Мінеральна (№ 4)	3,7	4,8	3,6	3,6	3,9	2,7	2,8	2,6	3,2	2,8
<i>Кукурудза</i>										
Контроль (№ 1)	13,5	9,9	9,3	7,8	10,1	3,7	2,9	4,3	5,2	4,0
Органічна (№ 2)	14,6	11,9	11,6	9,4	11,9	4,9	4,4	6,5	8,0	5,9
Мінеральна (№ 3)	15,1	12,2	11,9	11,7	12,7	7,5	6,7	10,1	12,4	9,2
Органо-Мінеральна (№ 4)	16,0	12,8	12,9	12,7	13,6	8,5	7,7	11,8	13,8	10,5

печеності доступними для рослин сполуками азоту, фосфору і калію. Але в даному випадку ці ґрунти характеризується відповідно низьким та середнім вмістом легкогідролізованого азоту, високим – доступного фосфору та низьким – обмінного калію. З урахуванням щільності дерново-підзолистого ґрунту ($1,56 \text{ г/см}^3$) запаси цих елементів у 10 см шарі становлять 160, 470 і 125 кг/га. За щільності торфового ґрунту $0,26 \text{ г/см}^3$ ці показники складатимуть 50, 80 і 30 кг/га.

За усередненими чисельними результатами досліджень коефіцієнт використання посівами із запасів доступних форм азоту приймається на рівні 25%, фосфору – 10% та калію – 15%. Тобто рослинною біомасою може бути винесено з 10 см шару мінерального ґрунту азоту до 40 кг/га, фосфору – до 50 кг і калію – до 20 кг/га. На менш щільному органічному ґрунті кількість засвоєваних елементів живлення буде відповідно значно нижчою (табл. 2).

Данні таблиці свідчать про достатньо високу врожайність культур сівозміни навіть на фоні без добрив. Щоб спів ставити наявні засвоєвані запаси поживних речовин з виносом врожаю потрібно знати їх уміст в одиниці продукції. В даному випадку використовувалися узагальнені результати досліджень з різних джерел інформації. Крім того потрібно враховувати виніс з малоцінною частиною врожаю. Для цього в процесі його обліку визначалося співвідношення основної і побічної продукції.

Встановлено, що на дерново-підзолистому ґрунті на озимій пшениці досліджувані системи удобрення на цей показник не впливали, та на усіх

варіантах досліду на 1 кг зерна приходить 1,1 кг соломи. За органо-мінеральної системи удобрення на сої це співвідношення зменшується до контролю з 1,9 до 1,7, на соняшнику – з 2,5 до 1,8, на кукурудзі – з 1,5 до 1,3. У порівнянні з мінеральним на торфовому ґрунті даний показник виявився значно ширшим на всіх культурах сівозміни, що очевидно пов'язано з кращою його забезпеченістю доступними сполуками азоту. При чому з підвищенням фону удобрення (органо-мінеральна система) співвідношення основної і побічної продукції також скорочується до контролю: на тритикалі – з 2 до 1,7, на соняшнику – з 3,4 до 2,9, на кукурудзі – з 1,9 до 1,6. На сої відзначається зворотна тенденція – з покращенням рівня живлення це співвідношення розширюється (табл. 3).

Для розуміння значення добрив за впливом на виніс біогенних елементів з ґрунту окремими культурами та у середньому по сівозміні у таблиці наводяться конкретні показники по варіантах досліду. Так, урожай озимої пшениці на дерново-підзолистому ґрунті виносить із зерном і соломою на фоні без добрив 74 кг/га азоту, за зорювання всієї побічної продукції сівозміни – 88 кг/га або на 16% більше, за мінеральної системи удобрення – 109 кг/га або на 32% більше до контролю, за поєднання NPK з соломою – 127 кг/га або на 42% більше до контролю. На торфовому ґрунті на контролі виніс азоту тритикалі становив 55 кг/га із збільшенням по варіантах удобрення відповідно 24, 38 і 48%. Тобто, на органічному ґрунті ефект від добрив був дещо вищим відносно мінерального. Виніс фосфору і калію на

Таблиця 2 – Потенціал використання елементів живлення з 10 см шару ґрунту

Елемент	Вміст*, мг/кг	Щільність, г/см³	Запаси у 10 см шарі, кг/га	Використання, %	Засвоєння з 10 см шару, кг/га
<i>Дерново-підзолистий ґрунт</i>					
N	100	1,56	156	25	39
P	300	1,56	468	10	47
K	80	1,56	125	15	19
<i>Торфовий ґрунт</i>					
N	200	0,26	52	25	13
P	300	0,26	78	10	8
K	120	0,26	31	15	5

Таблиця 3 – Співвідношення основної і побічної продукції

Варіанти	Озимі зернові	Соя	Соняшник	Кукурудза
<i>Дерново-підзолистий ґрунт</i>				
Контроль (№ 1)	1,1	1,9	2,5	1,5
Органічна (№ 2)	1,1	1,8	2,3	1,4
Мінеральна (№ 3)	1,1	1,8	2,3	1,4
Органо-мінеральна (№ 4)	1,1	1,7	1,8	1,3
<i>Торфовий ґрунт</i>				
Контроль (№ 1)	2,0	2,2	3,4	1,9
Органічна (№ 2)	1,9	2,2	3,4	1,8
Мінеральна (№ 3)	1,7	2,4	2,7	1,8
Органо-мінеральна (№ 4)	1,7	2,3	2,9	1,6

дерново-підзолистому і торфовому ґрунтах відповідно на контролі по озимих становив 22 і 44 та 23 і 50 кг/га із зростанням по варіантах удобрення у тій же пропорції, що і по азоту (табл. 4).

Вміст елементів живлення в одиниці основної і побічної продукції кукурудзи є такого ж рівня, що і озимих зернових. Однак, за рахунок значно більшої врожайності цієї культури виніс загальною надземною біомасою азоту по варіантах дослідів на мінеральному ґрунті переважав озимі у 2,7-3,7 рази, на органогенному – у 1,9-2,5 рази, фосфору відповідно 2,8-3,8 та 1,6-2,5 та калію Навпаки, за рахунок значно більш високого вмісту елементів живлення в одиниці маси зерна і соломи соя за їх виносом також значно переважає колосові та по азоту і калію наближається до кукурудзи з істотно вищим виносом по фосфору. Соняшник відрізняється тим, що виносить з ґрунту значно більше за інші культури калію, особливо з побічною продукцією.

Зрозуміло, що за органо-мінеральної системи удобрення по усіх культурах сівозміни складається найбільш сприятливий поживний режим та відчуження азоту сягає по ґрунтах на озимих зернових 130 та 105 кг/га, на сої – 340 та 210 кг/га, на соняшнику – 170 та 140 кг/га, на кукурудзі – 250 та 190 кг/га. По фосфору ці показники відповідно становлять 44 та 44 кг/га, 175 і 122 кг/га, 114 і 96 кг/га, 110 і 87 кг/га; по калію: 76 і 96 кг/га, 185 і 130 кг/га, 422 і 388 кг/га, 335 і 278 кг/га

На дерново-підзолистому ґрунті середній по культурах виніс азоту на контролі становить 168 кг/га, фосфору – 73 кг/га і калію – 169 кг/га, на торфовому відповідно 93, 48 і 121 кг/га. Середнє

зростання до варіанту без добрив на мінеральному ґрунті по системах удобрення становить по елементах 14, 25 і 35%, на органогенному – 21, 38 і 46%. Тобто відносно варіанту без добрив зростання урожайності і виніс біогенних елементів в першому випадку значно нижче ніж у другому, що свідчить про вищу відносну ефективність досліджуваних систем удобрення на торфовому ґрунті.

У цілому слід відзначити, що детальна оцінка обсягів відчуження біогенних елементів урожаєм перспективних для гумідної зони лісостепових культур дає змогу обґрунтувати ефективні системи удобрення для сівозмін на органогенних і мінеральних ґрунтах регіону. Це пов'язано з тим, що дана стаття витрат елементів живлення є найбільш вагомою в їх балансі, що також включає процеси денітрифікації та інфільтрації. Застосування мінеральних і органічних добрив дає змогу не тільки поліпшити умови живлення рослин, але й активізувати використання ґрунтових запасів поживних речовин, що супроводжується збільшенням продуктивності посівів та знову ж таки збільшенням обсягів їх відчуження. Тобто система удобрення повинна бути динамічною і параметри цієї динаміки визначаються на основі балансових досліджень з урахуванням змін поживного режиму ґрунту у часі.

Для формування ефективної системи удобрення важливе значення має природна забезпеченість ґрунту поживними речовинами. Співставлення фактичних обсягів їх виносу на фоні без добрив із запасами у ґрунті з урахуванням коефіцієнтів використання рослинами з доступних сполук можна у першому наближенні встановити глибину проник-

Таблиця 4 – Виніс урожаєм основної і побічної продукції елементів живлення, кг/га

Елементи	Варіанти	Озимі зернові		Соя		Соняшник		Кукурудза		Середнє	
Дерново-підзолистий ґрунт											
Азот	№ 1	74	± до № 1	217	± до № 1	104	± до № 1	272	± до № 1	168	± до № 1
	№ 2	88	14	259	42	120	16	312	40	196	28
	№ 3	109	35	298	81	136	32	325	53	220	52
	№ 4	127	53	340	123	173	69	348	76	249	81
Фосфор	№ 1	25	± до № 1	112	± до № 1	68	± до № 1	96	± до № 1	73	± до № 1
	№ 2	30	5	133	21	79	11	110	14	85	12
	№ 3	38	13	153	41	90	35	115	19	96	23
	№ 4	44	19	175	63	114	173	123	27	110	37
Калій	№ 1	44	± до № 1	118	± до № 1	252	± до № 1	263	± до № 1	181	± до № 1
	№ 2	52	8	140	22	291	39	301	38	212	31
	№ 3	65	13	162	44	332	80	314	51	237	56
	№ 4	76	11	185	67	422	170	335	72	273	92
Торфовий ґрунт											
Азот	№ 1	55	± до № 1	127	± до № 1	87	± до № 1	101	± до № 1	101	± до № 1
	№ 2	72	17	156	29	99	12	141	40	127	26
	№ 3	88	33	180	53	125	38	224	123	163	62
	№ 4	105	50	210	83	137	50	259	158	188	87
Фосфор	№ 1	23	± до № 1	74	± до № 1	61	± до № 1	35	± до № 1	49	± до № 1
	№ 2	30	7	91	17	69	8	49	14	60	11
	№ 3	37	14	105	31	88	27	78	43	76	27
	№ 4	44	21	122	48	96	35	90	55	87	38
Калій	№ 1	50	± до № 1	79	± до № 1	246	± до № 1	109	± до № 1	133	± до № 1
	№ 2	66	16	97	18	280	34	151	42	164	31
	№ 3	81	31	111	32	354	108	241	132	211	78
	№ 4	96	46	130	51	388	142	278	169	240	107

нення кореневої системи по ґрунтовому профілю. Зрозуміло, що вміст елементів живлення вниз по профілю змінюється, але для експертної оцінки умовно приймалося, що їх кількість розподіляється по товщині ґрунту рівномірно.

Наприклад, якщо у 0-10 см шарі дерново-підзолистого ґрунту міститься 40 кг/га гідролізованого азоту, 50 кг/га рухомого фосфору і 20 кг/га обмінного калію, а виніс основною і побічною продукцією озимої пшениці цих елементів порядку 75, 25 і 45 кг/га, то визначаючим глибину проникнення коріння культури буде калій – 40 см (табл. 5). Для формування досягнутої врожайності за фактичними запасами цього елементу в 0-10 см шарі розвиток кореневої системи в глибину сої повинен сягати рівня 1 м, соняшнику і кукурудзи – більше 2 м.

Якщо з доступних сполук азоту, фосфору і калію рослини здатні засвоювати відповідно 25, 10 й 15%, то з 0-10 см шару торфового ґрунту буде поглинається 13, 8 й 5 кг/га. Виніс цих елементів урожаєм основної і побічної продукції тритикале на контролі

становить 55, 25 й 50 кг/га. Отже потужність кореневмісного шару ґрунту буде визначатися запасами доступних сполук азоту. На сої глибина розповсюдження кореневої системи залежатиме від вмісту азоту і фосфору, на соняшнику – від калію, на кукурудзі – від азоту.

На удобрених варіантах співставлення додаткового до контролю виносу урожаєм поживних речовин з їх надходженням в ґрунт дає змогу встановити коефіцієнти використання посівами біогенних елементів з добрив. Так, на дерново-підзолистому ґрунті з побічної продукції культур сівозміни на добриво засвоюється азоту 64%, фосфору – 36% і калію – 18%, з мінеральних добрив відповідно 76, 31 і 61%, за орґано-мінеральної системи удобрення – 66, 30 і 29% (табл. 6).

На торфовому ґрунті з соломи і стебел на добриво використовується майже весь азот, 46% фосфору і 30% калію. На фоні мінеральних добрив додатковий до контролю виніс азоту урожаєм перевищує його надходження у 2 рази, за орґано-міне-

Таблиця 5 – Шар ґрунту, запасів елементів живлення в якому вистачає для формування врожаю основної і побічної продукції на варіанті без добрив, см

Елементи	Озимі зернові	Соя	Соняшник	Кукурудза
<i>Дерново-підзолистий ґрунт</i>				
Азот	20	60	30	70
Фосфор	10	30	20	20
Калій	40	100	220	220
<i>Торфовий ґрунт</i>				
Азот	40	100	70	80
Фосфор	30	100	80	50
Калій	30	50	140	60

Таблиця 6 – Коефіцієнти використання елементів живлення з добрив, %

Елементи	Варіанти	Виніс до контролю	Надходження			Засвоєння, %
			побічна	НРК	разом	
Дерново-підзолистий ґрунт						
Азот	№ 2	32	50	-	50	64
	№ 3	53	-	70	70	76
	№ 4	86	61	70	131	66
Фосфор	№ 2	13	37	-	37	36
	№ 3	22	-	70	70	31
	№ 4	35	47	70	117	30
Калій	№ 2	25	142	-	142	18
	№ 3	43	-	70	70	61
	№ 4	73	181	70	251	29
Торфовий ґрунт						
Азот	№ 2	33	36	-	36	92
	№ 3	72	-	35	35	205
	№ 4	97	54	35	89	109
Фосфор	№ 2	12	27	-	27	46
	№ 3	27	-	60	60	44
	№ 4	37	38	60	98	38
Калій	№ 2	29	96	-	96	30
	№ 3	69	-	100	100	69
	№ 4	91	156	100	256	35

ральної системи удобрення – в 1,1 рази. Таке положення свідчить про високі темпи мінералізації як свіжої органічної речовини, так і торфу, особливо за внесення мінеральних добрив. В результаті наявний рівень врожайності вирощуваних культур в значній мірі формується за рахунок ґрунтових запасів азоту.

Частка використання фосфору виявилася одного рівня на мінеральному ґрунті 30-36% та 38-46% на органогенному ґрунті по всіх варіантах удобрення, що також може вказувати на засвоєння рослинами ґрунтових запасів фосфатів за їх високої забезпеченості обох типів ґрунтів. Коефіцієнт використання калію з мінеральних добрив удвічі вищий від інших систем удобрення, що може свідчити про більш повільне вивільнення і надходження у рослини цього елементу з побічної продукції рослинництва на добриво за низької забезпеченості цих ґрунтів.

Основними джерелами надходження макро- і мікроелементів є: мінеральні та органічні добрива,

атмосферні опади, поливні води, насіння і посадковий матеріал, симбіотична фіксація азоту бобовими культурами, несимбіотична фіксація азоту в ґрунті.

Як вже відзначалося, головною статтею витрат є винос поживних речовин з урожаєм культур, втрати їх від вимивання, внаслідок ерозії та втрати азоту в газоподібній формі. З атмосферними опадами в різних зонах України надходить: азоту – 10-15 кг/га; надходження фосфору – в різні роки від 0,2 до 2,5 кг/га; калію – від 3 до 18 кг/га. За у середніми даними дослідів на кожному тону урожаю сухої речовини багаторічні бобові трави фіксують з повітря до 30 кг/га азоту, соя, люпин і кормові боби біля 20 кг/га, горох – 15 кг/га, бобово-злакові трави – 13 кг/га. Розміри несимбіотичної фіксації азоту складають 20-30 кг/га [20-22].

Втрати поживних речовин з ґрунту та добрив шляхом інфільтрації на чорноземах Лісостепу і Степу незначне, на мінеральних ґрунтах

Полісся – по 5% азоту, фосфору і калію від внесеної кількості. Величина газоподібних втрат азоту дорівнює в Поліссі – 20, в Лісостепу і Степу – 15% від кількості внесених добрив. Втрати біогенних елементів при ерозії визначаються добуток абсолютної величини твердого стоку і вмістом в його твердій фазі поживних елементів. В середньому за узагальненими даними на еродованих землях витрачається 20% азоту, 5% фосфору і 40% калію від внесених з добривами. Розрахунки балансу поживних речовин використовуються для характеристики конкретної системи землеробства при фактичних урожаях культур і дозах мінеральних добрив, а також застосовуються для встановлення їх оптимальних доз.

Ще академік Д.М. Прянишников, визначивши головним завданням агрономічної хімії дослідження кругообігу речовин в землеробстві, по суті вперше встановив екологічні нормативи для основних елементів живлення, дотримання яких забезпечує стабільне функціонування системи «ґрунт-рослина», отримання не менше 25 ц/га зерна та збереження родючості ґрунту. Він припускав негативний баланс азоту (мінус 13-14 кг/га) і калію (мінус 20-22 кг/га), але вважав що баланс фосфору повинен бути бездефіцитним, тобто коефіцієнт відшкодування вносу поживних елементів урожаєм сільськогосподарських культур за рахунок внесення добрив повинен становити 70-80 % для азоту і калію, та 100-110 % – для фосфору.

Але під впливом інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, росту врожайності сільськогосподарських культур та посилення деградаційних процесів агроландшафтних систем сформувалась інша агроекологічна обстановка, яка вимагає для своєї оцінки нових критеріїв та перегляду вище наведених нормативів.

Внаслідок узагальнення даних довготривалих стаціонарних дослідів з добривами доведено, що з метою виявлення глибини порушення балансової рівноваги в сівозмінах потрібно використовувати показники інтенсивності балансу, що обчислюються за формулою:

$$ІБ=Н/В*100,$$

де: ІБ – показник інтенсивності балансу речовини, %;

Н – надходження поживних речовин в ґрунт, кг/га;

В – їх втрати, кг/га.

Доведено, що екологічно безпечна величина ІБ складає 105-110%. Орієнтовно-оптимальні показники ІБ фосфору і калію, залежно від їх вмісту в ґрунті, подані в таблиці 7.

Вказані нормативи забезпечують високу продуктивність землеробства, розширене відтворення родючості ґрунтів, екологічну чистоту агроценозів і сільськогосподарської продукції.

На контролі без добрив у середньому урожай культур сівозміни на мінеральному ґрунті формується за рахунок надходження 10 кг/га з опадами, біофіксації 50-ти кг/га азоту та 110-ти кг/га його ґрунтових запасів, 70-ти кг/га ґрунтових фосфору і 140-ка кг/га калію. В результаті має місце дуже низький рівень інтенсивності балансу, що свідчить про швидкі темпи агрохімічного виснаження ґрунтового покриву. За дуже низької його забезпеченості азотом, високої – фосфором і низької калієм для підтримки досягнутої на контролі врожайності їх компенсуючи дози потрібно забезпечувати на рівні відповідно 130, 60 і 200 кг/га.

За рахунок нижчої врожайності культур і меншого виносу на органічному ґрунті інтенсивність балансу елементів живлення дещо вища. Для відновлення запасів азоту у середньому по сівозміні потрібно доносити 65 кг/га азоту, 30 кг/га фосфору і 140 кг/га калію мінеральних добрив. Вміст валового азоту у торфовому ґрунті у 30 см шарі становить 3,5% або за його щільності 0,3 г/см³ 32 т, фосфору – 1,4% або 13 т/га, калію – 0,11% або 1 т/га. Тобто без компенсації втрат цих елементів їх кількості може вистачити відповідно на 500, 400 і 7 років. Тобто за такого використання торфового ґрунту першим обмежуючим фактором у найближчій перспективі є його виснаження на калій.

На дерново-підзолистому ґрунті від застосування на добриво соломи і стебел зростає урожайність культур і втрати азоту на 35 кг/га, фосфору на 12 кг/га та калію на 33 кг/га при поверненні з органічною речовиною відповідно 50, 40 і 140 кг/га. Тобто для забезпечення їх бездефіцитного балансу додатково потрібно вносити 110, 30 і 130 кг/га цих елементів. На торфовому ґрунті ці показники становитимуть 60, 15 і 80 кг/га (табл. 8).

На мінеральному ґрунті на фоні застосування мінеральних добрив виніс азоту у порівнянні з контролем зростають на 70 кг/га, фосфору – на 20 кг/га і калію – на 50 кг/га. Фактично за внесення $N_{70}P_{20}K_{50}$ увесь синтетичний азот використовується на прибиравку врожаю з необхідністю додаткового

Таблиця 7 – Нормативи інтенсивності балансу фосфору і калію в залежності від їх вмісту в ґрунті

Рівень вмісту поживних речовин у ґрунті	Інтенсивність балансу, %	
	P_2O_5	K_2O
Дуже низький	280	150
Низький	250	130
Середній	200	110
Підвищений	150	90
Високий	100	70
Дуже високий	80	50

Таблиця 8 – Баланс елементів живлення та його інтенсивність за різних систем удобрення у 4-пільних сівозмінах

Варіанти	Елементи	Втрати				Надходження						Баланс	Інтенсивність балансу, %
		вініс урожаєм	денітріфікація	інфільтрація	разом	побічна продукція	азотфіксація		опади	мінеральні добрива	разом		
							асоціативна	симбіотична					
Дерново-підзолистий ґрунт													
№ 1	N	167	-	3	170	-	20	27	10	-	57	-113	34
	P	75	-	0	75	-	-	-	2	-	2	-73	3
	K	152	-	1	152	-	-	-	10	-	10	-142	7
№ 2	N	199	-	6	205	50	20	32	10	-	112	-93	55
	P	80	-	2	82	37	-	-	2	-	39	-43	47
	K	177	-	8	185	142	-	-	10	-	152	-33	82
№ 3	N	220	14	7	241	-	20	36	10	70	136	-105	56
	P	89	-	4	92	-	-	-	2	70	72	-20	78
	K	195	-	4	199	-	-	-	10	70	80	-119	40
№ 4	N	253	14	10	277	61	20	40	10	70	201	-76	73
	P	102	-	5	107	37	-	-	2	70	109	2	102
	K	225	-	13	238	181	-	-	10	70	261	22	109
Торфовий ґрунт													
№ 1	N	99	-	2	102	-	20	18	10	-	48	-54	47
	P	41	-	0	41	-	-	-	2	-	2	-39	5
	K	97	-	1	97	-	-	-	10	-	10	-87	10
№ 2	N	132	-	4	136	36	20	21	10	-	87	-49	64
	P	53	-	1	55	27	-	-	2	-	29	-26	53
	K	126	-	6	132	104	-	-	10	-	114	-17	87
№ 3	N	171	7	5	182	-	20	26	10	35	91	-91	50
	P	68	-	3	71	-	-	-	2	60	62	-9	88
	K	166	-	6	171	-	-	-	10	100	110	-61	64
№ 4	N	196	7	7	210	54	20	29	10	35	149	-62	71
	P	78	-	5	83	38	-	-	2	60	100	17	120
	K	188	-	13	201	156	-	-	10	100	266	65	132

компенсуючого застосування 130 кг/га. При цьому формується близька до оптимальної інтенсивність балансу фосфору та гострий дефіцит у балансі калію для компенсації якого потрібно 220 кг/га, всього 300 кг/га. На органогенному ґрунті для відновлення запасів кількість мінеральних азоту і калію потрібно збільшити відповідно з 35 до 200 кг/га та з 100 до 260 кг/га.

На дерново-підзолистому ґрунті за органо-мінеральної системи удобрення для забезпечення інтенсивності балансу азоту 110% і калію 150% потрібно дозу збільшити з $N_{70}K_{70}$ до $N_{170}K_{100}$ при забезпеченні позитивного балансу фосфору. На торфовому ґрунті кількість азотних добрив необхідно збільшити з 35 до 80 кг/га, калійних – з 100 до 140 кг/га, дозу фосфорних змінювати непотрібно.

Таким чином, проведений балансовий аналіз свідчить про необхідність корегування досліджуваних систем удобрення. Це дасть змогу не тільки забезпечити відновлення агроекологічного стану

мінерального і органогенного ґрунтів, але й підвищити продуктивність вирощуваних культур. Однак, представлені варіанти систем удобрення можна розглядати як моделі виробничої діяльності. Наприклад, за рослинницької спеціалізації аграрного виробництва відчужувана з поля побічна продукція (варіанти № 1 і № 3) може бути використана як паливо, зокрема у вигляді пілет. Заорювання солом і стебел дає змогу скоротити підтримуючі дози мінеральних добрив та стабілізувати баланс органічного вуглецю у ґрунті (варіанти № 2 і № 4).

Для розуміння кількісного впливу досліджуваних систем удобрення сумарний за 10 років дефіцит елементів живлення представлено в грошах (умовних одиницях). Так за такий період часу на контролі без добрив буде винесено 1100 кг/га азоту, 700 кг/га фосфору і 1400 кг/га калію на загальну суму (у цінах на мінеральні добрива на 2024 рік) 3,4 тис. у.о./га, за органічної системи удобрення ця сума скоротиться до 1,9 тис. у.о./га, за мінеральної – до 2,5 тис. у.о./га,

за органо-мінеральної – до 0,7 тис. у.о./га. На органо-генному ґрунті ці відкладені затрати відповідно по варіантах систем удобрення становитимуть 1,9, 1,0, 1,7 та 0,7 (по азоту) тис. у.о./га.

В умовах воєнного стану та дефіциту енергоресурсів доступність мінеральних добрив скорочується. Однак якщо площа осушуваних земель складає 3,3 млн га, з яких у поліській зоні 0,8 млн га органо-генних ґрунтів та 2,5 млн га мінеральних, то відкладені затрати коштів навіть за органо-мінеральної системи удобрення становитимуть 2,3 млрд у.о., якщо буде реалізовано сценарій без застосування добрив то ця сума зростає до 6,3 млрд у.о.

Висновки. Встановлено, що зміна гідротермічних умов регіону досліджень характеризується підвищенням температури вегетаційного періоду із середнім значенням 14,8°C (2007–2024 рр.) та дефіцитом опадів (на 17,7% нижче норми), що підвищує агрокліматичну придатність регіону для вирощування лісостепових культур. Органо-мінеральна система удобрення демонструє максимальну продуктивність зернових культур (до 4,9 т/га на дерново-підзолистому та 3,9 т/га на торфовому ґрунті), кукурудзи (13,6 та 10,5 т/га відповідно), сої (4,0 і 2,6 т/га) та соняшнику (3,9 і 2,8 т/га), одночасно сприяючи оптимізації балансу поживних речовин у ґрунті. Виніс поживних елементів з урожаєм при органо-мінеральному удобренні становить: азоту – 249 кг/га на дерново-підзолистому та 188 кг/га на торфовому ґрунті; фосфору – 110 і 87 кг/га; калію – 273 і 240 кг/га відповідно, що обґрунтовує необхідність диференційованого компенсаційного внесення добрив. Встановлено, що збалансована циркуляція елементів живлення досягається за внесення добрив у дозах $N_{170}P_{70}K_{190}$ для дерново-підзолистого та $N_{80}P_{60}K_{140}$ для торфового ґрунту, що забезпечує екологічно безпечну інтенсивність балансу (до 110% по азоту та 150% по калію). Використання побічної продукції як органічного добрива знижує потребу в мінеральному удобренні: на мінеральному ґрунті засвоєння з решток становить до 64% N, 36% P, 18% K; на торфовому – до 92% N. Економічна оцінка систем удобрення свідчить, що сумарні умовні втрати за 10 років без внесення добрив можуть досягати 3,4 тис. у.о./га, тоді як застосування органо-мінеральної системи знижує їх до 0,7 тис. у.о./га, що підтверджує доцільність впровадження комбінованих систем удобрення. Результати балансових досліджень формують методологічну основу для розробки адаптивних моделей удобрення, запобігання агрохімічній деградації ґрунтів та оптимізації агровиробництва в умовах кліматичних змін гумідної зони України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гера О. М. Вплив сівозміни та структури вирощуваних культур на родючість осушуваних органо-генних ґрунтів Полісся. *Наукові основи адаптивного землеробства*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. з нагоди 100-річчя від дня народж. д-ра с.-г. наук, проф., акад. Федора Трохимовича Моргуна (м. Дніпро, 16–17 трав. 2024 р.). Дніпро, 2024. С. 31–32.

2. Криштофор Г. О. Вплив кліматичних змін на виробництво продукції садівництва в Україні. *Актуальні проблеми рослинництва в умовах змін клімату*: матеріали Міжнар. наук. інтернет-конф. молодих учених (м. Харків, 26–27 жовтня 2022 р.). Харків: Ін-т рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, 2022. С. 150–152.

3. Дослідження ефективності деструкторів мікробного походження за різних систем обробітку ґрунту / Болоховський В., Яковенко Д., Хоменко Т., Болоховська В., Бородай В. *Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, (м. Київ, 6–7 липня 2023 р.). Київ, 2023. С. 70–74.

4. Куценко О. М., Каламбет В. В. Основні тенденції вирощування соняшнику в Україні в 2021–2023 роках. *Актуальні напрямки та проблематика у технологіях вирощування продукції рослинництва*: матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Полтава, 25 квітня 2023 р.). Полтава: Полтавський держ. аграр. ун-т, 2023. С. 86–89.

5. A multi-model analysis of teleconnected crop yield variability in a range of cropping systems / Heino M., Guillaume J. H. A., Muller C. et al. *Copernicus gesellschaft MBH*. 2020. Volume 11. Issue 1. Pages 113–128. Published: FEB 11 DOI: 10.5194/esd-11-113-2020.

6. Synchronous crop failures and climate-forced production variability / Anderson W.B., Seager R., Baethgen W. et al. *Science advances*. 2019. Volume 5. Issue 7. DOI:10.1126/sciadv.aaw1976.

7. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation / Challinor A. J., Watson J., Lobell D. B. et al. *Nature climate change*. 2014. Volume 4. Issue 4. Pages 287–291 DOI:10.1038/NCLIMATE2153.

8. Меліоровані агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агресурсного потенціалу України (зони зрошення і осушення) / за ред. М.І. Ромашенка, Ю.О. Тараріко. Київ: Ніжин: Видавництво ПП Лисенко М.М., 2017. 696 с.

9. Меліорація та облаштування Українського Полісся: колективна монографія / за ред. Я.М. Гадзала, В.А. Сташука, А.М. Рокочинського. Херсон : Олді-Плюс, 2018. Т. 2. 854 с.

10. Українське Полісся як індикатор сучасних кліматичних змін / В. Є. Тимофєєв, С. В. Клок, А. О. Корнус, О. Г. Корнус, О. С. Данильченко. *Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку*: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, (м. Ніжин, 10–11 лютого 2022 року). Ніжин : НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 102–105.

11. Оцінка сучасного стану кліматичних умов, їх змін та вплив на загальний природно-меліоративний режим осушуваних земель зони Полісся України / А. М. Рокочинський, П. П. Волк, Н. В. Приходько, Н. І. Дерев'ягіна. *Вісник НУВГП*. Рівне : НУВГП, 2021. Вип. 1(93). С. 48–64.

12. Екологічний стан ґрунтів України / С. А. Балюк, В. В. Медведєв, М. М. Мірошніченко, Є. В. Скрильник, Д. О. Тимченко, А. І. Фатєєв, А. О. Христенко, Ю. Л. Цапко. *Український географічний журнал*. 2012. № 2. С. 38–42.

13. Ґрунти України: властивості, генезис, менеджмент родючості: навч. посіб. / В. І. Купчик, В. В. Іва-

ніна, Г. І. Нестеров, О. Л. Тонха ; за ред. В. І. Купчика. Київ: Кондор, 2010. 416 с.

14. Паньків З. П. Земельні ресурси: навчальний посібник. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. 272 с.

15. Особливості вирощування кукурудзи на зерно на осушуваних землях у зоні Західного Полісся України в умовах сучасних кліматичних змін / Y. Tarariko, M. Zosymchuk, M. Stetsiuk, O. Zosymchuk, O. Danylytskiy, Y. Soroka, O. Hulenکو. *Меліорація і водне господарство*. 2023. № 2. С. 83-96. <https://doi.org/10.31073/mivg202302-367>

16. Потенціал продуктивності органогенних і мінеральних ґрунтів Західного Полісся / Ю. Тараріко, М. Зосимчук, Г. Личук, В. Величко. *Вісник аграрної науки*. 2024. № 9 (858). С. 45-56. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201809-02>.

17. Нормативи ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства. Київ: 1998. 158 с.

18. Тимчук Н. Ф. Корінь. Фармацевтична енциклопедія / гол. ред. ради та автор передмови В. П. Черних ; Нац. фармац. ун-т України. 2-ге вид., переробл. і доповн. Київ: МОРІОН, 2010. 1632 с.

19. Концепція ефективного використання осушуваних земель гумідної зони України (наукові засади). Київ: ЦП «Компринт», 2015. 22 с.

20. Методика суцільного ґрунтового-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України. Київ: 1994. 162 с.

21. Venkataraman C. S. Non-symbiotic nitrogen fixation. *Rev. Soil. Res. India*, 12 Int. Congr. *Soil Sci.* New Delhi, 1982. P. 205–235.

22. Волкогон В. В. Мікробіологічні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур. Київ: Аграрна наука, 2007. 144 с.

REFERENCES:

1. Hera, O.M. (2024). Vplyv svozminy ta struktury vyroshchuvanykh kultur na rodiuchist osushuvanykh orhanohennykh gruntiv Polissia [The influence of crop rotation and the structure of cultivated crops on the fertility of drained organic soils of Polissia]. *Naukovi osnovy adaptivnoho zemlerobstva: materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf. z nahody 100-richchia vid dnia narodzh. d-ra s.-h. nauk, prof., akad. Fedora Trokhymovycha Morhuna [Scientific foundations of adaptive agriculture: materials of the International Scientific and Practical Conference on the occasion of the 100th anniversary of the birth of Dr. of Agricultural Sciences, Professor, Academician Fedor Trokhymovych Morgun]* (pp. 31-32). Dnipro [in Ukrainian].

2. Kryshfor, H.O. (2022). Vplyv klimatychnykh zmin na vyrobnytstvo produktsii sadivnytstva v Ukraini [The impact of climate change on the production of horticultural products in Ukraine]. *Aktualni problemy roslinnytstva v umovakh zmin klimatu: materialy Mizhnar. nauk. internet-konf. molodykh uchenykh [Current problems of crop production in the context of climate change: materials of the International Scientific Online Conference of Young Scientists]* (pp. 150-152). Kharkiv: In-t roslinnytstva im. V. Ya. Yurieva NAAN [in Ukrainian].

3. Bolokhovskiy, V., Yakovenko, D., Khomenko, T., Bolokhovska, V., & Borodai, V. (2023). Doslidzhennia efektyvnosti destruktoriv mikrobnoho pokhodzhennia

za riznykh system obrobтку gruntu [Research on the effectiveness of destructors of microbial origin under different soil cultivation systems]. *Ekologichna bezpeka ta zbalansovane pryrodokorystuvannya v ahropromyslovomu vyrobnytstvi: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Ecological safety and balanced environmental management in agro-industrial production: materials of the International Scientific and Practical Conference]* (pp. 70-74). Kyiv [in Ukrainian].

4. Kutsenko, O.M., & Kalambet, V.V. (2023). Osnovni tendentsii vyroshchuvannya soniasnyku v Ukraini v 2021–2023 rokakh [Main trends in sunflower cultivation in Ukraine in 2021–2023]. *Aktualni napriamky ta problemy roslinnytstva: materialy Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf. [Current directions and problems in crop production cultivation technologies: materials of the All-Ukrainian scientific-practical online conference]* (pp. 86-89). Poltava: Poltavskyi derzh. ahrar. un-t [in Ukrainian].

5. Heino, M., Guillaume, J.H.A., & Muller, C. et al. (2020). A multi-model analysis of teleconnected crop yield variability in a range of cropping systems. *Copernicus gesellschaft MBH*. Volume 11. Issue 1. Pages 113–128. DOI: 10.5194/esd-11-113-2020.

6. Anderson, W.B., Seager, R., & Baethgen, W. et al. (2019). Synchronous crop failures and climate-forced production variability. *Science advances*. Volume 5. Issue 7. DOI:10.1126/sciadv.aaw1976.

7. Challinor, A.J., Watson, J., & Lobell, D.B. et al. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature climate change*. Volume 4. Issue 4. Pages 287–291 DOI:10.1038/NCLIMATE2153.

8. Romashchenka, M.I., & Tarariko, Yu.O. (Eds.). (2017). *Meliorovani ahroekosystemy. Otsinka ta ratsionalne vykorystannia ahroresursnoho potentsialu Ukrainy (zony zroshennia i osushennia) [Reclaimed agroecosystems. Assessment and rational use of the agresource potential of Ukraine (irrigation and drainage zones)]*. Kyiv; Nizhyn: Vydavnytstvo PP Lysenko M.M., 696 [in Ukrainian].

9. Hadzala, Ya.M., Stashuka, V.A., & Rokochynskoho, A.M. (Eds.) (2018). *Melioratsiia ta oblashtuvannya Ukrainskoho Polissia [Reclamation and development of Ukrainian Polissia]*. Kherson: Oldi-Plius, 2, 854 [in Ukrainian].

10. Tymofieiev, V.Ye., Klok, S.V., Kornus, A.O., Kornus, O.H., & Danylchenko, O.S. (2022). Ukrainiske Polissia yak indykator suchasnykh klimatychnykh zmin [Ukrainian Polissia as an indicator of modern climate change]. *Ukrainske Polissia: problemy ta trendy suchasnoho rozvytku: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Ukrainian Polissia: problems and trends of modern development: materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference]* (pp. 102–105). Nizhyn: NDU im. Hoholia [in Ukrainian].

11. Rokochynskiy, A.M., Volk, P.P., Prykhodko, N.V., & Dereviahina, N.I. (2021). Otsinka suchasnoho stanu klimatychnykh umov, yikh zmin ta vplyv na zahalnyi pryrodno-meliorativnyi rezhym osushuvanykh zemel zony Polissia Ukrainy [Assessment of the current state of climatic conditions, their changes and impact on the general natural and melioration regime of drained lands of the Polissia zone of Ukraine]. *Visnyk NUVHP – Bulletin of the National University of Ukraine*, 1(93), 48-64 [in Ukrainian].

12. Baliuk, S.A., Medvediev, V.V., & Miroshnychenko, M.M. et al. (2012). Ekologichnyi stan gruntiv Ukrainy [Ecological state of soils of Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal – Ukrainian Geographical Journal*, 2, 38-42 [in Ukrainian].

13. Kupchyka, V.I. (Ed.). (2010). *Grunty Ukrainy: vlastyvoli, henezys, menezhment rodiuchosti [Soils of Ukraine: properties, genesis, fertility management]*. Kyiv: Kondor, 416 [in Ukrainian].

14. Pankiv, Z.P. (2008). *Zemelni resursy [Land resources]*. Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka, 272 [in Ukrainian].

15. Tarariko, Y., Zosymchuk, M., & Stetsiuk, M., et al. (2023). Osoblyvosti vyroshchuvannya kukurudzy na zerno na osushuvanykh zemliakh u zoni Zakhidnoho Polissia Ukrainy v umovakh suchasnykh klimatichnykh zmin [Peculiarities of growing corn for grain on drained lands in the Western Polissya zone of Ukraine under conditions of modern climate change]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo – Land reclamation and water management*, 2, 83-96. <https://doi.org/10.31073/mivg202302-367> [in Ukrainian].

16. Tarariko, Yu., Zosymchuk, M., Lychuk, H., & Velychko, V. (2024). Potentsial produktyvnosti orhanohennykh i mineralnykh gruntiv Zakhidnoho Polissia [Productivity potential of organic and mineral soils of Western Polissya]. *Visnyk aharnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 9 (858), 45-56. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201809-02> [in Ukrainian].

17. Normatyvy gruntozakhysnykh konturno-meliorativnykh system zemlerobstva (1998). [Standards for soil protection contour and reclamation systems of agriculture]. Kyiv, 158 [in Ukrainian].

18. Tymchuk, N.F. (2010). *Korin. Farmatsevtichna entsyklopediia [Root. Pharmaceutical Encyclopedia]*. Nats. farmats. un-t Ukrainy. 2-he vyd., pererobl. i dopovn. Kyiv: MORION, 1632 [in Ukrainian].

19. Kontseptsii efektyvnoho vykorystannia osushuvanykh zemel humidnoi zony Ukrainy (naukovi zasady) (2015). [Concept of effective use of drained lands of the humid zone of Ukraine (scientific principles)]. Kyiv: TsP «Kompriynt», 22 [in Ukrainian].

20. Metodyka sutsilnoho gruntovo-ahrokhimichnoho monitorynhu silskohospodarskykh uhid Ukrainy. (1994). [Methodology of continuous soil and agrochemical monitoring of agricultural lands of Ukraine]. Kyiv: 162 [in Ukrainian].

21. Venkataraman, C.S. (1982). Non-symbiotic nitrogen fixation. *Rev. Soil. Res. India*, 12 Int. Congr. *Soil Sci.* New Delhi, 205–235.

22. Volkohon, V.V. (2007). *Mikrobiologichni aspekty optymizatsii azotnoho udobrennia silskohospodarskykh kultur [Microbiological aspects of optimization of nitrogen fertilization of agricultural crops]*. Kyiv: Aharna nauka, 144 [in Ukrainian].

Тараріко Ю.О., Зосимчук М.Д., Писаренко П.В., Сайдак Р.В., Біднина І.О., Книш В.В., Вдовиченко О.П., Полагенько О.С. Балансові дослідження у сівозмiнах з лісостеповими культурами у Західному Поліссi за змінних гідро-термічних умов

Мета – провести балансові дослідження у сівозмiнах з лісостеповими культурами на органічних і мінеральних ґрунтах Західного Поліссi

за органічних, мінеральних та органо-мінеральних систем удобрення. **Методи.** Дослідження проводилися на осушуваних торфових та дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах у 2021-2024 рр. в межах Сарненської дослідної станції Інституту водних проблем і меліорації (м. Сарни). Середні по сівозмiні обсяги надходження органічної біомаси у ґрунт визначали за фактично встановленим по культурах співвідношенням основної і побічної продукції. Для оцінки особливостей погодних умов використовувались дані метеопосту Сарненської дослідної станції. **Результати.** Органо-мінеральна система удобрення забезпечила найвищу врожайність (13,6 т/га на дерново-підзолистої та 10,5 т/га на торфовому ґрунтах), у 1,3–3,6 рази перевищуючи контроль. Оптимальні дози добрив ($N_{170}P_{70}K_{190}$; $N_{80}P_{60}K_{140}$) забезпечили баланс поживних речовин на рівні 105–110%. Ефективність засвоєння елементів живлення та їх винос варіювали залежно від типу ґрунту й системи удобрення. В умовах воєнного стану та дефіциту енергоресурсів доступність мінеральних добрив скорочується. Однак якщо площа осушуваних земель складає 3,3 млн га, з яких у поліській зоні 0,8 млн га органогенних ґрунтів та 2,5 млн га мінеральних, то відкладені затрати коштів навіть за органо-мінеральної системи удобрення становитимуть 2,3 млрд у.о., якщо буде реалізовано сценарій без застосування добрив то ця сума зростає до 6,3 млрд у.о. **Висновки.** Зміна гідротермічних умов Західного Поліссi зумовлює підвищення придатності регіону до вирощування лісостепових культур, водночас посилюючи ризики виснаження ґрунтів. Максимальну врожайність (до 13,6 т/га) та найкращі показники поживного балансу забезпечує органо-мінеральна система удобрення. Оптимальні дози добрив – $N_{170}P_{70}K_{190}$ для дерново-підзолистої та $N_{80}P_{60}K_{140}$ для торфового ґрунтів – стабілізують родючість і підвищують продуктивність. Результати балансових досліджень формують наукову основу для системного управління поживним режимом ґрунтів та адаптації землеробства до кліматичних змін.

Ключові слова: лісостепові культури, торфові ґрунти, система удобрення, водний режим, баланс поживних речовин, врожайність.

Tarariko Yu.O., Zosymchuk M.D., Pysarenko P.V., Saidak R.V., Bidnya I.O., Knysh V.V., Vdovychenko O.P., Polahenko O.S. Balance studies in crop rotations with forest-steppe crops in Western Polissia under variable hydro-thermal conditions

The **purpose** of the article is to conduct balance studies in crop rotations with forest-steppe crops on organogenic and mineral soils of Western Polissya using organic, mineral, and organo-mineral fertilization systems. **Methods.** The research was conducted on drained peat and sod-podzolic light loam soils in 2021-2024 within the Sarny Research Station of the Institute of Water Problems and Land Reclamation (Sarny). The average crop rotation volumes of organic biomass input into the soil were determined based on the actual established ratio of main and by-products for each crop. Data from the weather station of the Sarny Research Station were used to assess the characteristics of weather conditions. **Results.** The organo-mineral fertilisation system provided the highest yields (13.6 t/ha on sod-podzolic and 10.5 t/ha on peat soils), 1.3-3.6 times higher than the control. Optimal fertiliser doses ($N_{170}P_{70}K_{190}$;

$N_{80}P_{60}K_{140}$) ensured a nutrient balance of 105-110%. The efficiency of nutrient uptake and removal varied depending on the soil type and fertilisation system. In conditions of martial law and energy shortages, the availability of mineral fertilizers is decreasing. However, if the area of drained lands is 3.3 million hectares, of which in the Polissya zone 0.8 million hectares of organic soils and 2.5 million hectares of mineral, then the deferred costs of funds even with the organic-mineral fertilization system will amount to 2.3 billion USD, if the scenario without the use of fertilizers is implemented, this amount will increase to 6.3 billion USD. **Conclusions.** Changes in the hydro-

thermal conditions of Western Polissia are increasing the region's suitability for growing forest-steppe crops, while increasing the risk of soil depletion. The highest yields (up to 13.6 t/ha) and the best nutritional balance are ensured by an organic-mineral fertiliser system. The optimal fertiliser doses – $N_{170}P_{70}K_{190}$ for sod-podzolic soil and $N_{80}P_{60}K_{140}$ for peat soil – stabilise fertility and increase productivity. The results of balance studies form the scientific basis for systematic management of soil nutrition and adaptation of agriculture to climate change.

Key words: forest-steppe crops, peat soils, fertilisation system, water regime, nutrient balance, yield.

АГРОЕКОНОМІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ В УКРАЇНІ

ТРИУС В.О. – аспірант
 orcid.org/0000-0002-6670-1139

Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – культура, що є однією із найдавніших і водночас, не зважаючи на це, досі не втратила свою актуальність у сільському господарстві та є перспективною культурою у світовому агропромисловому комплексі [1]. Завдяки тому, що зерно культури поєднує у собі високий вміст білку, ліпідів та важливих мікроелементів, соя набула широкого застосування як у харчовій промисловості, так і в тваринництві, фармацевтиці та, навіть, біоенергетиці [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні соя займає провідні позиції серед бобових культур за площами посівів, урожайністю та обсягами експорту не лише в Україні, а й у світі. Зокрема, на рисунку 1 відображено динаміку посівної площі культури починаючи від 2000 р.

У 2000 році площі становили лише 65 тис. га, але вже до 2015 року відбулося стрімке зростання до рекордних 2158 тис. га. Після цього спостерігається спад: у 2019 році – 1609 тис. га, у 2020 – 1351 тис. га, а в 2021 – лише 1006 тис. га. Однак, у 2022 році намітилась тенденція до відновлення – площі зросли до 1559 тис. га.

На рисунку 2 представлено динаміку валового збору сої в Україні, так у 2000 році площа збору становила лише 64,4 тис. га, але вже у 2005 році вона зросла до 612,6 тис. га, а в 2010 році – до 1680,2 тис. га. Пік виробництва був зафіксований у 2015 році – 3930,6 тис. га. У наступні роки спостерігається деяке зменшення: у 2019 році – 3698,7 тис. га, у 2020 – 2797,7 тис. га, а у 2021 – 2893,2 тис. га. У 2022 році площа знову зросла до 3443,8 тис. га.

Рисунок 3 демонструє урожайність сої в Україні за період з 2000 по 2022 рік. У 2000 році вона становила 10,6 т/га, у 2005 році – зросла до 14,5 т/га, а в 2010 – до 16,2 т/га. Подальше зростання спостерігається у 2015 році – 18,4 т/га, у 2019 – 22,9 т/га. У 2020 році урожайність дещо зменшилася до 20,5 т/га, проте вже у 2021 досягла найвищого рівня за весь період – 26,4 т/га. У 2022 році спостерігається спад до 22,6 т/га. Загалом графік демонструє стабільну тенденцію до зростання урожайності сої в Україні, з деякими коливаннями, що можуть бути пов'язані з погодними умовами, змінами в технологіях вирощування або іншими зовнішніми факторами.

Окрім економічної доцільності вирощування сої [4, 5, 6], важливо також відзначити її агроекологічне значення [7]. Оскільки соя – це бобова культура, вона, а точніше бульбочкові бактерії, що «живуть» в симбіозі на корінні культури, здатні фіксувати атмосферний азот [8, 9, 10]. Це сприяє покращенню родючості ґрунтів і зменшенню потреби в мінеральних азотних добривах. Це робить сою важливою складовою сівозмін та ефективним інструментом для сталого сільського господарства. До того ж, розвиток селекції дозволив створити високопродуктивні сорти, адаптовані до різних кліматичних умов, що сприяє розширенню ареалу вирощування культури [11, 12, 13]. В умовах глобального потепління та зміни структури посівів у багатьох країнах світу, зокрема в Україні, соя дедалі частіше розглядається як стратегічна культура з високим експортним потенціалом [14, 15, 16]. Тому подальше вивчення продуктивності, технологій вирощування, сортової різноманітності та адаптаційного потенціалу сої

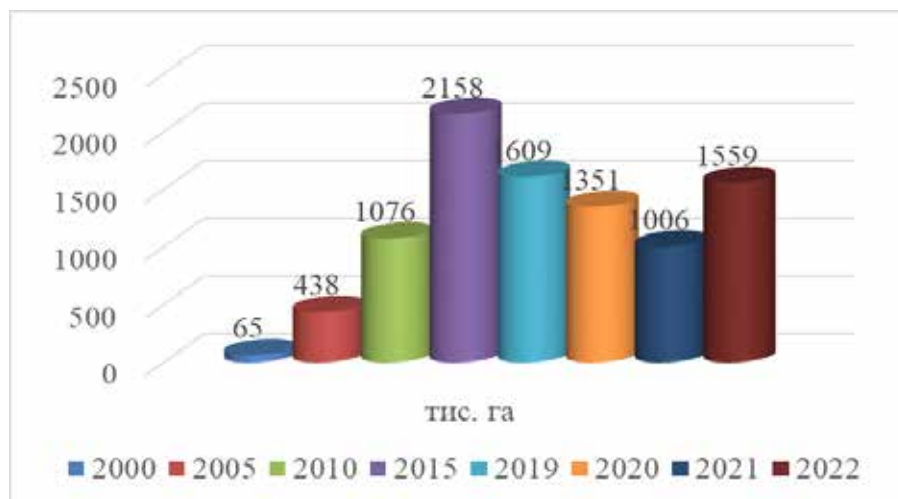


Рис. 1. Посівні площі, що займала соя від 2000 до 2022 рр. [3]

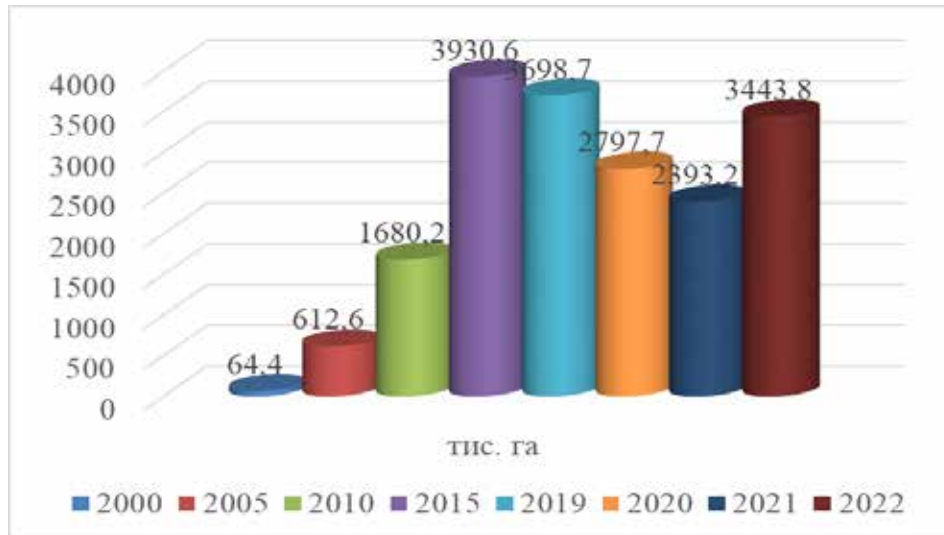


Рис. 2. Валовий збір сої у 2000-2022 рр. [3]

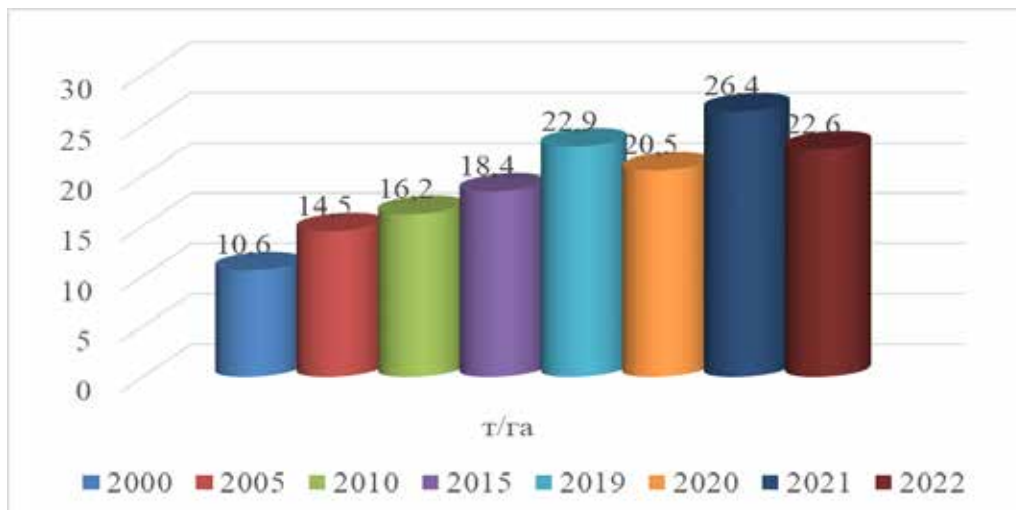


Рис. 3. Урожайність сої у 2000-2022 рр. [3]

є надзвичайно актуальним як з економічної, так і з екологічної точки зору.

Мета статті щодо дослідження сої зумовлена зростаючим попитом на здорове харчування, розвитком харчової промисловості, що потребує альтернативних джерел білка, а також глобальними викликами у сфері продовольчої безпеки [17, 18].

Результати досліджень. Саме тому вчені досліджують питання селекції сої, а саме працюють над підвищенням стійкості культури до стресів, збільшенням продуктивності чи покращенням якості зерна. Так, наприклад, Базиленко, Марченко та Лавриненко в своїх дослідженнях вивчали ознаку кількості бобів, що утворюються на продуктивних вузлах культури для сортів та гібридів сої [19]. Було встановлено, що ознака значно варіює відповідно до груп стиглості. У дослідженні Білявської було вивчено господарсько-цінні ознаки залежно від вихідного матеріалу для гібридизації культури [20]. Так, відповідно до отриманих багаторічних селек-

ційну роботу з удосконалення показників урожайності рослин сої варто проводити в потомстві між-сортівих гібридів Аметист / Краса Поділля, Bravella / Білоснежка / Альтаір. В свою чергу, Рибальченком було встановлено, що за масою насіння з рослини, кількістю бобів та кількістю насіння з рослини в більшості F1 гібридів спостерігалось гетерозисне успадкування [21].

Успадкування тривалості вегетаційного періоду відрізнялося від успадкування основних показників насінневої продуктивності – переважно воно було проміжним, а для отримання ранньостиглих форм доцільніше використовувати у схрещуваннях більш скоростиглі генотипи, які мають незначні відмінності у тривалості вегетаційного періоду. Цікавими є дослідження Білявської, Білявського, Діянової та Гарбузова, які висвітлюють те, що неопушені лінії сої з високими показниками господарської цінності перевищують стандартні сорти (наприклад, Алмаз і Адамос) за економічною ефективністю, зокрема за

складом жирних кислот у насінні [22]. Аналіз якісного складу насіння та зеленої маси (олія, білок, клітковина та ін.) показав перевагу нових ліній над сортами Устя, Юг-30 та Аннушка. Визначено селекційну цінність неопушеного батьківського матеріалу для створення сортів кормового призначення, хоча такі форми наразі відсутні в Реєстрі сортів рослин України.

У результатах досліджень Guo та інших було підкреслено важливість сої як джерела рослинного білка й олії, а також виклики селекції сортів із високим вмістом білка без зниження урожайності при цьому [23]. Важливість досліджень полягає в тому, що в них описано генетичні особливості успадкування ознаки вмісту білка в зерні, ключові гени, які пов'язані з білковим складом, а також досягнення в транс-криптоміці, метаболоміці та протеоміці. Представлено напрями створення та використання високо-білкових генотипів і перспективи селекції сої з підвищеним вмістом білка. У дослідженні Pansyryeva & Mazur представлено результати вивчення ранньостиглих та ультраранніх високо-білкових сортів сої [24]. Встановлено, що їх вегетаційний період триває 83-85 днів, а врожайність коливається в межах 2,00-3,25 т/га, з найвищими показниками у сортів Діон (3,25 т/га) та Аррата (3,0 т/га). Також, встановлено сорти з високою стійкістю до вилягання, осипання насіння, посухи та хвороб (Авангард, Геба, Арніка, Рогізьянка, Діона, Кобза). Найвищий вміст білка у насінні мали сорти Беркана (43,4%), Райдужна (42,3%), Голубка і Мелодія (42,1%), а найбільший вміст жиру – Геба (22,0%), ОАС Lakeview (21,7%) та Голубка (21,6%).

Rebollo-Hernanz у своїх дослідженнях висвітлює білковий профіль сої, зокрема співвідношення гліциніну до β -конгліциніну, що суттєво впливає на її здатність регулювати холестериновий обмін і запобігати окисненню ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ) *in vitro* [25]. Серед 19 досліджених сортів п'ять було відібрано як найефективніші: вони знижували рівень холестерину на 43-55% шляхом інгібування HMGCR, зменшували естерифікацію холестерину, синтез тригліцеридів, секрецію VLDL і окиснення ЛПНЩ, а також регулювали експресію ключових генів (ANGPTL3, PCSK9, LDLR). Найкращі результати показали сорти з нижчим співвідношенням гліцинін: β -конгліцинін, що вказує на перспективність використання таких сортів у функціональних харчових продуктах для підтримки серцево-судинного здоров'я.

У дослідженні Cai описано, що мутація *ln*, яка зумовлює втрату функції гена *GmJAG1* і збільшує кількість насінин у бобі, широко використовується в сучасному селекційному доборі сої високих широт, але відсутня у сортах з тропічних і субтропічних регіонів [26]. Щоб перенести цю корисну ознаку у низькоширотні сорти, дослідники за допомогою CRISPR/Cas9 провели редагування гена *GmJAG1* у сорті Huachun 6. Отриманий мутант *gmjag* мав вузьчі листки, вищий відсоток 3- і 4-насінних бобів та забезпечив приріст урожайності на 8,81% у весняному і 8,67% у літньому полігонному випробуванні. Це свідчить про ефективність вико-

ристання CRISPR/Cas9 для прискореного поліпшення сортів сої в тропічних регіонах.

У огляді Lin узагальнено понад 800 локусів/алелів стійкості та пов'язаних з ними маркерів для 28 хвороб сої, спричинених нематодами, ооміцетами, грибами, бактеріями й вірусами [27]. Основну увагу приділено проривам у вивченні вертикальної стійкості, зокрема генів *rhg1* і *Rhg4* проти соєвої цистої нематоди та *Rps11*, що забезпечує стійкість до 80% ізолятів *Phytophthora sojae* у США. Також систематизовано підтверджені QTL, що повторюються у щонайменше двох дослідженнях, і впроваджено єдину номенклатуру для їх назв.

Висновки. Отже, попри спад у площах посіву та валовому зборі в окремі роки, соя демонструє загальну позитивну динаміку розвитку в Україні, зокрема в частині врожайності, що свідчить про адаптацію до змін клімату та вдосконалення технологій вирощування. Важливу роль у цьому відіграє селекційна робота, спрямована на підвищення стійкості до біотичних та абіотичних чинників, збільшення вмісту білка та покращення загальної продуктивності культури. Дослідження генетичних механізмів, використання новітніх технологій, зокрема CRISPR/Cas9, та створення високобілкових, ранньостиглих і адаптованих сортів сої відкривають широкі перспективи для її подальшого розвитку. Враховуючи зростаючу потребу в альтернативних джерелах білка, попит на здорове харчування та виклики продовольчої безпеки, соя залишається стратегічно важливою культурою як для України, так і для світового агропромислового комплексу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Korobko A. Dynamics of soybean production in Ukraine and the world. *Balanced nature using*. 2021. Vol. 4. P. 125–134. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253098>
2. Zabarna T. & Chereshnyuk V. Agro-ecological aspects of soybean (*Glycine max* L.) cultivation in Ukraine. *Agroecological journal*. 2024. Vol. 1. P. 108–116. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299945>
3. Прокопенко О. Статистичний збірник «Сільське господарство України». *Державна служба статистики України*. 2023.
4. Bandara A. Y., Weerasooriya D. K., Bradley C. A., Allen T. W., Esker P. D. Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United States over two decades. *PLOS ONE*. 2020. Vol. 15(4). e0231141. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231141>
5. Goldsmith P. D. Economics of Soybean Production, Marketing, and Utilization. *Soybeans*. Elsevier. 2008. P. 117–150. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-64-6.50008-1>
6. Peretiatko S. H., Rudik O. L. The current state and applied aspects of the development prospects of soybean production in Ukraine. *Interagency thematic scientific collection «Irrigated agriculture»*. 2021. Vol. 76. P. 49–53. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.76.10>
7. Hamza M., Basit A. W., Shehzadi I., Tufail U., Hassan A., Hussain T., Siddique M. U., Hayat H. M. Global Impact of Soybean Production: A Review. *Asian Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology*. 2024.

Vol. 16(2). P. 12–20. <https://doi.org/10.9734/ajbgmb/2024/v16i2357>

8. Li J. H., Wang E. T., Chen W. F., Chen W. X. Genetic diversity and potential for promotion of plant growth detected in nodule endophytic bacteria of soybean grown in Heilongjiang province of China. *Soil Biology and Biochemistry*. 2008. Vol. 40(1). P. 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.08.014>

9. Rodriguez-Navarro D. N., Margaret Oliver I., Albareda Contreras M., Ruiz-Sainz J. E. Soybean interactions with soil microbes, agronomical and molecular aspects. *Agronomy for Sustainable Development*. 2011. Vol. 31(1). P. 173–190. <https://doi.org/10.1051/agro/2010023>

10. Subramanian P., Kim K., Krishnamoorthy R., Sundaram S., Sa T. Endophytic bacteria improve nodule function and plant nitrogen in soybean on co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* MN110. *Plant Growth Regulation*. 2015. Vol. 76(3). P. 327–332. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9993-x>

11. Miladinovic J., Burton J. W., Tubic S. B., Miladinovic D., Djordjevic V., Djukic V. Soybean breeding: Comparison of the efficiency of different selection methods. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2011. Vol. 35(5). P. 469–480. <https://doi.org/10.3906/tar-1011-1474>

12. Teixeira F. G., Hamawaki O. T., Nogueira A. P. O., Hamawaki R. L., Jorge G. L., Hamawaki C. L., Machado B. Q. V., Santana A. J. O. Research Article Genetic parameters and selection of soybean lines based on selection indexes. *Genetics and Molecular Research*. 2017. Vol. 16(3). <https://doi.org/10.4238/gmr16039750>

13. Tian Z., Wang X., Lee R., Li Y., Specht J. E., Nelson R. L., McClean P. E., Qiu L., Ma J. Artificial selection for determinate growth habit in soybean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010. Vol. 107(19). P. 8563–8568. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000088107>

14. Jiang X., Li H., Dai X., Li J., Liu Y. An Empirical Analysis of Global Soybean Supply Potential and China's Diversified Import Strategies Based on Global Agro-Ecological Zones and Multi-Objective Nonlinear Programming Models. *Agriculture*. 2025. Vol. 15(5). P. 529. <https://doi.org/10.3390/agriculture15050529>

15. Molla H. S., Ayele Z. A., Zeleke M. A. Trends, Opportunities, and Challenges of the Ethiopian Soybean Export Market in the Past Two Decades (2004–2022). *Advances in Agriculture*. 2024. Vol. 1. 9979892. <https://doi.org/10.1155/2024/9979892>

16. Montaña C. V., Fernández-Núñez T., Márquez M. A. The role of the leading exporters in the global soybean trade. *Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika)*. 2021. Vol. 67(7). P. 277–285. <https://doi.org/10.17221/433/2020-AGRICECON>

17. Мазур В. А., Ткачук О. П., Панцирева Г. В., Капчук І. М. Соя в інтенсивному землеробстві. Вінниця: «Ніпан-ЛТД». 2021. 220 с.

18. Shelest M., Kalnaguz A., Datsko O., Zakharchenko E., Zubko V. System of pre-sowing seed inoculation. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26(7). Article 7. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2023.140>

19. Базиленко Є. О., Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О. Прояв і мінливість ознаки «кількість бобів на продуктивних вузлах рослини» у гібридів та сор-

тів сої різних груп стиглості. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 15. С. 128–133. <https://doi.org/10.32848/agr.ar.innov.2022.15.19>

20. Білявська, Л. Г. Господарсько-цінні ознаки, їх рівень та кореляційні зв'язки у потомствах гібридних популяцій сої. *Науковий прогрес та інновації*. Вип. 27(2). 2024, С. 6–11. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.02.01>

21. Рибальченко А. М. Прояв гетерозису та ступеня фенотипового домінування за елементами продуктивності та тривалістю періоду вегетації у F1 сої. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія та біологія*. 2022. Вип. 46(4). С. 62–67. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.9>

22. Білявська Л. Г., Білявський Ю. В., Діянова А. О., Гарбузов Ю. Є. 2021. Нові селекційні форми сої для кормовиробництва. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. Вип. 3. С. 58–65. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.07>

23. Guo B., Sun L., Jiang S., Ren H., Sun R., Wei Z., Hong H., Luan X., Wang J., Wang X., Xu D., Li W., Guo C., Qiu L.-J. Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. Vol. 135(11). P. 4095–4121. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04222-9>

24. Pansyeva H., Mazur K. Research of early rating soybean varieties on technology and agroecological resistance. *Publishing House "Baltija Publishing"*. 2022. P. 84–108. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-195-4>

25. Rebollo-Hernanz M., Bringe N. A., Gonzalez De Mejia E. Selected Soybean Varieties Regulate Hepatic LDL-Cholesterol Homeostasis Depending on Their Glycinin:β-Conglycinin Ratio. *Antioxidants*. 2022. Vol. 12(1). 20 p. <https://doi.org/10.3390/antiox12010020>

26. Cai Z., Xian P., Cheng Y., Ma Q., Lian T., Nian H., Ge L. CRISPR/Cas9-mediated gene editing of *GmJAGGED1* increased yield in the low-latitude soybean variety Huachun 6. *Plant Biotechnology Journal*. 2021. Vol. 19(10). P. 1898–1900. <https://doi.org/10.1111/pbi.13673>

27. Lin F., Chhakekar S. S., Vieira C. C., Da Silva M. P., Rojas A., Lee D., Liu N., Pardo E. M., Lee Y.-C., Dong Z., Pinheiro J. B., Ploper L. D., Rupe J., Chen P., Wang D., Nguyen H. T. Breeding for disease resistance in soybean: A global perspective. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. Vol. 135(11). P. 3773–3872. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04101-3>

REFERENCES:

1. Korobko A. (2021). Dynamics of soybean production in Ukraine and the world. *Balanced nature using*, 4, 125–134. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253098>

2. Zabarna T., Cheresnyuk V. (2024). Agro-ecological aspects of soybean (*Glycine max* L.) cultivation in Ukraine. *Agroecological journal*, 1, 108–116. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299945>

3. Prokopenko O. (2023). *Statystychnyi zbirnyk «Sil'ske hospodarstvo Ukrainy»* [Statistical collection "Farm economy of Ukraine"]. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [in Ukrainian].

4. Bandara A. Y., Weerasooriya D. K., Bradley C. A., Allen T. W., Esker P. D. (2020). Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United States over

two decades. *PLOS ONE*, 15(4), e0231141. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231141>

5. Goldsmith P. D. (2008). Economics of Soybean Production, Marketing, and Utilization. *Soybeans, Elsevier*, 117–150. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-64-6.50008-1>

6. Peretiatko S. H., Rudik O. L. (2021). The current state and applied aspects of the development prospects of soybean production in Ukraine. *Interagency thematic scientific collection «Irrigated agriculture»*, 76, 49–53. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.76.10>

7. Hamza M., Basit A. W., Shehzadi I., Tufail U., Hassan A., Hussain T., Siddique M. U., Hayat H. M. (2024). Global Impact of Soybean Production: A Review. *Asian Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology*, 16(2), 12–20. <https://doi.org/10.9734/ajbgbmb/2024/v16i2357>

8. Li J. H., Wang E. T., Chen W. F., Chen W. X. (2008). Genetic diversity and potential for promotion of plant growth detected in nodule endophytic bacteria of soybean grown in Heilongjiang province of China. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1), 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.08.014>

9. Rodríguez-Navarro D. N., Margaret Oliver I., Albareda Contreras M., Ruiz-Sainz J. E. (2011). Soybean interactions with soil microbes, agronomical and molecular aspects. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(1), 173–190. <https://doi.org/10.1051/agro/2010023>

10. Subramanian P., Kim K., Krishnamoorthy R., Sundaram S., Sa T. (2015). Endophytic bacteria improve nodule function and plant nitrogen in soybean on co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* MN110. *Plant Growth Regulation*, 76(3), 327–332. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9993-x>

11. Miladinovic J., Burton J. W., Tubic S. B., Miladinovic D., Djordjevic V., Djukic V. (2011). Soybean breeding: Comparison of the efficiency of different selection methods. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(5), 469–480. <https://doi.org/10.3906/tar-1011-1474>

12. Teixeira F. G., Hamawaki O. T., Nogueira A. P. O., Hamawaki R. L., Jorge G. L., Hamawaki C. L., Machado B. Q. V., Santana A. J. O. (2017). Research Article Genetic parameters and selection of soybean lines based on selection indexes. *Genetics and Molecular Research*, 16(3). <https://doi.org/10.4238/gmr16039750>

13. Tian Z., Wang X., Lee R., Li Y., Specht J. E., Nelson R. L., McClean P. E., Qiu L., Ma J. (2010). Artificial selection for determinate growth habit in soybean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(19), 8563–8568. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000088107>

14. Jiang X., Li H., Dai X., Li J., Liu Y. (2025). An Empirical Analysis of Global Soybean Supply Potential and China's Diversified Import Strategies Based on Global Agro-Ecological Zones and Multi-Objective Nonlinear Programming Models. *Agriculture*, 15(5), 529. <https://doi.org/10.3390/agriculture15050529>

15. Molla H. S., Ayele Z. A., Zeleke M. A. (2024). Trends, Opportunities, and Challenges of the Ethiopian Soybean Export Market in the Past Two Decades (2004–2022). *Advances in Agriculture*, 1, 9979892. <https://doi.org/10.1155/2024/9979892>

16. Montaña C. V., Fernández-Núñez T., Márquez M. A. (2021). The role of the leading export-

ers in the global soybean trade. *Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika)*, 67(7), 277–285. <https://doi.org/10.17221/433/2020-AGRICECON>

17. Mazur V. A., Tkachuk O. P., Pantsyreva H. V., Kapchuk I. M. (2021). *Soia v intensyvnomu zemlerobstvi* [Soybean in intensive farming]. Vinnytsia: «Nilan-LTD», 220 [in Ukrainian].

18. Shelest M., Kalnaguz A., Datsko O., Zakharchenko E., Zubko V. (2023). System of pre-sowing seed inoculation. *Scientific Horizons*, 26(7), Article 7. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2023.140>

19. Bazylenko Ye. O., Marchenko T. Yu., Lavrynenko Yu. O. (2022). *Proiav i minlyvist oznaky «kilkist bobiv na produktyvnykh vuzlakh roslyn» u hibrydiv ta sortiv soi riznykh hrup styhlosti* [The number of beans on the productive nodes of the plant in hybrids and varieties with different degrees of cold tolerance is also known]. *Ahrarni innovatsii*, 15, 128–133 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.19>

20. Biliavska L. H. (2024). *Hospodarsko-tsinni oznaky, yikh riven ta koreliatsiini zviyazky u potomstvakh hibrydnykh populatsii soi* [Economic and price characteristics, their distribution and correlations in the offspring of hybrid soy populations]. *Scientific Progress & Innovations*, 27(2), 6–11 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.02.01>

21. Rybalchenko A. M. (2022). *Proiav heterozyosu ta stupenia fenotypovoho dominuvannya za elementamy produktyvnosti ta tryvalistiu periodu vehetatsii u F1 soi* [The manifestation of heterosis and the degree of phenotypic dominance as elements of productivity and longevity of the vegetation period in F1 soybeans]. *Visnyk Sums'koho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Ahronomiia ta biolohiia*, 46(4), 62–67 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.9>

22. Biliavska L. H., Biliavskiy Yu. V., Diianova A. O., Harbuzov Yu. Ye. (2021). *Novi selektsiini formy soi dlia kormovyrobnytstva* [New selection of soybean varieties for feed production]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 3, 58–65 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.07>

23. Guo B., Sun L., Jiang S., Ren H., Sun R., Wei Z., Hong H., Luan X., Wang J., Wang X., Xu D., Li W., Guo C., Qiu L.-J. (2022). Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(11), 4095–4121. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04222-9>

24. Pantsyreva H., Mazur K. (2022). Research of early rating soybean varieties on technology and agroecological resistance. *Publishing House «Baltija Publishing»*, 84–108. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-195-4>

25. Rebollo-Hernanz M., Bringe N. A., Gonzalez De Mejia E. (2022). Selected Soybean Varieties Regulate Hepatic LDL-Cholesterol Homeostasis Depending on Their Glycinin:β-Conglycinin Ratio. *Antioxidants*, 12(1), 20. <https://doi.org/10.3390/antiox12010020>

26. Cai Z., Xian P., Cheng Y., Ma Q., Lian T., Nian H., Ge L. (2021). CRISPR/Cas9-mediated gene editing of *GmJAGGED1* increased yield in the low-latitude soybean variety Huachun 6. *Plant Biotechnology Journal*, 19(10), 1898–1900. <https://doi.org/10.1111/pbi.13673>

27. Lin F., Chhapekar S. S., Vieira C. C., Da Silva M. P., Rojas A., Lee D., Liu N., Pardo E. M., Lee Y.-C., Dong Z.,

Pinheiro J. B., Ploper L. D., Rupe J., Chen P., Wang D., Nguyen H. T. (2022). Breeding for disease resistance in soybean: A global perspective. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(11), 3773–3872. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04101-3>

Триус В.О. Агроекономічні перспективи вирощування сої в Україні

Мета статті щодо дослідження сої зумовлена зростаючим попитом на здорове харчування, розвитком харчової промисловості, що потребує альтернативних джерел білка, а також глобальними викликами у сфері продовольчої безпеки

Результати. Стаття присвячена комплексному аналізу сучасного стану та перспектив розвитку сої (*Glycine max* (L.) Merr.) в аграрному секторі України. Наведено статистичні дані щодо посівних площ, валового збору та урожайності культури в період з 2000 по 2022 роки, що дозволило виявити основні тенденції у виробництві сої. Особливу увагу приділено агроекологічним перевагам культури, зокрема здатності до фіксації атмосферного азоту, що сприяє збереженню родючості ґрунтів. Розглянуто сучасні досягнення селекції, включаючи дослідження господарсько-цінних ознак, успадкування продуктивності, хімічного складу насіння, а також використання біотехнологічних інструментів, таких як CRISPR/Cas9, у створенні нових сортів сої. У статті узагальнено наукові підходи до вдосконалення культури відповідно до викликів кліматичних змін та глобального попиту на рослинний білок.

Висновки. Отже, попри спад у площах посіву та валовому зборі в окремі роки, соя демонструє загальну позитивну динаміку розвитку в Україні, зокрема в частині врожайності, що свідчить про адаптацію до змін клімату та вдосконалення технологій вирощування. Важливу роль у цьому відіграє селекційна робота, спрямована на підвищення стійкості до біотичних та абіотичних чинників, збільшення вмісту білка та покращення загальної продуктивності культури. Дослідження генетичних механізмів, використання новітніх технологій, зокрема CRISPR/Cas9, та створення високобілкових, ранньостиглих і адаптованих сортів сої відкривають широкі перспективи для її подальшого розвитку. Враховуючи зростаючу потребу в альтернативних джерелах білка, попит на здорове харчування та виклики продовольчої безпеки, соя залишається стратегічно важливою культурою як для України, так і для світового агропромислового комплексу.

Ключові слова: соя, врожайність, продуктивність, якість зерна, сорти, гібриди.

Tryus V.O. Agro-economic prospects of soybean cultivation in Ukraine

The purpose of the article on soybean research is due to the growing demand for healthy nutrition, the development of the food industry, which requires alternative sources of protein, as well as global challenges in the field of food security.

Results. The article is devoted to a comprehensive analysis of the current state and prospects for the development of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in the agricultural sector of Ukraine. Statistical data on the sown area, gross harvest and crop yield for the period from 2000 to 2022 are presented, which allowed us to identify the main trends in soybean production. Particular attention is paid to the agroecological advantages of the crop, in particular the ability to fix atmospheric nitrogen, which contributes to the preservation of soil fertility. Modern breeding achievements are considered, including the study of economically valuable traits, the inheritance of productivity, the chemical composition of seeds, as well as the use of biotechnological tools, such as CRISPR/Cas9, in the creation of new soybean varieties. The article summarizes scientific approaches to improving the crop in accordance with the challenges of climate change and global demand for vegetable protein.

Conclusions. Thus, despite the decline in the area sown and gross harvest in some years, soybeans demonstrate overall positive development dynamics in Ukraine, in particular in terms of yield, which indicates adaptation to climate change and improvement of growing technologies. An important role in this is played by breeding work aimed at increasing resistance to biotic and abiotic factors, increasing protein content and improving overall crop productivity. Research into genetic mechanisms, the use of the latest technologies, in particular CRISPR/Cas9, and the creation of high-protein, early-ripening and adapted soybean varieties open up broad prospects for its further development. Given the growing need for alternative protein sources, the demand for healthy nutrition and the challenges of food security, soybeans remain a strategically important crop for both Ukraine and the global agro-industrial complex.

Key words: soybeans, yield, productivity, grain quality, varieties, hybrids.

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

БІДНИНА І.О.....	35	ОМЕЛЬЯНЕНКО О.М.....	23
ВДОВИЧЕНКО О.П.....	35	ПЕТРІВ Л.М.....	30
ВОЖЕГОВА Р.А.....	9, 15	ПИСАРЕНКО П.В.....	35
ГАДЗАЛО Я.М.....	15	ПІЛЯРСЬКА О.О.....	30
ГРАНОВСЬКА Л.М.....	9	ПОЛАГЕНЬКО О.С.....	30, 35
ЖЕРЕБЧУК С.В.....	30	САЙДАК Р.В.....	35
ЗОСИМЧУК М.Д.....	35	СТЕПАНОВА М.М.....	35
КНИШ В.В.....	35	ТАРАРІКО Ю.О.....	35
ЛИХОВИД П.В.....	9	ТРИУС В.О.....	47
ЛІКАР Я.О.....	15	ШАБЛЯ О.С.....	30

Наукове видання
ЗРОШУВАНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО

Збірник наукових праць

Випуск 83

Відповідальний за випуск – Пілярська О.О.

Підписано до друку 23.05.2025 р. Формат 60х84 1/8.
Папір офсетний. Гарнітура Arial. Цифровий друк.
Умовно друк. арк. 6,28. Наклад 300. Зам. № 0725/592
Віддруковано з готового оригінал-макета.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.