



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ



НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
ІНСТИТУТ ҐРУНТОЗНАВСТВА ТА АГРОХІМІЇ
імені О. Н. СОКОЛОВСЬКОГО

АГРОХІМІЯ і ҐРУНТОЗНАВСТВО

МІЖВІДОМЧИЙ
ТЕМАТИЧНИЙ
НАУКОВИЙ
ЗБІРНИК

91

Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник.
Випуск 91. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2021. 84 с.

AGROCHEMISTRY and SOIL SCIENCE. Collected papers.
No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, 2021. 84 p.

Збірник публікує наукові статті за результатами теоретичних, експериментальних та методичних досліджень з актуальних напрямів ґрунтознавства, агрохімії, агроєкології, землеробства та інших наук, які містять оригінальну інформацію та обґрунтовані висновки.

Згідно з наказом МОН України № 1643 від 28.12.2019 збірник внесено до Переліку наукових фахових видань України в галузях сільськогосподарської та біологічної науки за спеціальностями:

201 – Агрономія і 091 – Біологія і включено до категорії «Б»

Мови видання: українська, англійська, російська

Редакційна колегія:

С.А. Балюк д.с-г.н. (відповідальний редактор); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
А.Б. Ачасов д.с-г.н.; Харківський національний аграрний ун-т ім. В.В. Докучаєва
А.Д. Балаєв д.с-г.н.; Національний ун-т біоресурсів і природокористування України
Т.Ю. Биндич к.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
В.А. Величко д.с-г.н.; Державне видавництво «Аграрна наука» НААН
З.Г. Гамкало д.б.н.; Львівський національний ун-т імені Івана Франка
Г.М. Господаренко д.с-г.н.; Уманський національний ун-т садівництва
Ю.М. Дмитрук д.б.н.; Чернівецький національний ун-т ім. Ю. Федьковича
В.В. Іванина д.с-г.н.; Інститут енергетичних культур і цукрових буряків НААН
Т.М. Лактіонова к.с-г.н. (відповідальний секретар); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
М.В. Лісовий д.с-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
М.М. Мірошниченко д.б.н. (заст. відп. редактора); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
І.Д. Пачев д.с-г.н.; Інститут виноградарства та виноробства (Болгарія)
Є.В. Скрильник д.с-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
О.І. Старченко к.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
Т.Г. Лях д.с-г.н.; Ін-т педології, агрохімії та захисту ґрунтів "Н. Дімо"(Молдова)
Р.С. Трускавецький д.с-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
А.І. Фатєєв д.с-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
Ю.Л. Цапко д.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
В.Р. Черлінка д.б.н.; Чернівецький національний ун-т ім. Ю. Федьковича
С.Г. Чорний д.с-г.н.; Миколаївський національний аграрний університет

Склад редакційної колегії затверджено Вченою радою ННЦ
«ІГА імені О.Н. Соколовського», протокол № 7 від 05.04.2019 р.

Рік заснування: 1966

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20942-10742Пр

Засновник: Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського» (ННЦ ІГА) вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, тел. (057) 704-16-69
e-mail: agrochemsoilsci.org@gmail.com

www.agrochemsoilsci.org

Індексування та реферування:

- база даних CrossRef,
- Реєстр наукових фахових видань України
- портал Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського,
- загальнодержавна реферативна база даних (РБД) «Україніка наукова»,
- видання УРЖ «Джерело» Інституту проблем реєстрації інформації НАН України (ІПРІ)
- пошукова система і база даних наукових цитувань «Open Ukrainian Citation Index (OUCI)»

Рекомендовано до видання Вченою радою ННЦ ІГА, протокол № 8 від 07.06.2021 р.

ISSN 0587-2596
e-ISSN 2616-6852
DOI: <https://doi.org/10.31073/acss91>

© Національний науковий центр
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського»

ЗМІСТ / CONTENT

ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ / SOIL PROPERTIES

Круглов О. В., Попов С. А.

Магнетизм корінних порід та магнітна сприйнятливість ґрунту
Kruglov O. V., Popov S. A. Rock magnetism and soil magnetic susceptibility 4

Воротинцева Л.І., Ніколюк В.І.

Агрогенні зміни властивостей темно-каштанового цілинного та орного ґрунту за різного використання та зрошення
Vorotyntseva L.I., Nikoliuk V.I. Agrogenic changes in the properties of dark chestnut virgin and arable soil with different use and irrigation 12

ҐРУНТОВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН / SOIL NUTRITION of PLANTS

Смиченко В. М., Мірошніченко М. М.

Вплив глибини локалізації мінеральних добрив на поживний режим чорнозему опідзоленого важкосуглинкового та врожайність ячменю ярого
Smychenko V. M., Miroshnichenko M. M. Impact of the depth of fertilizer localization on the nutrient regime of Luvic Chernic Phaozem and yield of spring barley 22

Господаренко Г. М., Черно О. Д., Мартинюк А. Т., Бойко В. П.

Винесення основних елементів живлення з ґрунту культурами польової сівозміни за різного удобрення
Hospodarenko H. M., Cherny O. D., Martyniuk A. T., Boiko V.P. Removal of basic nutrients from the soil by field crop rotations with different fertilizers 31

Погромська Я. А.

Вміст обмінного калію у ґрунті залежно від способу обробітку та метеорологічних факторів
Pogromska Ya. A. The content of potassium exchangeable in the soil depending on the method of tillage and meteorological factors 41

Харченко О. В., Петренко С. В., Собко М. Г., Медвідь С. І., Захарченко Е. А.

Ефективність використання елементів живлення сучасними гібридами кукурудзи в посушливих умовах Лісостепу
Kharchenko O. V., Petrenko S. V., Sobko M. G., Medvid S. I., Zakharchenko E. A. Nutrients use efficiency by modern hybrids of maize under arid conditions of the Forest-Steppe 49

Лісовий М. В., Ніконенко В. М., Карацуба О. В., Сліденко О. І., Шимель В. В.

Вплив мінеральних добрив на якість зерна пшениці озимої на чорноземі типовому Лісостепу Лівобережного високого
Lisovyi M. V., Nikonenko V. M., Karatsiuba O. V., Slidenko O. I., Shimel V. V. Influence of mineral fertilizers on the quality of winter wheat grain on typical chernozem in the Left-Bank Forest-Steppe 59

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ / STUDIES of YOUNG SCIENTISTS

Водяк Я. М.

Вплив енергетичних культур на якість екосистемних послуг чорнозему опідзоленого важкосуглинкового
Vodiak Ya. M. Impact of energy crops on the quality of ecosystem services of Luvic Chernic Phaozem 64

Разуменко Ю. Л.

Диференціація вмісту хлорофілу, азоту та фосфору в листках сої різних ярусів
Razumenko J. L. Differentiation of the content of chlorophyll, nitrogen and phosphorus in soybean leaves of different tiers 72

ДАЙДЖЕСТ СУЧАСНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ПРО ҐРУНТ /

DIGEST of MODERN SOIL PUBLICATIONS

Дмитрук Ю. М.

Роздуми з книгою і про книгу
Dmytruk Y. M. Thinking with the book and about the book 79

З ІСТОРІЇ ІНСТИТУТУ ҐРУНТОЗНАВСТВА та АГРОХІМІЇ /

ON THE HISTORY of INSTITUTE for SOIL SCIENCE and AGROCHEMISTRY RESEARCH

Цапко Ю. Л., Лактіонова Т. М.

До 100-річчя від дня народження Бориса Олексійовича Соколовського: спогади
Tsapko Yu. L., Laktionova T. M. To the 100th anniversary of the birth of Borys Oleksiyovych Sokolovsky: memoirs 82

ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ SOIL PROPERTIES

УДК 631.551.321

Магнетизм корінних порід та магнітна сприйнятливість ґрунту

О. В. Круглов^{1*}, С. А. Попов²¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна²ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 18.12.2020 Отримано після доопрацювання 06.05.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	У статті представлено результати експедиційних досліджень із застосуванням магнітометричних методів для вивчення інтенсивності дії факторів ґрунтоутворення та просторового розподілу складу і властивостей ґрунтів. Мета дослідження – показати закономірності поширення ґрунтів з високими значеннями магнітних характеристик, що успадковані від материнських порід у результаті ґрунтоутворювального процесу та локалізації їх у профілі ґрунту. Методи визначення досліджуваних показників: питому магнітну сприйнятливість – за допомогою капамістка KLY-2; об'ємну магнітну сприйнятливості – капаметром КТ-5; індукцію магнітного поля – протонним магнітометром МП 203. Дослідження проводили на двох об'єктах, розташованих на території центральної частини Українського кристалічного щита (Кіровоградська область), де фоновими ґрунтами є чорноземи звичайні. Дослідженнями показано, що ґрунти, розвинуті на корі вивітрювання, характеризуються певними особливостями їх магнітних властивостей, що, зокрема, залежить від петромагнітних параметрів вихідних порід. Магнітна сприйнятливості ґрунтів на магнітних породах визначається, перш за все, успадкованими магнітними мінералами. Значення магнітної сприйнятливості таких ґрунтів мають два максимуми. Перший – у верхній частині профілю, де він визначається сумою педогенних та теригенних магнетиків. Другий максимум знаходиться у нижній частині профілю, що майже повністю складається з продуктів вивітрювання кристалічних порід.
Ключові слова: ґрунт; кристалічна порода; магнітометрія; магнітна сприйнятливості; педогенез	

*E-mail: alex_kruglov@ukr.net

Форма цитування: Круглов О.В., Попов С.А. Магнетизм корінних порід та магнітна сприйнятливості ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 4-11.
<https://doi.org/10.31073/acss91-01>

1. Вступ

Інформаційне забезпечення сучасних землеробства та екології формує запит на все більш високі вимоги до оперативності та щільності мережі досліджень. Цей факт обумовлює поширення високоефективних методів дослідження ґрунтового покриву, серед яких виділяються магнітометричні, що традиційно входять до арсеналу розвідувальної геофізики. Самі ж геофізики називають цю групу методів, у ґрунтознавчих модифікаціях, педомагнітними. Застосування цих методів, у світі та, безпосередньо у нашій державі, спрямовано на визначення еродованості ґрунтів, просторового розподілу елементів родючості, насамперед, умісту органічного вуглецю [1] і забрудненості ґрунтів важкими металами [2]. Комплексування педомагнітних методів з агрохімічними значно підвищує точність локалізації неоднорідностей агрономічно важливих характеристик ґрунту [3]. Теоретичною основою цих робіт є дослідження стану та мінеральної форми педогенних (утворених в результаті педогенезу) сполук заліза, в основному – групи феромагнетиків.

Проте магнітометричні методи мають низку обмежень, пов'язаних з існуванням у ґрунтах феромагнетиків. Їх джерелом є викиди підприємств чорної металургії та успадковані від ґрунтоутворних порід магнітні мінерали. Якщо у першому випадку, звичайно, спостерігається монотонне зменшення сигналу з відстанню від джерел забруднення, то вплив материнських порід практично неможливо прогнозувати. Площа ґрунтів, які потенційно можуть успадкувати теригенні сильно магнітні сполуки заліза становить біля 25 % території Українського кристалічного щита, тобто понад 2 млн га [4].

Мета статті – показати виявлені дослідженнями закономірності просторового розподілу ґрунтів з високими значеннями магнітних характеристик та профільного розподілу високих значень магнітної сприйнятливості ґрунту, що успадковані від материнських порід у результаті ґрунтоутворювального процесу.

2. Об'єкти досліджень, методи та матеріали

2.1. Об'єкти досліджень

Дослідження проводили на двох об'єктах, розташованих на території центральної частини Українського кристалічного щита. На об'єкті № 1 сильномагнітні ґрунти використовуються як рілля. Об'єкт розташований в Гайворонському районі Кіровоградської області (Рис.1). Ґрунтовий покрив представлено чорноземом звичайним важкосуглинковим на лесі, який підстиляється кристалічними породами. До магнітних порід відносяться меланократові двопіроксенові гнейси темно-сірого кольору, об'ємна магнітна сприйнятливість (МС) лежить в межах $10\text{--}100\cdot 10^{-3}$ од. СІ; до слабомагнітних - лейкократові, світло-сірі гнейси з гранатом і смугасті гранітоїди з МС у межах $0.2\text{--}5\cdot 10^{-3}$ од. СІ. Ці два різновиди порід розповсюджені на території приблизно порівну, та добре картується за допомогою магнітних зйомок [5].



Рис.1. Схема розташування об'єкта № 1.

На об'єкті № 1, розміром 200×200 м, дослідження проводили за регулярною мережею з кроком відбирання проб ґрунту 20×20 м. Всього, таким чином, було відібрано 124 проби ґрунту з орного шару (0-20 см), у яких визначено питому магнітну сприйнятливість.

Територія об'єкта № 2 використовується як пасовище. Він знаходиться у Новоархангельському районі Кіровоградської області (Рис. 2). Ґрунтовий покрив – чорнозем звичайний слабо- та середньозмитий на лесі та намиті ґрунти. Дослідження проведено по двох трансектах, вздовж яких проводили зйомку магнітного поля та визначення об'ємної магнітної сприйнятливості ґрунту. Геологічні дослідження вздовж трансект дозволили виділити 3 групи гірських порід, які підстиляють лес і місцями виходять на поверхню.

До першої групи належать магнітні граніти з такими характеристиками: значення магнітної сприйнятливості $\sim 30\text{--}40\cdot 10^{-3}$ од. СІ; дещо підвищені значення фактору Q (відношення природної залишкової намагніченості до індуктивної намагніченості зразка) $\sim 0.5\text{--}0.8$; орієнтація вектору залишкової намагніченості I_n не витримана, але здебільшого полого, з кутами від 0° до 30° . Виходячи з результатів проведеного авторами статті контрольного термомагнітного аналізу можна зробити висновок, що магнітні властивості ґрунту визначаються мінералом, близьким за властивостями до магнетиту, схильним до слабого окиснення – крива охолодження йде нижче кривої нагріву.

Друга група порід – власне приконтактна зона. Виділяється за зменшенням зернистості гранітів першої групи, шліровим (смугоподібним) характером розподілу мелано- і лейкократових компонент і, відповідно, великою розбіжністю значень магнітних параметрів. Так магнітна сприйнятливість, без суттєвих змін у зовнішньому вигляді порід, варіює від 0 до $150\cdot 10^{-3}$ од. СІ. Орієнтація вектора залишкової намагніченості порід цієї зони близька до сучасного поля. Фактор Q характеризується значеннями $0.5\text{--}0.8$.

До третьої групи віднесено практично немагнітні породи (значення магнітної сприйнятливості знаходяться в діапазоні $0.1\text{--}0.2\cdot 10^{-3}$ од. СІ), які спостерігаються на території понижених значень магнітного поля і представлені лейкократовими гранітоїдами.



Позначення: 1 і 2 – ґрунтові розрізи

Рис 2. Схема розташування об'єкта № 2.

2.2. Методи та матеріали

У дослідженнях використовували магнітометричні методи визначення: питому магнітну сприйнятливість визначали за методикою, описаною О.Ф. Вадюніною [6]; термомагнітний аналіз – за допомогою капамістка KLY-2; об'ємну магнітну сприйнятливість – капаметром КТ-5; індукцію магнітного поля – протонним магнітометром МП 203 [7]. Статистичну обробку результатів та побудову графіків та гістограм проведено у програмі Statistica 7. Картограми побудовано у середовищі Quantum GIS 3. Перелік порід кристалічного фундаменту визначили за результатами польового геологічного обстеження відслонень. На території об'єктів було досліджено по два ґрунтових розрізи, з визначенням магнітної сприйнятливості ґрунту кожного з генетичних горизонтів.

3. Стан проблеми

Ґрунти, магнітні характеристики яких, переважно, визначаються теригенними магнетиками, є предметом вивчення педомагнетизму з самого початку таких досліджень [8]. Зокрема високі значення магнітних характеристик ґрунтів є важливим чинником, вплив якого є суттєвим під час проведення розмінування території [9] та діагностування забруднення ґрунту важкими металами [10]. У педомагнітних класифікаціях ґрунтів запропоновано виділення таких ґрунтів в окремий таксон за магнітними властивостями [11].

Однією з перших країн, де було проведено системні педомагнітні дослідження ґрунтів, стала Великобританія. Британські дослідники показали, що найбільш магнітними є ґрунти, які розвиваються на слабовивірених породах пізнього докембрію та вивержених породах у Девоні, Корнуолі та північно-східній Шотландії, визначивши також найвищі показники частотної залежності (відношення значень магнітної сприйнятливості ґрунту, визначених на різних частотах приладу) $\chi_{FD\%}$ для цих ґрунтів, що вказує на їх збагаченість суперпарамагнетиками. Відзначено відсутність кореляційного зв'язку між магнітною сприйнятливістю та умістом C_{org} і рН у таких ґрунтах [12].

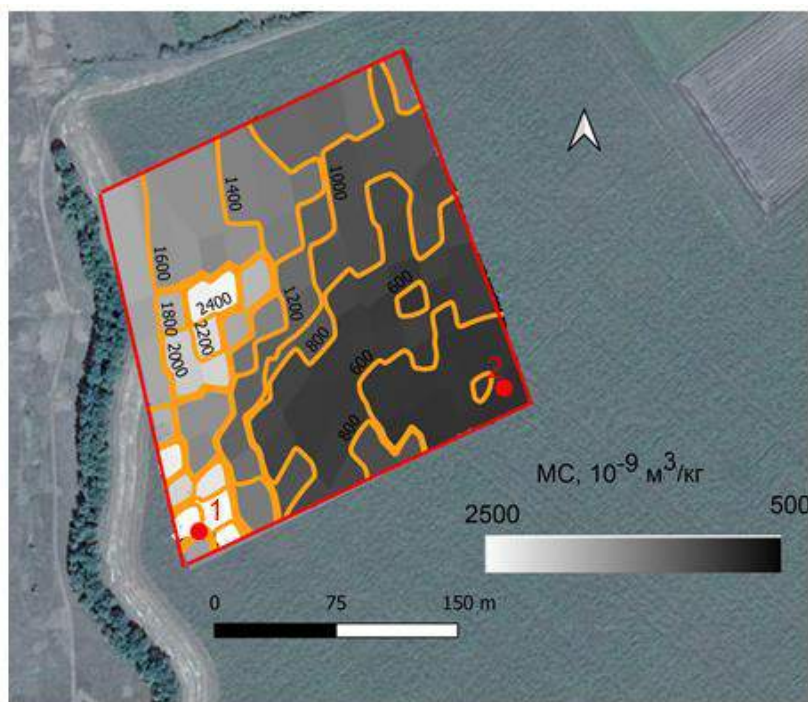
У подальшому попит на дослідження такого роду спостерігався на території кристалічних щитів у тропічному поясі [13,14] та на півдні центральної частини Канади [15]. Ці роботи підтвердили думку про відхилення розвитку магнетизму таких ґрунтів від загальної схеми, пов'язаної з ґрунтовою органікою [16]. Слід відзначити, що ґрунти, розвинуті на корах вивітрювання, характеризуються високим рівнем родючості; збагаченість мікроелементами створює умови для вирощування урожаю унікально високої якості, передусім продукції виноградарства. Існують країни, де такі ґрунти займають суттєву частку у сільськогосподарському виробництві. Так, у Чилі вони становлять понад 60 % оброблюваних земель [17].

Пізніше з'явилися повідомлення про розвиток сильномагнітних ґрунтів на відносно немагнітних породах. Тут парамагнітні сполуки заліза, високий вміст яких успадковано від материнських порід, трансформуються у феромагнітні у результаті ґрунтоутворювального процесу [18, 19].

В Україні відомі роботи, що поєднують педомагнітні дослідження з пошуками родовищ корисних копалин. Відзначено високий зв'язок магнітної сприйнятливості ґрунту з локальним магнітним полем та особливостями залягання порід кристалічного фундаменту [20]. Подібні висновки в більш складній геологічній ситуації було зроблено групою американських дослідників [21].

4. Результати та їх обговорення

Результати визначення питомої магнітної сприйнятливості у вигляді картограми просторового розподілу значень цього показника подано на рисунку 3.



Позначення: 1 і 2 – ґрунтові розрізи

Рис. 3. Картограма просторового розподілу магнітної сприйнятливості (МС) ґрунту в шарі 0-20 см на об'єкті № 1.

Дані картограми показують тенденцію підвищення значень МС в орному шарі ґрунту в західному та північно-північно-західному напрямках від розрізу 2. Дещо спрощено модель ділянки можна показати як сильномагнітні продукти вивітрювання, перекриті шаром лесових порід, потужність якого зменшується у напрямку від південно-східної частини ділянки до південно-західної.

Просторовий розподіл МС у межах дослідженої площі об'єкта варіює від фонових значень до $1800 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$. Описові статистики подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні статистичні показники просторового розподілу значень МС у ґрунті на об'єкті № 1 ($10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$)

Кількість спостережень	Середнє арифметичне	Мінімум	Максимум	Мода	Медіана	Середньо-квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації, %
124	1066,67	470,70	2611,10	п/м	845,20	470,70	44,13

Розподіл значень характеризується високою варіативністю (44,13 %) і є полімодальним. Значення медіани та середнього арифметичного суттєво відрізняються. Характер розподілу близький до логнормального (Рис. 4) з правою асиметрією.

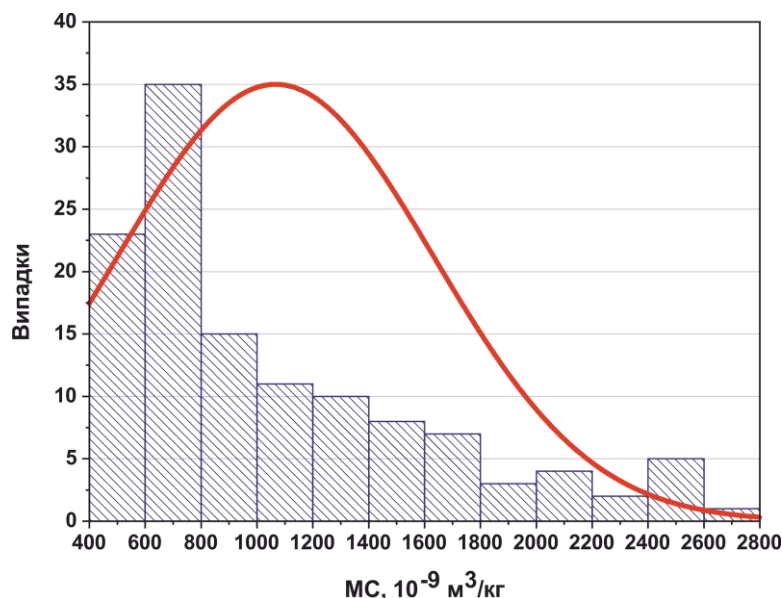


Рис. 4. Гістограма розподілу значень магнітної сприйнятливості (МС) ґрунту в шарі 0-20 см на об'єкті № 1.

Магнітну сприйнятливість обстежених ґрунтів у межах генетичних горизонтів було визначено у двох розрізах, місця розміщення яких показано на рисунку 3. Розріз 1 (Рис. 5 а) характеризується підвищеними значеннями МС, перевищення над фоновими значеннями приблизно в 2,2 раза. Максимум у верхніх горизонтах пояснюється сукупним впливом педогенних та теригенних магнетиків.

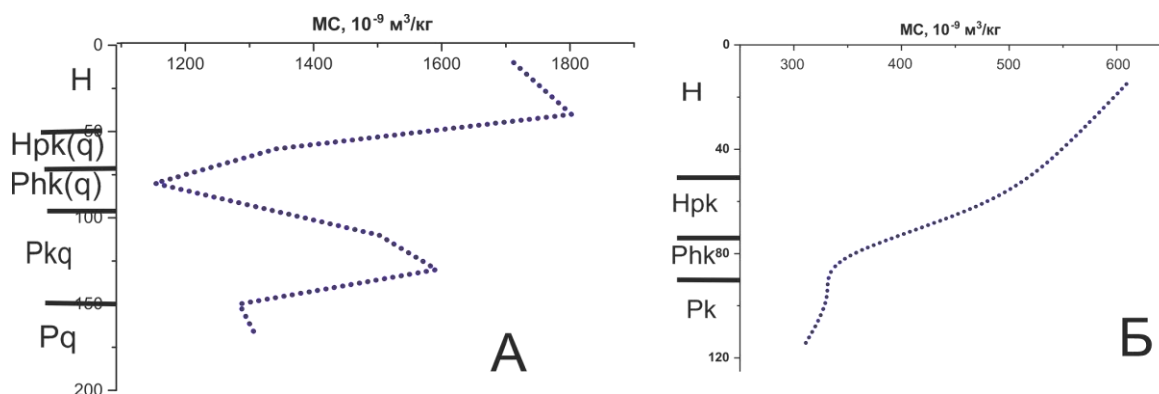


Рис. 5. Магнітна сприйнятливість (МС) обстежених профілів ґрунтів на об'єкті № 1 (а – розріз №1, б – розріз №2)

Подібну тенденцію було зафіксовано для ґрунтів, розвинутих на корі вивітрювання, у південних районах Індії [22]. МС карбонатної ґрунтоутворюючої породи (Ркq) при цьому в 5 разів вища за середнє значення для лесів. Співвідношення між значеннями МС у породі та в орному шарі (0-20 см) становить 1 : 1,4, що у понад 2 рази нижче, ніж у чорноземах на лесових породах [23]. Яскраво виражений лесовий шар відсутній: ґрунт розвинутий на темній рихлій породі з включенням вивітреного гравію (q), концентрація якого зростає з глибиною.

МС розрізу 2 (Рис. 5б) у гумусованій частині профілю відповідає фоновим значенням для території досліджень. Ґрунт розвинутий на середньосуглинковому лесі бурого кольору. Видимі карбонати знаходяться вище, ніж у розрізі 1. МС ґрунтоутворюючої породи на 25 % вища, ніж у фонових лесів.

На території об'єкта 2 було проведено зйомку об'ємної магнітної сприйнятливості намитих ґрунтів трансекти, що проходить вздовж берегової лінії річки Ятрань. Визначення проводили у шарах 0-15 і 16-25 см. Нижній шар містить включення з продуктів вивітрювання кристалічних порід. На нульових пунктах трансекти було виконано дві

ґрунтових прикопки, перша з них – на сильномагнітній породі – граніті. Результати обстеження подано на рис. 6.

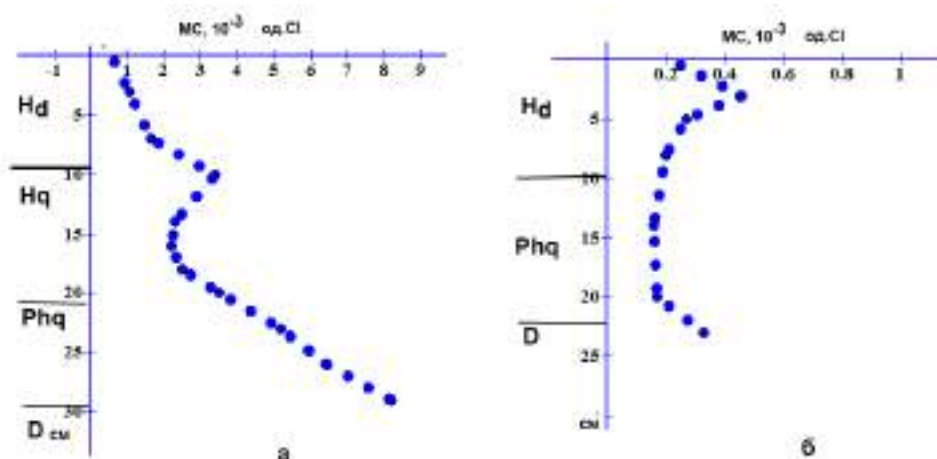


Рис. 6. Магнітна сприйнятливість (МС) ґрунту у межах генетичних горизонтів на об'єкті № 2 (а – прикопка №1, б – прикопка №2)

Ґрунт у прикопці №1 (Рис. 6а) характеризується високими значеннями об'ємної МС, що зростає з глибиною та зі збільшенням вмісту включень і досягає максимуму в кристалічній породі (D). У верхній частині профілю значення МС близьке до фоновому.

МС ґрунту прикопки № 2 з глибиною змінюється слабо, але максимальне значення, як і в попередньому випадку, спостерігається у кристалічній породі. Цю різницю ми пояснюємо різною щільністю будови ґрунту та породи (кристалічна порода в 2,5 раза щільніша за досліджуваний ґрунт).

Результати вимірювання значень індукції локального магнітного поля та МС ґрунту трансекти подано на рис. 7. Основні статистичні показники розподілу МС подано у таблиці 2.

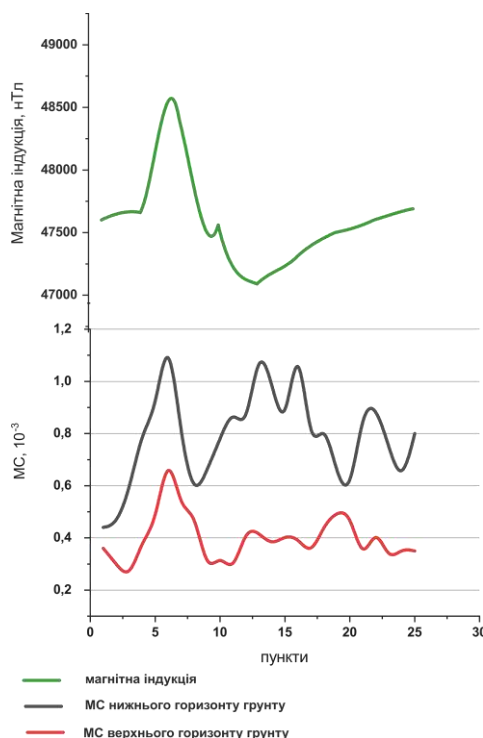


Рис 7. Магнітна індукція та магнітна сприйнятливість (МС) ґрунтів трансекти на об'єкті № 2

Вибірки характеризуються нижчою варіативністю, порівняно з об'єктом № 1, хоча коефіцієнт варіації (згідно з [24]) можна охарактеризувати як близький до високого. Також слід відзначити однакові значення середнього арифметичного та медіани, що, однак, зважаючи на полімодальність та малий об'єм вибірок, не дає змоги сформулювати надійний висновок.

Таблиця 2Основні статистичні показники розподілу значень МС ґрунту (10^{-3} од. СІ) на об'єкті № 2

Шар ґрунту, см	Кількість спостережень	Середнє арифметичне	Мінімум	Максимум	Мода	Медіана	Середньо-квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації, %
0-15	25	0,398	0,24	0,75	п/м	0,39	0,108	27,1
16-25	25	0,788	0,44	1,22	п/м	0,79	0,210	26,6

Загальні значення МС у верхньому шарі ґрунту на об'єкті № 2 є навіть трохи нижчими, ніж фонові значення МС ґрунтового покриву зони [25]. Всі параметри МС у верхньому шарі є удвічі нижчими, ніж у нижньому. Це пояснюється наявністю перевідкладеного ґрунту у верхньому горизонті та збільшенням вмісту включень і їхньої магнітності у напрямку згори донизу.

Дані на рис. 7 свідчать про існування зв'язку між МС різних шарів ґрунту та значень локального магнітного поля. Зокрема, це видно з локального максимуму у районі пунктів 4-8. Значення МС верхнього шару більш вирівняні, порівняно з нижнім, та демонструють більш тісний зв'язок зі значеннями магнітного поля.

5. Висновки

Ґрунти, розвинуті на корі вивітрювання характеризуються певними особливостями їхніх магнітних властивостей. У першу чергу, це залежить від петромагнітних параметрів корінних порід. На магнітних породах МС ґрунтів визначається успадкованими магнітними мінералами.

Магнітна сприйнятливість досліджених ґрунтів має два максимуми. Перший – у верхній частині профілю, де він визначається сумою педогенних та теригенних магнетиків. Другий знаходиться у нижній частині профілю, яка майже повністю складається з продуктів вивітрювання корінних порід.

Високий рівень успадкування ферромагнітного матеріалу ґрунтами дозволяє зробити припущення про можливість такого явища і для інших сполук, зокрема таких, вміст яких є обмежувальним фактором в органічному землеробстві та наукових дослідженнях.

Список використаних джерел

1. Menshov O., Kruglov O., Sukhorada A. Informational content of the soil magnetism indicators for solving agrophysical and soil science tasks. *Scientific Bulletin of the National mining University*. 2012. №3. P. 7-12.
2. Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine / M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, B. Kopcewicz [et al.]. *Geophys. J. Int.* 2004. №159. P.104–116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02370.x>.
3. Integration of geophysical, soil science and geospatial methods in the study of eroded soil / O. Kruglov, O. Menshov, M. Miroshnychenko, M. Shevchenko. Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 2020, (May 2020, Kyiv). P.1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo120>.
4. Мицкевич Б.Ф. Геохимические ландшафты Украинского щита. Киев: Наукова думка, 1971. 175 с.
5. Дортман Н.Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. Москва: Недра, 1984. 455 с.
6. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы определения физических свойств почв. Москва: Агропромиздат, 1986. 416 с.
7. Никитский В.Е., Глебовский Ю.С. Магниторазведка: Справочник геофизика. Москва: Недра, 1990. 470 с.
8. Le Borgne E. Susceptibilité magnétique anormal du sol superficial. *Ann. Geophys.* 1955. N11. P. 399-419.
9. Classification of soil magnetic susceptibility and prediction of metal detector performance: case study of Angola / H. Preetz, S. Altfelder, V. Hennings, J. Igel. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 7303. May 2009. <https://doi.org/10.1117/12.819394>.
10. Prediction of magnetic susceptibility class of soil using decision trees / M.Kurt, N. Duru, M.M. Canbay, H.T. Duru. *Tehnički vjesnik*. 2016. № 23. P. 83-90. <https://doi.org/10.17559/TV-20140807111130>.
11. Sukhorada A.V., Kruglov O.V. Classification of soils by their magnetic properties. 18th International Conference on Geoinformatics - *Theoretical and Applied Aspects*, (6-10 May 2019). P.1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902062>.
12. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set / J.A. Dearing, K.L. Hay, S.M.J. Baban [et al.]. *Geophys. J. Int.* 1996. № 127. P. 728-734. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb04051.x>.
13. Theveniaut H., Clarke B. Large scale magnetic susceptibility soil mapping: a proxy for geological mapping and exploration from Bogoso (Ghana). *Exploration Geophysics*. 2013. V. 44, Issue 1. P. 48-55. <https://doi.org/10.1071/EG12019>.

14. Magnetic Susceptibility of Soil to Differentiate Soil Environments in Southern Brazil / P.V. Ramos, R.S.D. Dalmolin, J.M. Júnior [et al.]. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2017. № 41, e0160189. Epub Jan 16, 2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160189>.
15. de Jong E., Kozak L.M., Rostad H.P.W. Effects of parent material and climate on the magnetic susceptibility of Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.* 2000. №80. P. 135–142. <https://doi.org/10.4141/S99-051>.
16. A conceptual model for the enhancement of magnetic susceptibility in soils / M.J. Singer, K.L. Verosub, P. Fine, J. TenPas. *Quat. Int.* 1996. №34-36. P. 243-248. [https://doi.org/10.1016/1040-6182\(95\)00089-5](https://doi.org/10.1016/1040-6182(95)00089-5).
17. Valle S.R., Carrasco J. Soil quality indicator selection in Chilean volcanic soils formed under temperate and humid conditions. *Catena*. V. March 2018, № 162. P. 386-395. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.024>.
18. Hanesch M. Petersen N. Magnetic properties of a recent parabrown-earth from Southern Germany. *Earth Sci. planet. Lett.* 1999. №169. P. 85-97.
19. Strongly magnetic soil developed on a non-magnetic rock basement: A case study from NW Bulgaria / H. Grison, E. Petrovsky, N. Jordanova, A. Kapička. *Stud. Geophys. Geod.* 2011. N 55. P. 697. <https://doi.org/10.1007/s11200-009-0489-5>.
20. Лукієнко О.І., Кравченко Д.В., Сухорада А.В. Дислокаційна тектоніка та тектонофації докембрію Українського щита. Київський університет, Київ, 2008. 280 с.
21. Integrated mineralogical and rock magnetic study of Deccan red bores / E. Font, T. Adatte, A. Abrajvitch [et al.]. In: Mass Extinctions, Volcanism, and Impacts: New Developments. Thierry Adatte, David P.G. Bond, Gerta Keller. GSA. 2020. [https://doi.org/10.1130/2019.2544\(08\)](https://doi.org/10.1130/2019.2544(08)).
22. Ananthapadmanabha A.L., Shankar R., Sandeep K. Rock magnetic properties of lateritic soil profiles from southern India: Evidence for pedogenic processes, *Journal of Applied Geophysics*, 2014. V.111, P. 203-210 <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2014.10.009>.
23. Водяницький Ю.Н. Оксиди заліза і їх роль в плодородії ґрунту. Москва: Наука, 1989. 160 с.
24. Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва: Высшая школа, 1990. 352 с.
25. Menshov O., Kruglov O., Sukhorada A. Magnetic properties of soils in boreal regions. Case study from Ukraine. EGU General Assembly 2014, (27 April - 2 May 2014, Vienna, Austria), 2014, id.90. Bibcode: 2014EGUGA.16. 90M

UDC 631.551.321

Rock magnetism and soil magnetic susceptibility**O.V. Kruglov^{1*}, S.A. Popov²**¹National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine²Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

*E-mail: alex_kruglov@ukr.net

Information support of modern agriculture and ecology forms a demand for ever higher requirements for efficiency and density of the sampling network. This fact determines the spread of high-performance methods of soil research, among which are magnetometric ones. However, these methods have a number of limitations associated with the existence in soils of ferromagnets of non-pedogenic nature. The purpose of the study is to show the patterns of spatial and profile distribution of soils with high values of magnetic characteristics, inherited from parent rocks as a result of pedogenesis. The research used: determination of specific magnetic susceptibility using kappabridge KLY-2, determination of volumetric magnetic susceptibility with kappameter KT-5 and induction of magnetic field by proton magnetometer MP 203. The study was conducted at two objects located in the central part of the Ukrainian shield region. Studies have shown that soils developed on the weathering crust are characterized by certain features of their magnetic properties. First of all, it depends on the petromagnetic parameters of the source rocks. On magnetic rocks, the MS of soils is determined primarily by inherited magnetic minerals. The magnetic susceptibility of such soils has two maxima. The first is in the upper part of the profile, where it is determined by the sum of pedogenic and terrigenous magnets. The second is located in the lower part of the profile, which consists almost entirely of weathering products.

Keywords: crystalline rocks, magnetometry, magnetic susceptibility, pedogenesis, soil.

Citing: Kruglov O.V., Popov S.A. 2021. Rock magnetism and soil magnetic susceptibility. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 4-11. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-01>.

УДК 631.67

Агрогенні зміни властивостей темно-каштанового цілинного та орного ґрунту за різного використання і зрошення**Л.І. Воротинцева^{1*}, В.І. Ніколюк²**¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна²Гідрогеолого-меліоративна дільниця Басейнового управління водних ресурсів нижнього Дніпра, м. Таврійськ, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 29.03.2021 Отримано після доопрацювання 27.04.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	У статті здійснено компаративний аналіз екосистемної значущості характеристик ґрунту, трансформованих в результаті зміни умов використання. На трьох моніторингових стаціонарних майданчиках у Чаплинському районі Херсонської області досліджено властивості темно-каштанового ґрунту (Haplic Kastanozem) на цілині (заповідник «Асканія-Нова») та за більше ста років використання у сільськогосподарському виробництві без зрошення і за 50-річного зрошення водою із Каховського магістрального каналу. Констатовано зміни сольового режиму ґрунту та складу обмінних катіонів. За зрошення відбулося підвищення загального вмісту водорозчинних солей до 0,14-0,21 % (токсичних солей – до 0,06-0,15 %), зміна складу солей, їх міграція та акумуляція у нижніх шарах ґрунту. Під дією зрошення прісною водою у темно-каштановому ґрунті відбувався процес розсолонцювання. Залучення цілинного ґрунту до сільськогосподарського використання призвело до зменшення загального вмісту гумусу та трансформації його групового складу – зниження вмісту гумінових кислот (ГК) і підвищення вмісту фульвокислот (ФК), а відношення С _{гк} /С _{фк} у шарі 0-10 см змінилося від 2,6 (у цілинному ґрунті) до 1,6 – у зрошуваному. Розорювання та сільськогосподарське використання темно-каштанового ґрунту призвело до зміни стану мікробного ценозу: зросла чисельність мікроорганізмів, що засвоюють мінеральний та органічний азот, актиноміцетів, оліготрофів та евтрофів. За зрошення ступінь трансформації мікробного ценозу посилюється. Показник біологічної деградації зрошуваного темно-каштанового ґрунту становив 4 %, що відповідає слабкому рівню деградації. Запропоновано набір із 10 показників якості досліджуваного ґрунту для розрахунку рівня надання ним екосистемних послуг (постачальної та підтримувальної). Представлено алгоритм і результати розрахунків. Ґрунт на всіх контрольованих майданчиках Маркеєвського стаціонару характеризується високим рівнем надання екосистемних послуг: 8,3 бала на цілині; 7,2 – на ріллі без зрошення і 7,5 – за зрошення.
Ключові слова: властивості ґрунту; екосистемні послуги; зрошення; оранка; сольовий склад; темно-каштановий ґрунт; цілина	

* E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

Форма цитування: Воротинцева Л.І., Ніколюк В.І. Агрогенні зміни властивостей темно-каштанового цілинного та орного ґрунту за різного використання та зрошення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 12-21. <https://doi.org/10.31073/acss91-02>

1. Вступ

Антропогенна діяльність, передусім сільськогосподарське використання ґрунтів, є вагомим чинником впливу на природну спрямованість процесів ґрунтоутворення, розвиток та властивості ґрунту. Ґрунти агроценозів зазнають механічного, меліоративного навантаження та хімічного впливу, внаслідок чого їх властивості відрізняються від цілинних аналогів. Зміни фізичних, фізико-механічних, хімічних, біологічних властивостей ґрунтів за різного їх використання та меліоративних навантажень в агровиробництві (зокрема, зрошення) часто мають негативний характер, що призводить до погіршення якості ґрунту, зниження його родючості та стійкості до дії різних чинників, розвитку деградаційних процесів, втрати біорізноманіття та рівня надання екосистемних послуг [1, 2, 3]. Ці питання на сьогодні є вкрай актуальними як на національному, так і на міжнародному рівнях.

Ступінь трансформованості ґрунту залежить від рівня навантаження, якого він зазнає, та його генетичних властивостей, що обумовлюють його буферність та стійкість до різних впливів. Саме ці чинники визначають характер змін властивостей ґрунту, їх зворотність або незворотність, можливість до самовідновлення. Тому для збереження властивостей ґрунтів, забезпечення виконання ними екосистемних послуг в умовах незбалансованого землекористування, зростання посушливості клімату та антропогенних навантажень слід дотримуватися науково-методологічних принципів сталого управління ґрунтовими ресурсами. Антропогенне навантаження на ґрунт має бути нормованим, а землекористування – збалансованим, для того щоб зберегти ґрунт, його властивості, родючість та здатність до відтворення. Стале землекористування і захист ґрунтів відіграють чи не найголовнішу роль у продовольчій безпеці та безпеці людини взагалі [4].

У науковій літературі багато уваги приділяється вивченню питань трансформації властивостей ґрунтів за використання їх у ріллі та впливу антропогенних навантажень, а

також спрямованості еволюції ґрунтів [2, 3, 5]. У працях В.В. Медведєва зі співавторами висвітлено вплив обробки на фізичні та водно-фізичні властивості ґрунту, питання фізичної деградації орних ґрунтів [1, 6, 8]. У роботі [8] показано, що ґрунти, які тривалий час розорюються, є полігенетичними утвореннями. У результаті антропогенної еволюції формується нове тіло – антропогенно перетворений ґрунт – агрозем, що є 4-вимірним тілом природи, параметри якого змінюються у просторі й часі. На прикладі чорноземів природних (цілина) та орних доведено, що важливою особливістю оброблюваного ґрунту є зростання його неоднорідності в горизонтальному напрямку, яка посилюється багаторічним обробітком та внесенням добрив. Відбуваються зміни режимів та властивостей ґрунтів: зростає рівноважна щільність та консолідованість ґрунту, структура порового простору стає бімодальною, відзначається гальмування процесів агрегації, втрачається здатність до оборотності властивостей і режимів як умова протидії деградаційним процесам.

Дослідженнями Ф. Лисецького та М. Родіонової встановлено [7], що ступінь впливу тривалого землеробства на темно-каштановий ґрунт найбільш інформативно діагностується 13 стійкими індикаторами агрогенно обумовлених трансформацій фізичних і хімічних властивостей. Найбільш тісну залежність від загальної тривалості такого впливу виявили для таких індикаторів, як вміст гумусу, загального азоту і карбонатів, водостійкість агрегатів і частка копролітів в агрономічно цінних фракціях.

У роботі [9] доведено, що перетворення природного лісу в сільськогосподарські угіддя достовірно знижує вміст мулу, органічної речовини, азоту, доступного фосфору, ємність катіонного обміну і склад обмінних основ, але збільшує щільність будови, електропровідність і обмінну кислотність.

Дослідженнями R. Srivastava et al. [10] встановлено, що перетворення природних пасовищ та лісових ґрунтів в орні землі впродовж 18 років призвело до збільшення у шарі 0-20 см щільності будови ґрунту на 16 %, зменшення вмісту органічної речовини та загального азоту на 50 %, зниження вологоємності ґрунту.

Дослідженнями В.В. Дегтярьова зі співавторами [11] встановлено, що 65-річне розорювання чорнозему типового і використання його в просапній сівозміні призводить до різкого зниження вмісту гумусу, особливо в верхній частині профілю. Лише в шарі 40-50 см чорнозему вміст гумусу майже не змінився порівняно з цілинним ґрунтом.

Проведення систематичного моніторингу та системного менеджменту потребують зрошувані ґрунти, які зазнають значних трансформацій, особливо за використання мінералізованих вод [12, 13]. У роботі N. Kachi et al. [14] показано, що в Алжирі більше 20 % зрошуваних земель є засоленими.

З метою нормування меліоративних навантажень Постановою Кабінету Міністрів України «Про нормативи екологічно безпечного зрошення, осушення, управління поливами та водовідведенням» (від 02.09.2020 р. № 766) встановлено нормативи зрошення та підготовлено Концепцію нормування меліоративних навантажень на ґрунтовий покрив зрошуваних земель [15]. Нормування означає встановлення обов'язкових нормативів, правил, регламентів, вимог щодо використання та охорони зрошуваних земель, дотримання вимог екологічної та санітарно-гігієнічної безпеки. Норми меліоративних навантажень мають бути орієнтовані на виконання завдань забезпечення сталості ґрунтів, відновлення їхньої родючості, збереження ґрунтового покриву і земельних ресурсів, мінімізації негативного впливу на ґрунти.

Моніторинг та діагностика властивостей орних ґрунтів, зокрема, зрошуваних, є основою для комплексного оцінювання їх стану, визначення екосистемних послуг, які ґрунти надають суспільству та розроблення управлінських рішень, спрямованих на збереження властивостей ґрунту та його родючості [16]. Це питання є особливо актуальним в умовах глобальних змін клімату та необхідності розширення площ зрошення згідно зі Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року [17]. Відновлення зрошення та дренажу є ключовим інструментом розвитку аграрного сектору економіки та нарощування експортного потенціалу України, мінімізації впливу клімату на процеси соціально-економічного розвитку регіонів. Але при цьому слід дотримуватися положень Концепції сталого управління ґрунтовими ресурсами меліорованих земель [18] та Концепції нормування меліоративних навантажень на ґрунтовий покрив зрошуваних земель [15].

Метою статті є висвітлення результатів дослідження агрогенних змін властивостей темно-каштанового ґрунту за тривалого сільськогосподарського використання і зрошення, визначення рівня екосистемних послуг, які надають ґрунти.

2. Об'єкти і методи досліджень

Дослідження проведено у 2014-2020 рр. на ключових моніторингових майданчиках Маркеєвського стаціонару (у с. Маркеєв) у Чаплинському районі Херсонської області. У межах стаціонару для спостережень було закладено три майданчика площею 100 м² згідно з Інструкцією з проведення ґрунтово-сольової зйомки на зрошуваних землях (ВНД 33-5.5-11-02, 2003) та Порядком проведення (ДСТУ 7850:2015): 1) природна цілина (біосферний заповідник «Асканія-Нова»); 2) рілля без зрошення і 3) рілля зрошувана протягом 50 років. Вік орних ділянок понад 100 років. Географічні координати стаціонарних майданчиків: 1. Природна цілина - 46°50'350 пн.ш., 34°03'416 сх.д.; 2. Без зрошення - 46°51'230 пн.ш., 34°06'033 сх.д.; 3. Зрошення - 46°51'404 пн.ш., 34°06'180 сх.д.). Зрошувана та незрошувана ділянки використовуються у польовій сівозміні.

Ґрунт – темно-каштановий слабосолонцюватий (Haplic Kastanozem) легкоглинистий на лесі. Вміст фізичної глини (часточки < 0.01 мм) – 61-64 %. Стаціонарні майданчики знаходяться в автоморфних умовах з глибиною залягання підґрунтових вод більше 10 м.

Для зрошення використовували воду із Каховського магістрального каналу, що характеризується як придатна для зрошення за агрономічними (згідно з ДСТУ 2730:2015) та екологічними (згідно з ДСТУ 7286:2012) критеріями (Табл. 1).

На стаціонарних майданчиках було закладено ґрунтові розрізи і свердловини для вивчення морфології ґрунтів та їх фізико-хімічних і мікробіологічних властивостей. Проби ґрунту відбирали щорічно, в період максимального солепроявлення – у серпні-вересні.

Проби ґрунту для аналітичних досліджень відбирали зі всієї глибини ґрунтового профілю, за генетичними горизонтами, та способом буріння свердловин (методом колонки) з шарів 0-25, 25-50, 50-75, 75-100, 100-150, 150-200, 200-250, 250-300 см, кожного року. Потім в лабораторії їх висушували до повітряно сухого стану і відбирали середні зразки ґрунту для аналізування.

У лабораторних зразках ґрунту визначали сольовий склад водної витяжки (згідно з ДСТУ 7943-7945:2015 і ДСТУ 7908-7909:2015) та вміст обмінних катіонів кальцію, магнію, калію та натрію за методом Тюринга (згідно з ДСТУ 7604:2014 і ДСТУ 7912:2015).

Чисельність ґрунтових мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп визначали методом висівання суспензій ґрунту відповідних розведень на щільні агаризовані живильні середовища у чашках Петрі [19]: 1. для визначення мікроорганізмів, що засвоюють органічний азот (амоніфікаторів), – на м'ясо-пептоновий агар; 2. мікроорганізмів, що засвоюють азот мінеральних сполук, та актиноміцетів – на крохмало-амонійний агар; 3. бактерій роду азотобактер – на середовище Ешбі з додаванням розчину мікроелементів; 4. оліготрофів – на голодний агар; 5. мікроміцетів – на середовище Ріхтера. Повторність всіх аналізів 4-кратна.

Математичну обробку даних здійснено за загальноприйнятими методами математичної статистики з використанням пакетів стандартних комп'ютерних програм (Microsoft Excel і Statistica 10.0).

Виконали параметризоване оцінювання двох екосистемних послуг цілинного, орного зрошуваного і незрошуваного ґрунтів – постачальної (продукційної – біопродуктивності) та підтримувальної (середовищеутворювальної – середовище існування рослин і мікроорганізмів), керуючись методикою, викладеною в [20], але з коригуванням та розширенням переліку оцінюваних показників до 10.

Параметри показників цих послуг включали три градації, з огляду на стан земель за відповідним показником та рівень надання екосистемних послуг: добрий стан / високий рівень (10 балів), задовільний стан / середній рівень (5 балів), незадовільний стан / низький рівень (0 балів). Узагальнене оцінювання виконали за формулою [20]:

$$EP = \sum_{i=1}^n e_i / n,$$

де EP – загальна оцінка рівня надання екосистемних послуг ґрунтом, бал;

e_i – оцінка рівня надання послуг за окремим показником, бал;

n – кількість показників.

3. Результати досліджень та їх обговорення

Результати досліджень свідчать, що розораність та сільськогосподарське використання цілинного ґрунту призводить до зміни природних фітоценозів, перетворення верхньої частини профілю в якісно новий культурний горизонт, втрати притаманної йому будови, режимів та властивостей. Зміна ландшафтно-екологічних умов призводить до

розвитку нових по суті й інтенсивності елементарних ґрунотворних процесів, під впливом яких вихідний ґрунт трансформується і формується антропогенно перетворений ґрунт. Зрошення додатково посилює зміни спрямованості природних ґрунтових процесів і режимів, трансформацію складу та властивостей ґрунтів, які визначаються ландшафтно-геохімічними умовами, хімічним складом поливної води, вихідними властивостями ґрунту та його стійкістю до дії екзогенних чинників.

Стаціонарний зрошуваний майданчик Маркеєвського стаціонару поливається водою з Каховської зрошувальної системи, хімічний склад якої досліджено впродовж 2014-2020 рр. Усереднені дані та діапазон коливань представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад води Каховської зрошувальної системи (середні дані та коливання у 2014-2020 рр.)

Статистичний показник	Вміст солей, г/дм ³	pH	Вміст іонів солей, мекв/дм ³					
			HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
min	0,28	6,91	1,96	0,60	0,32	1,20	0,40	0,41
max	0,50	7,51	3,90	1,90	3,18	3,10	3,30	2,39
середнє значення	0,39	7,20	3,04	1,08	1,36	2,41	1,71	1,37
стандартне відхилення	0,05	0,20	0,43	0,24	0,62	0,46	0,50	0,38
дисперсія	0,10	0,05	0,19	0,07	0,38	0,21	0,30	0,15
коефіцієнт варіації	0,13	0,03	0,14	0,22	0,46	0,19	0,32	0,28

Так, протягом періоду досліджень воду оцінювали як придатну для зрошення за агрономічними критеріями згідно з ДСТУ 2730:2015. Мінералізація води коливалася від 0,28 до 0,50 г/дм³ (стандартне відхилення $S = (\pm 0,05)$ г/дм³), реакція середовища нейтральна – pH=6,9-7,5 ($S = (\pm 0,2)$), тип засолення, переважно, гідрокарбонатно-кальцієвий. Співвідношення Ca/Na становило 1,4-3,1:1,0. У багаторічній динаміці значення показників хімічного складу зрошувальної води Каховської зрошувальної системи характеризувалися, переважно, середньою мінливістю, за винятком вмісту сульфатів і магнію, про що свідчать значення коефіцієнта варіації.

За вмістом важких металів (ВМ), згідно з ДСТУ 7286:2012, вода Каховської зрошувальної системи оцінювалася, як придатна для зрошення.

У триметровому профілі цілинного ґрунту загальний вміст водорозчинних солей варіює від 0,10 до 0,16 %, а токсичних солей – від 0,03 до 0,12 % (Табл. 2). Горизонт акумуляції солей відмічається на глибині 200-250 см, тип засолення – гідрокарбонатний магнієво-кальцієвий у верхніх шарах, а глибше – гідрокарбонатний кальцієво-магнієвий.

Таблиця 2

Сольовий склад темно-каштанового ґрунту Маркеєвського стаціонару

Майданчик	Шар ґрунту і підґрунтя, см	Вміст солей, %		pH	Вміст іонів, мекв/100 г ґрунту		Ca/Na
		загальний	токсичних		Ca ²⁺	Na ⁺	
1 Цілина	0-25	0,15	0,05	7,4	1,30	0,08	16,3
	25-50	0,12	0,04	7,5	0,98	0,09	10,9
	50-75	0,11	0,03	7,7	1,00	0,14	7,1
	75-100	0,10	0,05	7,8	0,65	0,16	4,1
	100-150	0,12	0,08	7,8	0,25	0,76	0,3
	150-200	0,14	0,11	7,7	0,25	1,07	0,2
	200-250	0,16	0,12	7,7	0,25	1,33	0,2
2 Без зрошення	250-300	0,15	0,11	7,8	0,23	1,35	0,2
	0-25	0,11	0,04	7,6	0,82	0,09	9,1
	25-50	0,13	0,06	7,8	0,88	0,09	9,8
	50-75	0,10	0,04	7,8	0,75	0,1	7,5
3 Зрошення	75-100	0,10	0,05	7,9	0,73	0,14	5,2
	0-25	0,15	0,06	7,6	1,05	0,3	3,5
	25-50	0,16	0,07	7,7	1,05	0,37	2,8
	50-75	0,15	0,08	7,7	0,85	0,37	2,3
	75-100	0,14	0,08	7,7	0,75	0,41	1,8
	100-150	0,14	0,09	7,8	0,68	0,57	1,2
	150-200	0,18	0,12	7,9	0,55	1,33	0,4
	200-250	0,18	0,13	7,7	0,4	1,74	0,2
	250-300	0,21	0,15	7,5	0,5	1,78	0,3

Реакція ґрунтового середовища у шарі 0-50 см нейтральна, а глибше – змінюється на слаболужну. Співвідношення іонів Ca/Na у шарі 0-50 см становить 11-16 : 1, у шарі 50-100 см – 4-7 : 1, а в нижніх горизонтах зростає до 0,2-0,3 : 1.

Встановлено, що незрошуваний ґрунт, який використовується у сільськогосподарському виробництві, за вмістом водорозчинних і токсичних солей істотно не відрізняється від цілинного. Відмічається лише незначне звуження співвідношення Ca/Na до 9-10 : 1 у шарі 0-50 см, що пов'язано зі зміною водного і повітряного режиму ґрунту та з вилуговуванням водорозчинних сполук углиб профілю.

Аналіз вмісту водорозчинних солей у триметровому профілі зрошуваного темно-каштанового ґрунту свідчить про те, що відбулося підвищення їх загального вмісту до 0,14-0,21 % (токсичних солей – 0,06-0,15 %) та вилуговування у нижні горизонти з акумуляцією на глибині 250-300 см. Унаслідок цього ступінь засоленості нижнього шару підвищився до слабкого. Тип засолення змінився на хлоридно-сульфатний кальцієво-натрієвий. Про зміну якісного складу солей свідчить також зменшення значень співвідношення Ca/Na до 3,5-1,2 : 1 (у шарі 0-100 см) і 1,2-0,3:1 (у шарі 100-300 см).

Для ґрунтів Степу Сухого склад ґрунтового вбирного комплексу (ГВК) є важливим показником, що визначає їх фізико-хімічні та фізичні властивості, оскільки темно-каштанові ґрунти за своєю природою є солонцюватими. За тривалої дії досліджуваних чинників (сільськогосподарське використання і зрошення) відбулася трансформація складу обмінних катіонів ґрунту.

Темно-каштановий ґрунт на стаціонарних майданчиках характеризувався слабким ступенем солонцюватості, при цьому вищим був уміст солонцювальних катіонів (частка натрію і калію у сумі обмінних катіонів) у цілинному ґрунті – 4,7 і 2,9 % відповідно у шарах 0-25 і 25-50 см (Рис. 1). Крім того дослідили, що вміст обмінного кальцію у цілинному ґрунті (шар 0-50 см) становив 72-75 % від суми обмінних катіонів.

Внаслідок розорювання цілинного ґрунту та зміни ландшафтно-екологічних умов відбулися зміни спрямованості ґрунтових процесів, що сприяло зниженню концентрації увібраних катіонів натрію та калію в шарах ґрунту 0-25 і 25-50 см відповідно до 4,2 і 2,5 %, при цьому вміст кальцію становив 58-65 % (шар 0-50 см).

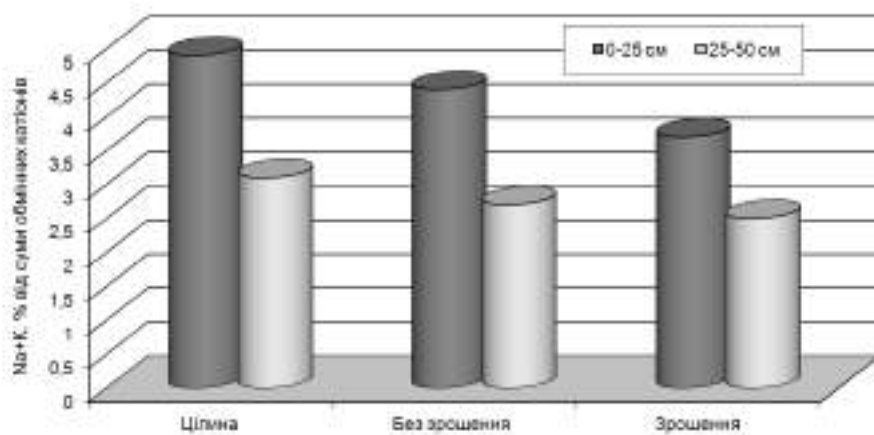


Рис. 1 Частка катіонів натрію і калію у сумі обмінних катіонів темно-каштанового ґрунту

У темно-каштановому ґрунті, що зрошувався прісною водою з Каховської зрошувальної системи, під дією води відбувався процес розсолонцювання. За результатами досліджень частка катіонів Na^+K^+ у сумі обмінних катіонів зменшилась з 4,7 до 3,7 % (шар 0-25 см) і з 2,9 до 2,3 % (шар 25-50 см). Частка обмінного кальцію у зрошуваному орному ґрунті знизилася до 56-61 % (шар 0-50 см).

Слід відзначити зростання частки обмінного магнію у ґрунті ріллі до 40-44 %, тоді як у цілинному ґрунті вона становить 25-31 % (шар 0-50 см). Тому можемо припустити, що саме обмінний магній впливає на солонцюватість орного зрошуваного ґрунту, визначає його морфологічні та агрофізичні показники. Солонцювальну здатність магнію встановлено дослідженнями І.М. Антипова-Каратаєва [21] та С.І. Соколова [22].

Важливим показником, що визначає властивості ґрунту є гумусовий стан. Аналіз даних вмісту гумусу в ґрунтах Маркеєвського стаціонару свідчить (Табл. 3) про те, що зміна ландшафтно-екологічних умов внаслідок освоєння цілини (фрагментів цілинного ґрунту заповідника «Асканія-Нова») та сільськогосподарського використання призвела до суттєвого зменшення вмісту гумусу у темно-каштановому ґрунті. Так, цілинний ґрунт

заповідника характеризувався дуже високим (у шарі 0-10 см) і високим (у шарі 10-30) вмістом гумусу.

Внаслідок розорювання та сільськогосподарського використання змінилася спрямованість ґрунтових процесів, прискорилися процеси мінералізації органічної речовини, що призвело до зменшення загального вмісту гумусу. Але на даному етапі (стадія стабілізації процесів гуміфікації-мінералізації) не виявлено істотного впливу тривалого зрошення прісною водою на загальний вміст гумусу.

Таблиця 3

Склад гумусу темно-каштанового ґрунту Маркеєвського стаціонару

Майданчик	Шар ґрунту, см	Вміст гумусу, %	Груповий склад гумусу		
			Сгк, %	Сфк, %	Сгк/Сфк
1 Цілина	0-10	5,5	0,83	0,32	2,6
	10-30	4,3	0,51	0,19	2,7
2 Без зрошення	0-10	3,2	0,45	0,22	2,0
	10-32	2,6	0,38	0,20	1,9
	32-54	1,5	0,17	0,10	1,7
3 Зрошення	0-13	3,0	0,49	0,30	1,6
	13-34	2,4	0,37	0,20	1,9
НІР ₀₅	0-10	0,19	-	-	-
	10-50	0,24	-	-	-

Аналіз групового складу гумусу темно-каштанового ґрунту на стаціонарних майданчиках Маркеєвського стаціонару свідчить, що залучення ґрунту в обробіток та сільськогосподарське використання призвело до зниження вмісту гумінових кислот (ГК) і підвищення вмісту фульвокислот (ФК), а відношення Сгк/Сфк у шарі 0-10 см змінилося від 2,6 (у цілинному ґрунті) до 1,6 – в орному зрошуваному (див. табл. 3). Аналогічну закономірність автори встановили раніше і на темно-каштанових ґрунтах Інгулецької системи за зрошення слабомінералізованими водами [23], що підтверджується також дослідженнями Н.П. Панова зі співавторами [24]. Відбуваються зміни у структурі ГК, пов'язані зі збільшенням частки аліфатичних компонентів у складі їх молекул. Для забезпечення позитивного балансу органічної речовини у зрошуваних ґрунтах необхідним є дотримання високого агрофону, внесення органо-мінеральних добрив, вирощування багаторічних та сидеральних культур.

Одним із чутливих та інформативних показників зміни стану ґрунту є біологічна складова. Мікроорганізми певним чином реагують на мінливість екологічних чинників, тому чисельність мікрофлори й активність мікробіологічних процесів можуть бути діагностичними показниками в оцінці трансформації властивостей зрошуваних ґрунтів [3]. Ґрунтове біорізноманіття відіграє важливу роль у функціонуванні екосистем та наданні ними послуг – забезпечувальної, регулювальної, підтримувальної, які є не лише важливими для функціонування природних екосистем, а й забезпечують стає управління агроландшафтами.

Як природний еталон може виступати мікробний пул цілинного ґрунту, для якого характерним є домінування мікроорганізмів з К-Стратегією (уповільнений ріст, високоефективне використання джерел живлення, ускладнений життєвий цикл) [8]. Розорювання ґрунту та використання його у ріллі призводить до зміни стану мікробного ценозу та зростання чисельності мікрофлори, зокрема мікроорганізмів з R-стратегією (прискорене розмноження, спрощений життєвий цикл [8, 25]).

Механічний обробіток при оранці перетворює верхню частину профілю цілинного ґрунту в пухкий орний шар, внаслідок чого покращуються водно-повітряний і тепловий режими, збільшується чисельність та активність мікрофлори. Тому в темно-каштановому орному ґрунті зросла чисельність мікроорганізмів, що засвоюють мінеральні та органічні азот, актиноміцетів, оліготрофів, евтрофів (Табл. 4). Підвищення показників мінералізації та оліготрофності у незрошуваному ґрунті порівняно з цілинним (відповідно з 0,46 до 0,56 та з 1,54 до 2,06) свідчить про інтенсивніший перебіг процесів та погіршення поживного режиму за сільськогосподарського обробітку ґрунту і зміни екологічних умов. При цьому чисельність мікроорганізмів збільшилася на 35 %.

На зрошуваній ділянці порівняно з незрошуваною також відбулося підвищення показників оліготрофності та мінералізації, що свідчить про погіршення поживного режиму та інтенсивніший перебіг процесів. Коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини ґрунту був вищим на цілині, що свідчить про більш високий рівень функціональної активності ґрунту, що підтверджується також дослідженнями О. Л. Тонхи

[25]. В орному незрошуваному та зрошуваному ґрунті цей показник знижується відповідно з 23,1 до 20,3 та 17,9. Більш висока чисельність грибів та оліготрофів у зрошуваному ґрунті свідчить про погіршення поживного режиму та токсичність ґрунту, незважаючи на використання придатної води. Показник біологічної деградації зрошуваного темно-каштанового ґрунту становив 4 %, що відповідає слабкому рівню деградації. Отже, під впливом розорювання ґрунту та зрошення відбулися зміни біологічних показників темно-каштанового ґрунту.

Таблиця 4

Стан мікробних ценозів темно-каштанового ґрунту за різного використання

Стационар- ний майданчик	Мікроорганізми, що засвоюють азот, млн КУО/г сухого ґрунту			Актино- міцети, млн КУО/г сухого ґрунту	Гриби, тис. КУО/г сухого ґрунту	Оліго- трофи, млн КУО/г сухого ґрунту	Евтро- фи, млн КУО/г сухого ґрунту	Показники					
	орга- ніч- ний	мінеральний	бактерії					Оліго- трофності	Мінера- лізації	МТОРГ	СБП, %	ПБД, %	
1 Цілина	14,04	21,69	13,95	7,74	14,80	16,56	35,74	0,46	1,54	23,13	100	–	
2 Без зрошення	17,15	35,43	24,35	9,25	18,20	22,55	40,61	0,56	2,06	20,29	135	–	
3 Зрошення	12,82	32,47	27,47	5,00	21,50	26,72	45,31	0,59	2,53	17,88	115	-4	
НІР ₀₅	2,09	5,43	–	1,28	6,29	7,58	–	–	–	–	–	–	

Скорочення: МТОРГ – коефіцієнт мікробної трансформації органічної частини ґрунту; СБП – сумарний біологічний показник; ПБД – показник біологічної деградації.

Для комплексного оцінювання стану ґрунту Маркеєвського стаціонару було застосовано екосистемний підхід, що базується на визначенні екосистемних послуг, які ґрунт надає суспільству і навколишньому середовищу – це послуги із забезпечення людства природними ресурсами, «здоровим» середовищем існування, а також іншими екологічно та економічно значущими продуктами. Оцінювання рівня екосистемних послуг досліджуваних ґрунтів проводили за десятибальною шкалою за показниками, перелік яких наведено у таблиці 5.

Таблиця 5

Показники та шкала оцінювання рівня надання постачальної та підтримувальної екосистемних послуг ґрунтом на Маркеєвському стаціонарі

Показник якості ґрунту	Характеристика якості та стану ґрунту		
	рівень надання ґрунтом екосистемних послуг (балів)		
	добрий (10)	задовільний (5)	незадовільний (0)
Клас якості зрошувальної води	1 клас	2 клас	3 клас
Рівень залягання підґрунтових вод, м	> 5,0	5,0	< 5,0
Ступінь засоленості ґрунту в шарі 0-100 см	незасолений	слабкий	середній, сильний
Ступінь солонцюватості ґрунту в шарі 0-50 см	несолонцюватий	слабкий	середній, сильний
Категорія забрудненості ґрунту в шарі 0-50 см	допустима	помірно небезпечна	небезпечна
Вміст мінерального азоту в ґрунті, шар 0-50 см	високий	середній, підвищений	низький, дуже низький
Вміст рухомих сполук фосфору, в ґрунті, шар 0-50 см	високий	середній, підвищений	низький, дуже низький
Вміст рухомих сполук калію, в ґрунті, шар 0-50 см	високий	середній, підвищений	низький, дуже низький
Вміст гумусу, шар 0-30 см	високий	середній, підвищений	низький
Мікробіологічна активність ґрунту. Відхилення біологічних показників від еталона, %	< 10	10-25	> 25

Стан ґрунту на кожному стаціонарному майданчику оцінювали на підставі власних результатів досліджень за кожним окремим показником, наведеним у таблиці 5. Добрий

стан земель за певним показником відповідав високому рівню надання екосистемних послуг та оцінювався в 10 балів, задовільний – 5 балів, незадовільний – 0 балів. Потім розраховували загальну оцінку рівня надання постачальної та підтримувальної екосистемних послуг (ЕП) ґрунтом майданчика, використовуючи вище наведену формулу: суму балів за окремими показниками, включеними в аналіз на кожному з майданчиків поділили на кількість показників. Результати бальної оцінки якості ґрунту й розраховані ЕП представлено в таблиці 6.

Таблиця 6

Рівень надання екосистемних послуг (ЕП) темно-каштановим ґрунтом Маркеєвського стаціонару

Показник якості ґрунту	Оцінка якості ґрунту на майданчиках, балів		
	1 Цілина	2 Без зрошення	3 Зрошення
Клас якості зрошувальної води	-	-	10
Рівень залягання підґрунтових вод	10	10	10
Ступінь засоленості ґрунту в шарі 0-100 см	10	10	10
Ступінь солонцюватості ґрунту в шарі 0-50 см	5	5	5
Категорія забрудненості ґрунту в шарі 0-50 см	5	5	5
Вміст мінерального азоту в ґрунті, шар 0-50 см	10	5	5
Вміст рухомих сполук фосфору, в ґрунті, шар 0-50 см	5	5	5
Вміст рухомих сполук калію, в ґрунті, шар 0-50 см	10	10	10
Вміст гумусу, шар 0-30 см	10	5	5
Мікробіологічна активність ґрунту. Відхилення біологічних показників від еталона	10	10	10
Рівень надання ЕП	8,3	7,2	7,5

За результатами розрахунків виявили, що найбільш високим рівнем надання ЕП відрізнявся цілинний ґрунт – 8,3 бала; для орного зрошуваного ґрунту рівень становив – 7,5 і незрошуваного – 7,2 бала. У незрошуваних умовах обмежувальним чинником постачальної (продукційної) послуги є водний режим ґрунту, що потребує застосування зрошення в умовах посушливого клімату.

Рівень надання ґрунтом послуг (ЕП) визначали за 10-бальною шкалою згідно з рекомендованими [0] градаціями: низький рівень – 0-4,0 бали; середній – 4,1-7,0 балів; високий – 7,1-10,0 балів. Отже, досліджуваний темно-каштановий ґрунт на всіх майданчиках Маркеєвського стаціонару характеризується високим рівнем надання екосистемних послуг.

Результати оцінювання рівня надання ґрунтом екосистемних послуг, як функції їх еколого-агромеліоративного стану, можуть слугувати підставою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо напрямків раціонального, оптимального їх використання та розробки комплексу диференційованих, адаптованих заходів з меліорації та поліпшення їх стану, як однієї із складових сталого менеджменту ґрунтових ресурсів та агрокліматичної адаптації до змін клімату.

5. Висновки

Дослідженнями встановлено, що зміна типу землекористування і ландшафтно-екологічних умов призводить до розвитку нових по суті й інтенсивності елементарних ґрунотворних процесів, під впливом яких вихідний ґрунт трансформується і формується антропогенно перетворений ґрунт. За зрошення відбулося підвищення загального вмісту водорозчинних солей до 0,14-0,21 % (токсичних солей – 0,06-0,15 %), зміна їх якісного складу (співвідношення Са/Na зменшилося у шарі 0-50 см від 11-16:1 (цілинний ґрунт) до 9-10:1 (незрошуваний ґрунт) та 3-4:1 (зрошуваний ґрунт)) та вилуговування їх у нижні горизонти, унаслідок чого ступінь засолення підвищився до слабкого. За розорювання цілинного ґрунту та зміни ландшафтно-екологічних умов відбулися зміни спрямованості ґрунтових процесів, що вплинуло на склад увібраних катіонів ГВК. Під дією зрошення прісною водою відбувався процес розсолонцювання темно-каштанового ґрунту.

Залучення цілинного ґрунту до сільськогосподарського використання призвело до зменшення вмісту гумусу та трансформації його групового складу: зниження вмісту ГК і підвищення вмісту ФК, а відношення Сгк/Сфк змінилося від 2,6 до 1,6 та 2,0.

Біологічна складова є одним із чутливих та інформативних показників зміни стану ґрунту. За розорювання в темно-каштановому ґрунті зросла чисельність мікроорганізмів, що засвоюють мінеральний та органічний азот, актиноміцетів, оліготрофів, евтрофів. Підвищення показників мінералізації та оліготрофності в орному незрошуваному ґрунті порівняно з цілинним (відповідно з 0,46 до 0,56 та 1,54 до 2,06) свідчить про більш інтенсивний перебіг процесів та погіршення поживного режиму за сільськогосподарського обробітку ґрунту та зміни екологічних умов. Більш висока чисельність грибів та оліготрофів у зрошуваному ґрунті свідчить про погіршення поживного режиму та токсичність ґрунту, незважаючи на цілковиту придатність зрошувальної води. Показник біологічної деградації зрошуваного темно-каштанового ґрунту становив 4 %, що відповідає слабкому рівню деградації.

Досліджувані ґрунти Маркеєвського стаціонару характеризувалися високим рівнем надання екосистемних послуг, при цьому найбільш високими значеннями показника відрізнявся цілинний ґрунт.

Список використаних джерел

1. Медведєв В.В., Пліско І.В. Критерії і нормативи фізичної деградації орних ґрунтів (пропозиції до вдосконалення нормативної бази). *Вісник аграрної науки*. 2017. № 3. С. 11-17. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201703-02>.
2. Сучасні проблеми деградації ґрунтів та заходи щодо досягнення нейтрального її рівня / С. А. Балюк, В. В. Медведєв, Л. І. Воротинцева, В. В. Шимель. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5-11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-01>.
3. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України/ за наук. ред. С. А. Балюка, М. І. Ромащенко, В. А. Сташука. Київ: Аграрна наука, 2009. 624 с.
4. Nkonya E., Mirzabaev A., von Braun J. Economics of Land Degradation and Improvement: An Introduction and Overview. In: Nkonya E., Mirzabaev A., von Braun J. (eds) *Economics of Land Degradation and Improvement – A Global Assessment for Sustainable Development*. Springer, Cham, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3_1.
5. Балюк С. А., Трускавецький Р. С. Системне управління трансформаційною спрямованістю та родючістю ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 10. С. 10-16. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201510-02>.
6. Медведєв В.В., Пліско І.В., Бігун О.М. Фізичні властивості орних ґрунтів України. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 7. С. 10-15. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201507-02>.
7. Lisetskii F.N., Rodionova M.E. Transformation of Dry-Steppe Soils under Long-Term Agrogeogenic Impacts in the Area of Ancient Olbia. *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48 (4). P. 347–358. <https://doi.org/10.1134/S1064229315040055>.
8. Медведєв В.В. Новітні властивості антропогенно змінених ґрунтів. Сценарії антропогенної еволюції ґрунтового покриву. Харків: ФОП Бровін О.В., 2017. 162 с.
9. Tellen V., Yerima B. Effects of land use change on soil physicochemical properties in selected areas in the North West region of Cameroon. *Environmental Systems Research*. 2018. Vol. 7(3). <https://doi.org/10.1186/s40068-018-0106-0>.
10. Srivastava R., Mohapatra M., Latore A. Impact of land use changes on soil quality and species diversity in the Vindhyan dry tropical region of India. *Journal of Tropical Ecology*. 2020. Vol. 36, Issue 2. P. 72-79. <https://doi.org/10.1017/S0266467419000385>.
11. Дегтярьов В.В., Крохін С.В., Жернова О.С. Уміст гумусу в цілинних і агрогенних чорноземах України. *Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва*. Серія Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів. 2016. № 1. С. 13-25.
12. Козленко Є.В., Морозов О.В., Морозов В.В. Інгулецька зрошувальна система: стан, проблеми, перспективи розвитку/ за ред. О.В. Морозова. Херсон: Айлант, 2020. 321 с.
13. Чорноземи масивів зрошення Одещини / за ред. Є.Н. Красехи та Я.М. Біланчина. Одеса, 2016. 194 с.
14. Kachi N., Kachi S., Bousnoub A.H. Effects of Irrigated Agriculture on Water and Soil Quality (Case Perimeter Guelma, Algeria). *Soil and Water Research*. 2016. Vol. 2. 11. P. 97–104. <https://doi.org/10.17221/81/2015-SWR>.
15. Концепція нормування меліоративних навантажень на ґрунтовий покрив зрошуваних земель/ С.А. Балюк, Л.І. Воротинцева, М.А. Захарова та ін. Київ: Аграрна наука, 2020. 76 с.
16. Воротинцева Л.І. Системний підхід до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 41-50. <https://doi.org/10.31073/acss89-05>.
17. Стратегія розвитку зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.09.2019 р. №688-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/688-2019-p>
18. Концепція сталого управління ґрунтовими ресурсами меліорованих земель. Харків: Стиль-Іздат, 2020. 46 с.
19. Методы почвенной микробиологии и биохимии/ Д.Г. Звягинцев, И.В. Асеева, И.П. Бабьева, Т.Г. Мирчинк / под ред. Д.Г. Звягинцева. Москва: Изд-во Московского ун-та, 1980. 224 с.
20. Оцінювання екосистемних послуг засоленних ґрунтів під впливом меліорації: методичні рекомендації / за ред. С. А. Балюка, О. М. Дрозд. Харків, 2017. 128 с.
21. Антипов-Каратаев И.Н., Антипова-Каратаева Т.Ф., Ясиновский А.Н. Физико-химические исследования свойств почв в зависимости от состава обменных катионов. *Коллоидный журнал*. 1935. Т.1. Вып. 3-4. С. 42-49.
22. Соколов С.И. О магниевой солонцеватости почв. Исследования в области генезиса почв. Москва, 1963. С. 203-206.

23. Балюк С., Ладних В., Солоха М. Моніторинг еколого-агромеліоративного стану земель Інгулецької зрошувальної системи і напрями їх подальшого використання. *Водне господарство України*. 2011. № 4. С. 20-24.

24. Панов Н.П., Мамонтов В.Г., Кончица В.А. Изменение гумусового состояния темно-каштановых почв при орошении слабоминерализованной водой. *Известия ТСХА*. 1994. Вып. 2. С. 87-95.

25. Тонха О.Л. Відновлення біологічної активності і гумусного стану чорноземів типових і звичайних України : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук / 06.01.03. Київ, 2016. 42 с.

UDC 631.67

Agrogenic changes in the properties of dark chestnut virgin and arable soil with different use and irrigation

L.I. Vorotyntseva^{1*}, V.I. Nikoliuk²

¹ National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

² Hydrogeological and reclamation section of the Basin management of water resources of the lower Dnieper, Tavriysk, Ukraine

* E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

In the article, it was provided a comparative analysis of the ecosystem significance of soil characteristics transformed as a result of changes in the use conditions. At the three monitoring stationary sites in the Chaplinka district of the Kherson region, we studied the properties of dark chestnut soil (Haplic Kastanozem) on virgin lands (a biosphere reserve "Askania-Nova") and with more than a hundred years of use in agricultural production without irrigation and with a 50-year irrigation with water from the Kakhovsky trunk canal. Changes in the salt regime of the soil and the composition of exchangeable cations were established. In irrigation the total content of water-soluble salts up to 0.14-0.21% (toxic salts – up to 0.06-0.15 %) was increased. The composition of salts was changed, their migration and accumulation in the lower soil layers. Under the influence of fresh water irrigation, the process of dealkalinization in the dark chestnut soil took place. The involvement of virgin soil in agricultural use led to a decrease in the total content of humus and the transformation of its group composition. The content of humic acids (HA) was decreased. The content of fulvic acids (FA) was increased. The HA/FA ratio in the 0-10 cm layer changed from 2.6 (in virgin soil) to 1.6 in irrigated soil. The plowing and agricultural use of the dark chestnut soil led to a change in the state of the microbial cenosis. The number of microorganisms assimilating mineral and organic nitrogen, actinomycetes, oligotrophs, and eutrophs were increased. With irrigation the degree of transformation of the microbial cenosis increases. The indicator of biological degradation of irrigated dark chestnut soil was 4 %. This corresponds to a low level of degradation. A set of 10 indicators of the quality of the studied soil was proposed for calculating the level of its provision of ecosystem services (supplying and supporting). The algorithm and calculation results are presented. The soil of all monitoring sites of Markeev station is characterized by a high level of provision of ecosystem services. In virgin soil it was 8.3 points; in arable soil without irrigation – 7.2 and with irrigation - 7.5 points.

Keywords: dark chestnut soil; ecosystem services; irrigation; plowing; salt composition; soil properties; virgin.

Citing: Vorotyntseva L.I., Nikoliuk V.I. 2021. Agrogenic changes in the properties of dark chestnut virgin and arable soil with different use and irrigation. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 12-21. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-02>.

ґРУНТОВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН SOIL NUTRITION of PLANTS

УДК 631.816.33

Вплив глибини локалізації мінеральних добрив на поживний режим чорнозему опідзоленого важкосуглинкового та врожайність ячменю ярого

В.М. Смиченко, М.М. Мірошніченко

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 27.10.2020 Отримано після доопрацювання 12.05.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	Мета статті – висвітлення результатів вивчення впливу глибини локального внесення мінеральних добрив на поживний режим ґрунту та врожайність ячменю ярого. Дослідження проводили впродовж 2018 - 2020 рр. у тимчасовому дрібноділянковому досліді. Ґрунт – чорнозем опідзолений важкосуглинковий (Luvic Chernic Phaeozem). Порівнювали ефективність внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ на глибину 10-12 см та 20-22 см від поверхні ґрунту. Ширина міжрядь посівів ячменю 15 см, стрічку добрив розміщували на відстані 4-5 см убік від рядка. Змішані проби ґрунту відбирали у стрічках внесення добрив двічі за вегетаційний період ячменю – у першу половину вегетації та після збирання врожаю. Вегетаційний період у 2018 р. був посушливим на початку та під час досягання зерна, у 2019 р. – посушливим під час формування зернівки, а у 2020 р. – був добре зволоженим та відносно прохолодним. Встановлено, що за посушливих умов на початку вегетації ячменю у 2018 році найбільший запас мінерального азоту був за неглибокого розташування стрічки (10-12 см), а за доброго зволоження у 2019 і 2020 рр. більш ефективним виявилось внесення тукосуміші на 20-22 см від поверхні. Внесення добрив на 20-22 см також забезпечило дещо вищий рівень вмісту рухомого фосфору та калію у ґрунті на початку вегетації, ніж внесення на глибину 10-12 см. Після збирання врожаю ячменю найбільше накопичення мінерального азоту у ґрунті у 2018 р. виявлено за неглибокого внесення добрив, а у 2019-2020 рр. – за глибокого внесення. Відзначено тенденцію накопичення більшої кількості хлорофілу у рослинах за збільшення глибини внесення добрив. Локальне внесення добрив дало достовірне збільшення врожаю на всіх варіантах досліді, але за розміщення стрічки добрив на глибині 20-22 см прибавка була вдвічі вищою, ніж за глибини 10-12 см. Внесення нітроаммофоски на глибину 20-22 см є більш ефективним, ніж суміші простих та складних добрив. Зроблено висновок, що гідротермічні умови вегетаційного періоду та глибина розташування стрічки мінеральних добрив взаємопов'язано впливають на поживний режим ґрунту. Перевага глибокого внесення добрив є найбільш вагомою за недостатнього зволоження.

* E-mail: ecosoil@meta.ua

Форма цитування: Смиченко В.М., Мірошніченко М.М. Вплив глибини локалізації мінеральних добрив на поживний режим чорнозему опідзоленого важкосуглинкового та врожайність ячменю ярого. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 22-30. <https://doi.org/10.31073/acss91-03>

1. Вступ

Уперше припосівне внесення суперфосфату рядковим способом за вирощування цукрових буряків запропонував у 1880 р. професор Харківського університету А. Е. Зайкевич [1]. Пізніше, на підставі багаторічних досліджень, В.К. Трапезников із співавторами довели, що розвиток кореневої системи рослин в осередку високої концентрації поживних речовин у стрічці внесення добрив сприяє активізації фізіологічних процесів у рослинах, зокрема обумовлює ріст та розгалуженість кореневої системи [2, 3]. Дослідження А.І. Фатєєва [4] показали, що мінімальне перемішування мінеральних добрив з ґрунтом, за їх локального внесення, уповільнює трансформацію легкодоступних рослинам форм фосфору та калію у важкодоступні. При цьому із фракцій мінеральних фосфатів у ґрунті поповнюються насамперед рихлозв'язані фосфати та фосфати алюмінію, а з фракцій калію – легкорозчинні форми. Отже, локальний спосіб внесення мінеральних добрив є більш ефективним ніж розкидний як у фізіологічному, так і в агрохімічному розумінні. Узагальнення результатів 40 польових експериментів, з опублікованих у період 1982-2015 рр., показує, що локалізація добрив підвищує врожайність польових культур на 3,7 %, вміст елементів живлення у ґрунті – також на 3,7 %, а в надземній частині рослин – на 11,9 % [5].

Кліматичні зміни, подорожчання енергоносіїв та підвищена вимогливість сучасних сортів і гібридів сільськогосподарських культур до умов мінерального живлення спонукають до удосконалення технологічних аспектів локалізації внесення добрив. За локального внесення добрива розміщують у ґрунті безперервними або пунктирними стрічками на оптимальній

відстані від насіння. Придатність сучасних технічних засобів до поєднання операції внесення мінеральних добрив із обробітком ґрунту та сівбою значно знижує енергоємність виконання робіт [6]. Поряд із цим, щодо просторового розміщення (локалізації) стрічок добрив єдиного рішення не може бути. Занадто мілке загортання добрив стимулює поверхнєве розміщення кореневої системи рослин, що має негативні наслідки у разі настання посушливих умов, особливо в першу половину вегетації. Оптимізація глибини розміщення поживних речовин має гарантувати, що коріння рослин буде поглинати достатню їх кількість протягом усього вегетаційного періоду. Критерієм оптимізації розміщення добрив є їх позиційна доступність кореням рослин під час їхнього росту, що досягається створенням так званих «зон трофічного комфорту» [7].

Враховуючи, що верхній шар ґрунту на більшій частині ріллі часто пересихає за сучасних погодно-кліматичних умов, під зернові культури суцільної сівби рекомендують розташовувати стрічки добрив на глибині 8-15 см з інтервалом 15-30 см [8]. У Швеції встановлено рівнозначну ефективність розташування стрічки добрив під час сівби зернових культур у кожне міжряддя і через міжряддя, що дозволяє вдвічі скоротити кількість тукових сошників, зменшити тяговий опір і металоємність сівалки [9]. Українські дослідники О.Г. Жатов із співавторами вважають, що таке розташування стрічки основного добрива є занадто далеким від рядів насіння, і для початкового розвитку кореневої системи рослин потрібно одночасно додавати до стрічки розміщення насіння невелику дозу фосфорних добрив [10]. На цей час такий підхід найчастіше реалізується у практиці землеробства, але також є спроби триярного розміщення добрив [11].

Результати багатьох досліджень вказують на доцільність більш глибокого розміщення стрічки добрив. Так, R. Borges та A.P. Mallarino, в умовах гребеневого обробітку ґрунту на півночі американського кукурудзяного поясу, показали високу ефективність глибокого (15-20 см від поверхні) розміщення калійних добрив під кукурудзу, але значно слабший ефект від такого прийому для фосфорних добрив [12]. Однак, в окремих випадках не було виявлено переваг від збільшення глибини стрічкового внесення, зокрема для азотних та фосфорних добрив під ячмінь, яру пшеницю та ріпак на чорноземних ґрунтах Канади [13, 14].

Глибоке розміщення азотних добрив раніше застосовували переважно на перезволожених ґрунтах у районах рисосіяння, що дозволяє зменшити інгібування азотфіксації за внесення сечовини [15]. Сучасні дослідження удосконалюють цю технологію у напрямі досягнення більш контрольованого вивільнення азоту, що дозволяє ефективно застосовувати глибоке внесення сечовини також під інші культури [16]. У Японії було доведено, що глибоке (до 20 см) внесення вапнякової селітри із контрольованим вивільненням азоту позитивно впливає на ріст та врожайність сої [17]. Для технічного забезпечення такої операції розробляється спеціальне знаряддя, що комбінується із глибокорозпушувачами ґрунту [18]. Глибоке розміщення стрічки мінеральних добрив виявилось найбільш ефективним за вирощування пшениці ярої на каштановому ґрунті Західного Забайкалля, як засіб, що мінімізує наслідки настання посушливих умов упродовж вегетаційного періоду [19]. Ячмінь ярий також позитивно відгукується на локалізацію мінеральних добрив, причому для оптимізації калійного живлення доцільно не тільки збільшувати глибину внесення, але й зменшувати дозу добрив [20]. Дослідженнями К.В. Павлова та М.М. Новикова показано, що локалізація калійних добрив збільшує інтенсивність та розміри надходження калію до рослин ячменю [21].

На сучасному ринку мінеральних добрив їх асортимент за вмістом основних елементів живлення та ступенем розчинності дуже різноманітний. Однак, наукової інформації щодо особливостей вивільнення поживних речовин зі стрічки різних форм добрив та подальшого їх використання рослинами протягом вегетаційного періоду дуже мало. Якщо дослідження впливу рядкового (локального) внесення традиційних гранульованих мінеральних добрив проводились ще у 1940-х роках і продовжуються до нашого часу, то особливості дії різноглибинного внесення комплексних водорозчинних добрив практично не вивчено.

Метою досліджень було визначення впливу глибини локального внесення мінеральних добрив на поживний режим ґрунту та врожайність ячменю ярого.

2. Матеріали та методи

2.1. Характеристика об'єктів дослідження та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2018 - 2020 рр. у тимчасовому дрібноділянковому досліді на території Коротичанського дослідного поля, що входить у структуру ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського», розташованого поблизу с. Новий Коротич Харківського району Харківської області. Ґрунт – чорнозем опідзолений важкосуглинковий (Luvic Chernic Phaeozem) на лесоподібному суглинку. Ділянки (повторності дослідів), закладено у різних частинах одного дослідного поля, тому

за близьких значень вмісту органічного вуглецю (2,2-2,4 %), у ґрунті були різними рівні вмісту рухомого фосфору та калію: 46 та 123 мг/кг у 2018 р., 87 та 88 мг/кг у 2019 р., 76 та 54 мг/кг у 2020 р., відповідно. Тобто, ґрунт під дослідом, за середнього рівня забезпеченості фосфором, мав високий рівень вмісту калію у 2018 р., підвищений – у 2019 р. та середній – у 2020 р.

Схема дослідів (варіанти):

1. Контроль (без добрив);
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (комплексні добрива) локально на глибині 10-12 см;
3. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (комплексні добрива) локально на глибині 20-22 см;
4. $N_{30}P_{30}K_{30}$ (комплексні добрива) локально на глибині 10-12 см + $N_{30}P_{30}K_{30}$ (комплексні добрива) локально на глибині 20-22 см;
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (суміш простих добрив) локально на глибині 20-22 см.

У 1-4 варіантах застосовували мінеральні добрива у вигляді нітроамофоски, у 5 варіанті – у вигляді амофосу, аміачної селітри і калію хлористого. Повторність дослідів триразова, площа кожної дослідної ділянки 4 м² (2×2 м). Вирощувана сільськогосподарська культура – ячмінь ярий сорту Геліос. Насіння ячменю загортали на глибині 5-6 см. Ширина міжрядь – 15 см, стрічку добрив розміщували на відстані 4-5 см убік від рядка. Агротехнологічні операції (за винятком обробітку ґрунту) – внесення добрив, посів, розпушування, прополювання, збирання та облік урожаю проводили вручну.

Змішані проби ґрунту відбирали двічі за вегетаційний період ячменю – у першу половину вегетації та після збирання врожаю у стрічках внесення добрив на кожній із повторностей дослідів окремо.

У пробах ґрунту визначали вміст рухомих форм фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова (ДСТУ 4115:2002) та вміст нітратного й амонійного мінерального азоту – за методом, модифікованим ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (ДСТУ 4729:2007). Польову вологість ґрунту визначали термостатно-ваговим методом. Вміст азоту, фосфору і калію у рослинних пробах визначали після мінералізації методом мокрого озолення за МВВ 31-497058-019-2005 [22]. Вміст хлорофілу у листках вимірювали портативним приладом SPAD-502 Plus.

1.2. Метеорологічні особливості вегетаційних періодів

Погодні умови вегетаційних періодів ячменю ярого у 2018-2020 рр. були достатньо різноманітними (Табл. 1). Порівняно із середніми багаторічними даними, температура повітря у квітні-травні й липні 2018 р. та квітні-червні 2019 р. виявилася вищою, а впродовж усього вегетаційного періоду 2020 р. – нижчою. Особливо спекотним був червень 2019 р., а найбільш прохолодним – квітень 2020 р.

Поряд із цим, квітень-травень і липень 2018 р. та червень-липень 2019 р. були дуже посушливими, а кількість опадів упродовж усієї вегетації 2020 р. перевищувала середню багаторічну норму. Вищезазначені особливості погодних умов дозволяють характеризувати вегетаційний період 2018 р. як посушливий на початку та на етапі досягання зерна, 2019 р. – як посушливий під час формування зернівки, а 2020 р. – як добре зволожений та відносно прохолодний.

Таблиця 1

Погодні умови в період досліджень 2018-2020 рр. (за даними метеопоста ХНАУ ім. В.В. Докучаєва)

Місяць	Середня температура повітря, °С				Сума опадів, мм			
	2018	2019	2020	середня багаторічна	2018	2019	2020	середня багаторічна
Квітень	12,4	11,5	9,2	11,0	12,9	44,5	46,3	34,5
Травень	19,9	18,4	15,6	17,9	15,9	43,4	57,5	38,9
Червень	21,6	24,8	19,3	21,9	43,5	15,2	68,1	42,2
Липень	23,0	21,4	21,3	21,9	28,7	38,8	83,3	50,2
Квітень-липень	19,2	19,0	16,3	18,2	101,0	141,9	255,2	165,8

3. Результати та обговорення

3.1. Вологість ґрунту у стрічці розміщення добрив

Ячмінь має короткий вегетаційний період, тому за невисокої загальної потреби до кількості продуктивної вологи в ґрунті негативно реагує на недостатнє зволоження у

період активного нарощування стебло-листової маси. Вміст вологи в орному шарі на час відбирання проб ґрунту впродовж вегетації коливався від 11,0 до 23,2 %, а після збирання врожаю – від 9,9 до 23,1 %, тобто, в інтервалі між вологістю стійкого в'янення та вологістю розриву капілярної кайми (Табл. 2). За таких умов запаси продуктивної вологи у верхньому 20-сантиметровому шарі ледве досягають рівня 20 мм, що вважається мінімально необхідним для задовільного куціння ячменю [23]. Нестача вологи в орному шарі ґрунту на початку вегетації ячменю перешкоджає утворенню вторинних коренів, що надалі веде до погіршення умов живлення рослин.

Таблиця 2

Вологість ґрунту на глибині внесення добрив під час вегетації та після збирання врожаю

Варіант досліджу	Глибина, см	Вологість ґрунту, %					
		2018		2019		2020	
		30.05	03.08	30.05	03.09	17.06	21.07
Контроль (без добрив)	10-22	16,1	24,3	23,1	10,8	11,7	23,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	10-12	13,6	24,3	23,2	11,7	11,5	22,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	20-22	16,1	23,7	22,5	10,8	11,3	22,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	10-12	17,4	23,9	22,2	9,9	11,0	22,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	20-22	17,0	24,2	22,2	10,9	11,3	22,2
<i>HIP₀₅</i>		1,8	0,3	0,6	0,8	0,6	0,5

Наведені у таблиці 2 дані не показують великої різниці між вологістю ґрунту на різних глибинах (10-12 та 20-22 см), де було розміщено стрічки добрив, адже вологоутримувальна здатність ґрунту в межах орного шару однакова. Тому не можна стверджувати, що більш глибока локалізація добрив на чорноземному ґрунті має метою їх розміщення у більш зволоженому шарі. На нашу думку, збільшення глибини локалізації добрив може лише стимулювати більш глибоке розміщення вторинних коренів ячменю. За спостереженнями В.К. Трапезникова, локалізація добрив сприяє інтенсивному розгалуженню кореневої системи рослин [2, 3]. Це підтверджено також подальшими дослідженнями J. Grossman та K. Rice на ячмені [24], L. Hongbo та F. Zhang [25], S. Costa et al. [26] на кукурудзі, F. Hansel et al. на сої [27], де виявлено прямий зв'язок між глибиною розміщення стрічки добрив, параметрами архітектури кореневої системи та врожайністю цих культур.

3.2. Вміст доступних форм елементів живлення у зоні локалізації добрив

Відомо, що мінеральні форми азоту в ґрунті є найбільш рухомими серед основних елементів живлення, а рівень їхньої концентрації визначається, насамперед, дозами та способом внесення добрив, інтенсивністю мікробіологічної активності та споживанням рослинами. Навколо гранул мінеральних добрив формується осередок підвищеної концентрації азоту, розміри та конфігурація якого залежать від водного режиму ґрунту, а мікробіологічні процеси перетворення азоту уповільнюються, що було помічено ще Ф.В. Турчиним [28]. Неоднорідність просторового розподілу азоту у стрічці внесення добрив значно збільшує строкатість даних щодо його вмісту у пробах ґрунту на різних варіантах досліджу, адже за дози N₆₀P₆₀K₆₀ відстань від гранули добрив є достатньо великою. Варіанти досліджу відрізнялися за вмістом азоту в 3-5 разів, причому строкатість аміачного азоту була більшою за нітратний азот (Табл. 3). Разом з тим, наведені дані свідчать, що за посушливих умов на початку вегетації ячменю у 2018 році найбільший запас мінерального азоту виявили за неглибокого розташування стрічки (10-12 см), а за доброго зволоження у 2019-2020 рр. більш ефективним виявилось внесення тукосуміші на 20-22 см від поверхні.

На відміну від легкорозчинної азотної складової мінеральних добрив, міграція фосфат-іонів обмежена радіусом декількох сантиметрів від гранули добрива [29, 30]. Через це під час вегетації рослин між варіантами досліджу не спостерігається такої великої різниці щодо рухомого фосфору, як це було виявлено для мінеральних форм азоту (Табл. 4). Вочевидь, термін 1-2 місяці після внесення добрив є недостатнім для формування таких осередків підвищеної концентрації рухомого фосфору, щоб це позначалося на трофічному стані ґрунту в цілому, а поліпшення живлення рослин досягається тільки завдяки наближенню коренів до гранул. Між варіантами із глибоким розташуванням стрічки не спостерігалось сталої істотної різниці вмісту рухомого фосфору. Однак, внесення добрив на 20-22 см забезпечує дещо вищий рівень середніх за 3 роки значень цього показника, ніж внесення на глибину 10-12 см.

Таблиця 3

Вміст мінерального азоту в ґрунті у стрічці внесення добрив під час вегетації

Варіант досліджу	Вміст мінеральних сполук азоту в ґрунті, мг/кг								
	2018			2019			2020		
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього
Контроль (без добрив)	2,3	5,1	7,4	0,9	3,2	4,1	1,1	4,2	5,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	7,0	8,9	15,9	1,4	6,3	7,7	1,0	4,7	5,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	4,9	6,5	11,4	1,6	3,1	4,7	1,5	5,3	6,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	3,3	4,4	7,7	4,7	3,6	8,3	1,8	5,6	7,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	3,2	3,9	7,1	6,9	9,4	16,3	12,3	13,4	25,7
<i>HIP₀₅</i>				2,0	1,4	3,4	1,3	5,5	9,2

Оптимальну глибину внесення добрив під ячмінь ярий R. Karamanos et al. [14] також пов'язують з гідротермічними умовами, віддаючи провідну роль температурі на глибині формування стрічки

Таблиця 4

Вміст рухомих форм фосфору і калію в ґрунті у стрічці внесення добрив під час вегетації

Варіант досліджу	Вміст рухомих форм фосфору і калію в ґрунті, мг/кг							
	P ₂ O ₅				K ₂ O			
	2018	2019	2020	середній	2018	2019	2020	середній
Контроль (без добрив)	46	88	76	70	123	88	54	89
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	55	93	66	71	140	84	45	90
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	51	105	71	76	129	86	44	87
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	49	115	73	79	122	90	43	85
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	49	96	86	77	130	86	59	92
<i>HIP₀₅</i>	3,9				8,8			

Вміст рухомого калію має схожі тенденції. Оскільки фосфор і калій входять до складу нітроамофоски у рівних частках, цілком закономірно простежується тісна кореляція між рухомими формами цих елементів у ґрунті: $r=0,88$ у 2018 р., $r=0,53$ у 2019 р., $r=0,87$ у 2020 р. Разом з тим, розмах коливань вмісту рухомого калію в ґрунті за варіантами досліджу є значно меншим, ніж варіювання за роками, обумовлене різним агрофоном та (можливо) строкатістю дослідного поля. Після збирання врожаю ячменю накопичення мінерального азоту в ґрунті виявило аналогічну з вегетаційним періодом тенденцію, а саме: найвищий вміст у 2018 р. зафіксовано за неглибокого внесення добрив, а у 2019-2020 рр. – за глибокого внесення тукоsumіші (Табл. 5).

Таблиця 5

Вміст мінерального азоту в ґрунті у стрічці внесення добрив після збирання врожаю

Варіант досліджу	Вміст мінеральних сполук азоту в ґрунті, мг/кг								
	2018			2019			2020		
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	усього
Контроль (без добрив)	1,5	2,3	3,8	9,5	27,9	37,4	2,5	2,8	5,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	6,7	7,2	13,9	7,6	19,0	26,6	3,4	2,5	5,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	5,3	4,0	9,3	10,7	29,6	40,3	3,1	2,1	5,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	1,7	3,9	5,6	8,0	14,5	22,5	2,7	3,7	6,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	4,9	5,5	10,4	9,1	72,6	81,7	4,7	2,1	6,8
<i>HIP₀₅</i>	2,8	2,2	4,9	2,2	13,0	13,8	1,0	0,8	0,8

На нашу думку, основною причиною такої збіжності є те, що найбільше споживання азоту відбувається під час активного нарощування стебло-листової маси у першу половину вегетації. Поряд з цим, завдяки сприятливим для нітрифікації гідротермічним умовам може відбуватися багаторазове зростання вмісту мінерального азоту, особливо у нітратній формі, як це було у 2019 р. Відомо, що основними зовнішніми чинниками, що регулюють нітрифікаційну активність ґрунту, є температура, вологість, рН та структурний стан ґрунту, причому максимум нітрифікації спостерігається за температури 31,2 °С [31]. Високі температури червня 2019 р. за доброго зволоження ґрунту сприяли такому збільшенню вмісту мінерального азоту, що в декілька разів перевищило різницю між варіантами за рахунок внесення добрив.

На відміну від азоту, найвищі середні параметри вмісту рухомого фосфору та калію у ґрунті відзначено за внесення нітроаммофоски на глибину 20-22 см (Табл. 6). Однак, цю перевагу досягнуто за рахунок сильного зростання у 2019 році, тоді як за посушливих умов 2018 року більш високий вміст рухомого фосфору та калію спостерігався за неглибокого внесення добрив, а 2020 - за дворівневої стрічки (на 10-12 см та 20-22 см). Поряд із цим, варіабельність вмісту рухомого фосфору та калію значно збільшилася за вегетаційний період. Коефіцієнти варіації зросли від 5-10 для P_2O_5 і 2-5 для K_2O під час вегетації до 8-34 і 5-10 після збирання відповідно. Найбільш імовірною причиною цього є повільне розчинення гранул добрив, особливо за посушливих умов.

Таблиця 6

Вміст рухомих форм фосфору і калію в ґрунті у стрічці внесення добрив після збирання врожаю

Варіант досліджу	Вміст рухомих форм фосфору і калію в ґрунті, мг/кг							
	P_2O_5				K_2O			
	2018	2019	2020	середній	2018	2019	2020	середній
Контроль (без добрив)	38	79	78	65	110	60	64	78
$N_{60}P_{60}K_{60}$ (комплексні) 10-12 см	63	103	76	81	148	53	56	86
$N_{60}P_{60}K_{60}$ (комплексні) 20-22 см	54	188	74	105	118	124	49	97
$N_{60}P_{60}K_{60}$ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	47	122	92	87	117	82	63	87
$N_{60}P_{60}K_{60}$ (тукосуміш) 20-22 см	47	109	83	80	105	76	44	75
<i>HIP₀₅</i>		32				18		

Експериментально доведено, що локальне внесення калійних добрив оптимізує динаміку калійного живлення ячменю, збільшуючи інтенсивність поглинання калію у другу половину вегетації [32]. Разом з тим, враховуючи високі темпи падіння рівня вмісту рухомого калію в ґрунті після припинення внесення добрив, встановлені А.О. Христенко [33], не можна впевнено розраховувати на значну післядію локалізації у наступні роки. Післядія фосфорних добрив більш тривала, але через невизначеність позиційного розташування рядків посіву наступних культур переваги локалізації можуть бути втраченими, адже для максимального споживання фосфору кореневою системою злаків відстань від рядка до стрічки внесення добрив має бути не більше 5 см [34-35].

Загалом, оскільки вміст легкодоступного рослинам азоту в ґрунті відображує як його накопичення внаслідок мінералізації, так і вилучення рослинами, то цей показник не може бути критерієм виявлення найефективнішого способу внесення. Те саме буде справедливим і для рухомих форм фосфору та калію. Тому, вирішальним у визначенні оптимальної глибини внесення має бути рівень урожайності культури поточного року.

3.3. Формування врожаю зерна ячменю

Для перевірки правильності гіпотези про позитивний вплив заглиблення стрічки добрив на продукційний процес рослин ячменю ярого, на етапі формування зернівки (17.06.2020 р.) було проведено вимірювання вмісту хлорофілу у листках за допомогою портативного приладу SPAD-502 Plus. Результати цих вимірювань, наведені в табл.7, показують наявність позитивної тенденції до накопичення більшої кількості хлорофілу зі збільшенням глибини внесення добрив, однак у межах найменшої істотної різниці за рівня значущості 95 %.

Таблиця 7

Вміст хлорофілу у листках ячменю ярого залежно від глибини внесення та форм добрив

Варіант досліджу	Вміст хлорофілу, одиниць SPAD-502
Контроль (без добрив)	45,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	48,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	51,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	49,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	48,9
<i>HIP₀₅</i>	7,2

Виявлено дуже тісну кореляцію ($r=0,98$) урожайності зерна ячменю з вмістом хлорофілу у листках (Табл. 8). Порівняно з контролем, усі способи внесення добрив дали достовірне збільшення врожаю. Однак, за розміщення стрічки добрив на глибині 20-22 см збільшення було майже вдвічі вищим, ніж за глибини 10-12 см.

Таблиця 8

Урожайність зерна ячменю ярого залежно від глибини внесення та форм добрив

Варіант досліджу	Урожай зерна ячменю, т/га			
	2018	2019	2020	середній
Контроль (без добрив)	2,80	3,30	3,50	3,20
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см	2,99	4,68	4,51	4,06
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 20-22 см	3,33	6,36	4,60	4,76
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (комплексні) 10-12 см та 20-22 см	2,97	5,45	4,55	4,32
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ (тукосуміш) 20-22 см	2,87	5,34	4,03	4,08
<i>HIP₀₅</i>	0,25	1,41	0,58	-

Суміщення NPK в одній гранулі нітроамофоски виявилось більш ефективним, ніж внесення суміші простих та складних добрив, коли осередки азоту, фосфору та калію добрив дистанційовані один від одного. Помітно, що перевага більш глибокого розміщення стрічки добрив простежувалася кожного року: 2018-2019 на рівні значущості 95 %, а 2020 р. – на рівні тенденції. Отже можна припустити, що більш глибоке розміщення стрічки добрив під ячмінь ярий є більш доцільним, особливо за сучасних змін клімату в бік посушливості весняно-літнього періоду.

4. Висновки

1. Гідротермічні умови вегетаційного періоду та глибина розташування стрічки мінеральних добрив взаємопов'язано впливають на поживний режим ґрунту. За посушливих умов найбільший вміст мінерального азоту, рухомого фосфору та калію в орному шарі формується за неглибокого розташування стрічки (10-12 см), а за доброго зволоження – за внесення добрив на 20-22 см від поверхні ґрунту, що може бути пов'язано як з неповним споживанням елементів живлення рослинами, так і з уповільненням розчинення гранул добрив у більш сухому ґрунті.

2. Найвищий вміст хлорофілу у листях ячменю та найвищу врожайність зерна зафіксовано за внесення комплексних мінеральних добрив у формі нітроамофоски на глибину 20-22 см від поверхні. Перевага глибокого внесення добрив є найбільш вагомою у рік із зволоженням недостатнім та близьким до середнього багаторічного рівня.

Список використаних джерел

- Носко Б.С. Сторінки історії агрохімічних досліджень в Україні. Харків: ТОВ «Щедра садиба плюс», 2015. 292 с.
- Трапезников В.К., Иванов И.И., Тальвинская Н.Г. Локальное питание растений. Уфа: Гилем, 1999. 260 с.
- Трапезников В.К., Иванов И.И. Ответные реакции растений на гетерогенное распределение элементов питания в среде. *Агрохимия*. 2012. № 5. С. 73-90

4. Фатеев А.И. Локальный способ внесения удобрений. Почвенно-агрохимические аспекты. Харьков: Друкарня № 13, 2002. 160 с.
5. Fertilizer placement to improve crop nutrients acquisition and yield. A review and meta-analysis. / P.M. Nkebiwe, M. Weinmann, A. Bar-Tal, T. Muller *Field Crops Research*. 2016. № 196. P. 389-401.
6. Vandermeer J., Whitbread A. Global food security, biodiversity, conservation and the future of agricultural intensification. *Biol. Conserv.* 2012. № 151. P. 53–59.
7. Кисель В.И. Биологическое земледелие в Украине: проблемы и перспективы. Харьков: Штрих, 2000. 162 с.
8. Пономаренко Н.О., Яропуд В.М., Зозуляк О.В. Прийоми локального внесення добрив. *Вібрації в техніці та технологіях*: Всеукр. наук.-технічний журнал. 2016. №3. С. 139-142
9. Резерви мінерального живлення зернових культур <https://propozitsiya.com/rezervy-mineralnogo-pitaniya-zernovykh-kultur>. Електронне джерело. 175 с.
10. Жатов О.Г., Троценко В.І., Жатова Г.О. Ефективність мінеральних добрив на посівах соняшнику. *Вісник Сумського НАУ*. 2004. № 1. С. 78-82.
11. Bhende N.V., Purohit J.K., Junankar A.A. A proposed concept for fertilizer placement under three different depth of soil through multilayered fertilizer-cum-cotton seed drill applicator. AIP Conference Proceeding. 2019. Т. 2148, Iss. 1. <https://doi.org/10.1063/1.5123947>
12. Borges R., Mallarino A.P. Deep banding phosphorus and potassium fertilizers for corn managed with ridge tillage. *Soil Science Society American Journal*. 2001. № 65. P. 376-384.
13. Nuttall W.F., Button R.G. The effect of deep banding N and P fertilizers on the yield of canola (*Brassica napus* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Canadian Journal of Soil Science*. 1990. № 70. P. 629-639.
14. Karamanos R.E., Harapiak J.T., Flore N.A. Long-term effect of placement of fertilizer nitrogen and phosphorus on barley yield. *Canadian Journal of Plant Science*. 2008. № 88(2). P. 285-290.
15. Deep placement: a method of nitrogen fertilizer application compatible with algal nitrogen fixation in wetlands rice soils. / P.A. Roger, S.A. Kulasoriya, A.C. Tirol, E.T. Craswell *Plant and Soils*. 1980. № 57. P. 137-142. <https://doi.org/10.1007/BF02139650> .
16. Deep placement of controlled-release urea effectively enhanced nitrogen use efficiency and fresh ear yield of sweet corn in fluvo-aquic soil. / W. Liu, Y. Xiong, X. Xu [et al.]. *Scientific Reports*, 2019, 9:20307. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56912-y> .
17. Effect of Deep Placement of Slow-release Fertilizer (Lime Nitrogen) Applied at Different Rates on Growth, N₂ Fixation and Yield of Soya Bean (*Glycine max* [L.] Merr.). / T. Kaushal, M. Onda, S. Ito [et al.]. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2006. № 192(6). P. 417-426. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00230.x>.
18. Simulation for Design and Material Selection of a Deep Placement Fertilizer Application for Soybean Cultivation. / I. Patuk, H. Hasegawa, I. Borodin [et al.]. *Open Engineering*. 2020. 10(1-2). P.733-743. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0082>.
19. Влияние разноглубинного внесения минеральных удобрений на продуктивность пшеницы в различных почвенно-климатических условиях сухой степи Забайкалья / А.С. Билтуев, Л.В. Будажанов, С.В. Хутаков [и др.]. *Агрохимия*. 2015. № 10. С. 18-24.
20. Павлов К.В. Оптимизация калийного питания ячменя при локальном внесении калийных удобрений. *Агрохимия*. 2009. № 2. С. 28-34.
21. Павлов К.В., Новиков М.М. Влияние локального внесения калийных удобрений в чернозем на урожайность ячменя. *Агрохимия*. 2013. № 4. С. 48-54.
22. MBV 31–497058–019–2005 Рослини. Визначення загальних форм азоту, фосфору, калію в одній навазці рослинного матеріалу: Методи визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків, 2005. Кн. 2. С. 189–208.
23. Медведев В.В., Лактионова Т.Н., Донцова Л.В. Водные свойства почв Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Харьков: Апостроф, 2011. 224 с.
24. Grossman J.D., Rice K.J. Evolution of root plasticity responses to variation in soil nutrient distribution and concentration. *Evolutionary Applications*. 2012. №5(8). P. 850-857. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2012.00263.x> .
25. Hongbo L., Zhang F.S. Contribution of Root Proliferation in Nutrient-Rich Soil Patches to Nutrient Uptake and Growth of Maize. *Pedosphere*. 2012. № 22(6). 776-784. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60063-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60063-0).
26. Phosphorus and Root Distribution and Corn Growth as Related to Long-term Tillage System and Fertilizer placement. / S.E.V.G.A. Costa, E.D. de Souza, I. Anghinoni [et al.]. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2009. № 33(5). P. 1237-1247. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500017> .
27. Phosphorus fertilizer placement and tillage affect soybean root growth and drought tolerance. / F.D. Hansel, T.J.C. Amado, D.A.R. Diaz [et al.]. *Agronomy Journal*. 2017. № 109. P. 2936-2944. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.040202> .
28. Турчин Ф.В. Азотное питание растений и применение азотных удобрений. Избранные труды. Москва: Колос, 1972. 336 с.
29. Най П.Х., Тинкер П.Б. Движение растворов в системе почва-растение. Москва: Наука, 1980. 368 с.
30. Degryse F., McLaughlin M.J. Phosphorus diffusion from fertilizer: visualization, chemical measurements, and modeling. *Soil Science Society of America Journal*. 2014. № 78(3). P. 832. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.07.0293>
31. Norton J., Ouyang Y. Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*. 2019. № 10. P. 1931. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01931> .
32. Pavlov K., Voronina L. Potassium placement effect on dynamic of barley (*Hordeum vulgare* L.) nutrition. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2016. № 62(5-6). P. 500-503. <https://doi.org/10.1080/00380768.2016.1247384> .
33. Христенко А.А. Калийное состояние почв и эффективность удобрений. Харьков: ФЛП Бровин А.В., 2017. 120 с.
34. Banding of fertilizer improves phosphorus acquisition and yield of zero tillage maize by concentrating phosphorus in surface soil. / Md.K. Alam, R.W. Bell, N. Salatin [et al.]. *Sustainability*. 2018. № 10. 3234. <https://doi.org/10.3390/su10093234>.

35. Integrated phosphorus placement and form for improving wheat grain yield. / D. Lu, H. Song, S. Jiang [et al.]. *Agronomy Journal*. 2019. 111(4). P. 1998-2004. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.09.0559>.

UDC 631.816.33

Impact of the depth of fertilizer localization on the nutrient regime of Luvic Chernic Phaeozem and yield of spring barley

V. M. Smychenko, M. M. Miroshnychenko*

**National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine**

***E-mail:** ecosoil@meta.ua

The purpose of the research is to determine the impact of the depth of local application of mineral fertilizers on the nutrient content in the arable layer of soil and the yield of spring barley. The studies were carried out during 2018 - 2020 in a temporary small-plot experiment. Soil – chernozem podzolized loamy (Luvic Chernic Phaeozem). The application of N60P60K60 in the form of nitroammophoska or a mixture of ammophos, ammonium nitrate and potassium chloride was compared to a depth of 10-12 cm and 20-22 cm from the soil surface. The row spacing of barley crops was 15 cm; the fertilizer tape was placed at a distance of 4-5 cm away from the row. Mixed soil samples were taken from fertilizer tapes twice during the growing season of barley (in the first half of the growing season and after harvesting). The weather conditions were quite contrasting: in 2018 it was dry at the beginning of the growing season and during grain ripening, in 2019 was dry only during the formation of grain, and in 2020 - rather humid and relatively cool during almost the entire growing season. At the beginning of the growing season of barley in 2018, the highest content of mineral nitrogen in the soil was found with a shallow location of the fertilizers, but in 2019-2020 - in case fertilizer tapes at 20-22 cm from the surface. Location of fertilizer at a depth of 20-22 cm also provided a higher level of mobile phosphorus and potassium in the soil than applying at a depth of 10-12 cm. After the barley harvest, the highest accumulation of mineral nitrogen in the soil in 2018 was found with shallow application and in 2019-2020 - with deeper application. A tendency of more accumulation of chlorophyll in plants was observed with an increase in the depth of fertilization. Local application of fertilizers gave a reliable increase in yield in all variants of the experiment. However, the increase was twice as high when placing the fertilizer tape was at a depth of 20-22 cm as at a depth of 10-12 cm. Application of nitroammophoska to a depth of 20-22 cm was more effective than mixtures of simple and complex fertilizers. It was concluded that the hydrothermal conditions of the growing season and the depth of the location of fertilizers mutually affect the nutrient regime of the soil. The advantage of deep fertilization is more significant under insufficient moisture.

Keywords: Chernozem Luvic; localization; mineral fertilizers; spring barley.

Citing: Smychenko V.M., Miroshnychenko M.M. 2021. Impact of the depth of fertilizer localization on the nutrient regime of Luvic Chernic Phaeozem and yield of spring barley. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 22-30. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-03>.

УДК 631.811:633.1+34

Винесення основних елементів живлення з ґрунту культурами польової сівозміни за різного удобрення

Г.М. Господаренко*, О.Д. Черно, А.Т. Мартинюк, В.П. Бойко

Уманський національний університет садівництва, Умань, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 22.12.2020 Отримано після доопрацювання 06.05.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	Досліджували вплив застосування різних доз і поєднань мінеральних добрив у польовій сівозміні в умовах стаціонарного польового дослідження на вміст основних елементів живлення в рослинах, господарське та відносне їх винесення пшеницею озимою, кукурудзою, ячменем ярим і соєю. Ґрунт – чорнозем опідзолений (Luvic Chernic Phaeozem) важкосуглинковий. Схема дослідження включає 11 варіантів комбінацій та окремого внесення мінеральних добрив і варіант без удобрення. Встановлено, що рівень вмісту азоту легкогідролізованих сполук у ґрунті істотно впливає на вміст його в зерні ячменю ярого, кукурудзи, сої ($R^2 = 0,92-0,93$), менше – пшениці озимої ($R^2 = 0,63$). Вміст рухомих фосфатів у ґрунті має практично однаковий вплив на вміст фосфору в основній і нетоварній частині врожаю незалежно від культури ($R^2 = 0,39-0,70$). Найслабший зв'язок між вмістом рухомих сполук у ґрунті та в урожаї констатовано для калію, проте в насінні сої і соломі ячменю ярого та сої він чітко простежувався ($R^2 = 0,53-0,68$). У господарському вилученні елементів живлення з урожаєм зерна і насіння найбільшу частку становить азот (64,4–149,9 кг/га), потім – фосфор – 21,1–51,4 кг P_2O_5 /га залежно від культури. На формування одиниці врожаю (товарної і відповідної кількості нетоварної частини) культури засвоюють елементи живлення у такому співвідношенні N : P_2O_5 : K_2O : пшениця озима – 1 : 0,4 : 0,7; кукурудза – 1 : 0,3 : 0,8; ячмінь ярий – 1 : 0,4 : 0,7; соя – 1 : 0,4 : 0,4. З нетоварною частиною врожаю у ґрунт повертається (залежно від варіанту дослідження) азоту, зі стебелінням кукурудзи – 28–36 %, фосфору, з соломою сої – 47–54 % і калію, з соломою пшениці озимої і стебелінням кукурудзи – 74–80 % від господарського винесення.
Ключові слова: кукурудза; основні елементи живлення; пшениця озима; соя; удобрення; ячмінь ярий	

* E-mail: hospodarenko@gmail.com

Форма цитування: Господаренко Г.М., Черно О.Д., Мартинюк А.Т., Бойко В.П. Винесення основних елементів живлення з ґрунту культурами польової сівозміни за різного удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2021. С. 31-40. <https://doi.org/10.31073/acss91-04>.

1. Вступ

Високу продуктивність сільськогосподарських культур можна сформулювати лише за оптимального забезпечення елементами живлення. Мінеральне живлення рослин, поряд з їх біологічними особливостями і забезпеченням продуктами фотосинтезу, залежить від інтенсивності розвитку кореневої системи та її виділень, структури і вологості ґрунту, реакції ґрунтового середовища, вмісту та співвідношення поживних речовин, активності ґрунтової біоти тощо [1, 2, 3]. Елементний склад рослин найбільше залежить від хімічного складу земної кори [4]. Рослини добре реагують на підвищення вмісту рухомих сполук елементів живлення у ґрунті, а тому їх вміст у тканинах змінюється під впливом удобрення [5–8]. Отже, виникає необхідність уточнення витрат елементів живлення сільськогосподарськими культурами на формування врожаю в конкретних умовах вирощування.

Реалізовувати потенційну продуктивність сільськогосподарських культур слід не за допомогою високих доз добрив, а оптимізацією всіх властивостей і життєвих процесів у ґрунті, що забезпечують відновлення його родючості, створення поживного, водного, повітряного режимів відповідно до біологічних потреб рослин і оптимального рівня біологічної активності ґрунту за відсутності негативного зсуву мікробіоценозів [1, 9, 11]. Дози мінеральних добрив повинні відповідати збалансованому живленню рослин всіма біогенними елементами з урахуванням екологічних наслідків їх застосування. Оптимізація доз добрив під окремі культури у спеціалізованих сівозмінах вимагає подальшого вдосконалення методів ґрунтової і комплексної діагностики потреби культур в окремих елементах. Всі ці питання потребують подальшого розширення та поглиблення комплексних досліджень, особливо в стаціонарних агрохімічних дослідках [12].

У довідниках і спеціальних виданнях є дані про витрати поживних речовин на формування одиниці товарної і відповідної кількості нетоварної продукції, за якими можна визначити і загальну потребу культури в елементах живлення для формування запланованого врожаю. Проте відносне винесення елементів живлення, навіть однієї культурою, істотно змінюється залежно від ґрунтово-кліматичних умов, величини урожаю, пропорцією в урожаї між товарною і нетоварною продукцією, якості врожаю та сортових

або гібридних особливостей культури [13]. Тому, на нашу думку, дані про витрати елементів живлення на формування одиниці товарної і нетоварної продукції слід включати до складу обов'язкових показників характеристики районованих сортів і гібридів усіх культур [1]. Це допоможе розрахувати оптимальні дози добрив і баланс елементів живлення у ґрунті.

Мета дослідження – уточнити рівні вмісту основних елементів живлення в рослинах пшениці озимої, кукурудзи, ячменю ярого та сої, що вирощуються в сівозміні з різними дозами і поєднаннями мінеральних добрив в умовах стаціонарного польового досліді на чорноземі опідзоленому у Правобережному Лісостепу України, і кількісного засвоєння їх на формування одиниці врожаю.

2. Об'єкти і методи досліджень

Дослідження проведено в умовах стаціонарного польового досліді [14], закладеного у 2011 році на дослідному полі Уманського національного університету садівництва (Черкаська область) у Правобережному Лісостепу України з географічними координатами за Гринвічем 48° 46' північної широти і 30° 14' східної довготи.

Дослід одночасно розгорнуто на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур 4-пільної польової сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя). Повторення досліді триразове. Загальна площа дослідної ділянки 110 м², облікова – 72 м². Фосфорні (суперфосфат гранульований) і калійні (калій хлористий) добрива вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні (аміачна селітра) – під передпосівну культивування та в підживлення пшениці озимої.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений (Luvic Chernic Phaeozem) важкосуглинковий на лесі з умістом гумусу 3,8 %, рН_{KCl} – 5,7.

Набір варіантів досліді (دوزи і комбінації мінеральних добрив) представлено в табл. 1. Розміщення варіантів у досліді послідовне. Варіант N₁₁₀P₆₀K₈₀ визначено виробничим контролем.

Відбирання проб ґрунту і підготовку їх до аналізування проводили згідно з вимогами ДСТУ 4287:2004 і ДСТУ ISO 11464:2007. У ґрунтових зразках визначали вміст азоту легкогідролізованих сполук за методом Корнфілда згідно з ДСТУ 7863:2015; рухомі сполуки фосфору та калію – за модифікованим методом Чирикова згідно з ДСТУ 4115-2002.

Облік маси товарної частини врожаю проводили поділянково прямим комбайнуванням, а нетоварної – розрахунково за співвідношенням з товарною продукцією в пробах. Нетоварну частину врожаю культур сівозміни (солома, стебелиння) залишали на полі для заробляння у ґрунт.

Вміст азоту, фосфору та калію в рослинних зразках (товарної і нетоварної частини врожаю) визначали після мокрого озолення [13].

У статті представлено середні дані за результатами досліджень у 2016–2018 рр.

Статистичну обробку даних проводили методом дисперсійного аналізу, використовуючи комп'ютерні технології (ПІК «Agrostat», MS Office Excel). Для якісного оцінювання тісноти зв'язку між досліджуваними чинниками використовували коефіцієнт кореляції за шкалою R. E. Chaddock [16]: 0,1–0,3 – незначний; 0,3–0,5 – помірний; 0,5–0,7 – істотний; 0,7–0,9 – високий; 0,9–0,99 – дуже високий; 1 – функціональний. Коефіцієнт стабільності (для виявлення стабільності параметрів показника відносного винесення елементів живлення сільськогосподарськими культурами з одиницею товарної, нетоварної частини та урожаєм в цілому залежно від удобрення) розраховували за такою формулою: $K_{\text{стаб}} = V_{\text{сер}} : (\text{max} - \text{min})$, де: $V_{\text{сер}}$ – середнє значення досліджуваного показника; max і min – максимальне і мінімальне значення показника у варіантах досліді.

Для оцінювання винесення елементів живлення урожаєм культур із ґрунту використано такі поняття: «господарське винесення» – частина біологічного вилучення елементів живлення продукцією (зерном, соломою, стебелинням), кг/га; «відносне винесення» – витрати елементів живлення на формування одиниці товарної частини врожаю (зерно, насіння) і відповідну кількість нетоварної (солома, стебелиння), кг/т; «коефіцієнт повернення» – частка елементів живлення від господарського їх винесення (%), що повертається у ґрунт у разі залишення на полі нетоварної частини врожаю (соломи, стебелиння).

3. Аналіз результатів досліджень

Встановлено, що чорнозем опідзолений має низький вміст азоту лужногідролізованих сполук навіть за внесення мінеральних добрив (N₁₁₀P₆₀K₈₀) на тлі

залишеної на добриво нетоварної частини врожаю упродовж двох ротацій 4-пільної сівозміни. Це свідчить про важливість контролю азотної складової у системі удобрення культур. Застосування фосфорних добрив у дозі 30–60 кг д. р. на 1 га площі сівозміни дозволяє підтримувати вміст рухомих фосфатів у ґрунті на вихідному рівні, тоді як у варіанті N₁₁₀K₈₀ середньорічне зниження їх вмісту в шарі ґрунту 0–20 см становить 2,5 мг/кг ґрунту (Табл. 1).

Таблиця 1

*Вміст рухомих сполук елементів живлення в ґрунті
(середні значення по чотирьох полях сівозміни
в шарі 0–20 см за 2016-2018 рр.)*

Варіант досліджу	Вміст у ґрунті, мг/кг		
	N _{легк}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Перед закладанням досліджу (2011 р.)	105	106	132
Без добрив (контроль)	98	92	124
N ₅₅	102	92	118
N ₁₁₀	109	93	117
P ₆₀ K ₈₀	106	119	143
N ₁₁₀ K ₈₀	111	88	143
N ₁₁₀ P ₆₀	116	113	114
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	108	106	137
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	119	112	128
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	116	106	128
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	118	113	125
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	113	104	126

Чорнозем опідзолений має значні запаси калію, але на ділянках без внесення калійних добрив відбулося істотне зниження вмісту його рухомих сполук – зі 132 до 124 мг/кг, незважаючи на значне повернення калію у ґрунт з нетоварною частиною врожаю. Це свідчить про недоцільність повної відмови від калійних добрив.

Дослідженнями встановлено, що систематичне застосування різних доз і поєднань мінеральних добрив у польовій сівозміні сприяє підвищенню її продуктивності та збільшує ємність балансу елементів живлення (Рис.).

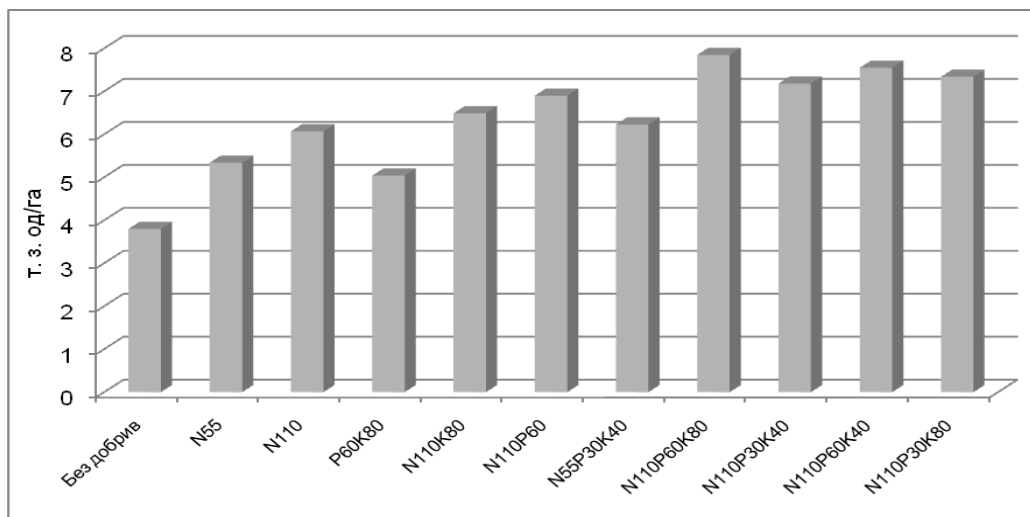


Рис. Продуктивність польової сівозміни за різних доз і поєднань добрив (2011–2018 рр.), т з. од/га основної продукції

За тривалого застосування добрив у сівозміні змінюється вміст основних елементів живлення в основній і нетоварній частині врожаю польових культур (Табл. 2). Вважається [17, 18], що рослини регулюють вміст у власному організмі фосфору ліпше,

ніж інших елементів живлення, і не можуть повністю припинити його засвоєння, навіть за надвисокої насиченості ним ґрунту.

Щодо вмісту калію в рослинах, то вчені [19, 20] не мають одностайної думки про вплив ґрунтово-кліматичних умов, рівня застосування добрив та інших чинників. Так, у вегетаційному досліді з 14-ма культурами і концентрацією калію від 0,1 мкмоль до 1 ммоль поживного розчину, лише за вмісту понад 95 мкмоль/л простежувалось незначне підвищення його вмісту в органах рослин [22].

Таблиця 2

Вміст основних елементів живлення в урожаї культур залежно від доз і співвідношень добрив у польовій сівозміні (середні значення за 2016–2018 рр.)

Варіант досліджу	Вміст елементів живлення в урожаї культур, % на суху речовину											
	Пшениця озима			Кукурудза			Ячмінь ярий			Соя		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>У товарній частині врожаю</i>												
Без добрив (контроль)	1,61	0,72	0,49	1,47	0,56	0,40	1,85	0,68	0,54	5,53	1,08	1,27
N ₅₅	2,17	0,74	0,49	1,55	0,57	0,39	1,87	0,69	0,54	5,75	1,10	1,29
N ₁₁₀	2,26	0,75	0,48	1,58	0,58	0,40	1,89	0,70	0,56	5,87	1,12	1,31
P ₆₀ K ₈₀	1,82	0,80	0,52	1,52	0,60	0,41	1,87	0,71	0,57	5,56	1,36	1,38
N ₁₁₀ K ₈₀	2,24	0,76	0,53	1,58	0,58	0,42	1,91	0,69	0,60	6,06	1,10	1,39
N ₁₁₀ P ₆₀	2,31	0,86	0,56	1,63	0,64	0,40	1,93	0,75	0,60	6,19	1,60	1,29
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	2,05	0,81	0,54	1,58	0,62	0,41	1,89	0,70	0,60	5,86	1,36	1,39
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	2,37	0,86	0,56	1,71	0,64	0,43	1,96	0,76	0,61	6,24	1,62	1,46
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	2,36	0,82	0,53	1,68	0,62	0,41	1,94	0,71	0,60	6,17	1,38	1,40
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	2,40	0,86	0,54	1,70	0,64	0,43	1,96	0,75	0,61	6,22	1,58	1,42
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	2,36	0,82	0,55	1,70	0,62	0,42	1,94	0,72	0,60	6,03	1,40	1,41
<i>У нетоварній частині врожаю</i>												
Без добрив (контроль)	0,46	0,24	0,82	0,48	0,15	1,24	0,32	0,19	0,91	0,32	1,08	1,19
N ₅₅	0,48	0,24	0,83	0,59	0,16	1,23	0,40	0,20	0,93	0,37	1,09	1,20
N ₁₁₀	0,50	0,24	0,84	0,70	0,16	1,23	0,48	0,22	0,95	0,41	1,11	1,22
P ₆₀ K ₈₀	0,45	0,25	0,86	0,51	0,17	1,29	0,36	0,22	1,02	0,32	1,16	1,27
N ₁₁₀ K ₈₀	0,50	0,24	0,96	0,71	0,16	1,32	0,49	0,21	1,08	0,41	1,10	1,28
N ₁₁₀ P ₆₀	0,51	0,27	1,00	0,76	0,19	1,35	0,52	0,25	0,99	0,42	1,23	1,19
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	0,51	0,26	0,93	0,63	0,17	1,33	0,44	0,22	1,01	0,38	1,16	1,25
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	0,52	0,27	1,02	0,78	0,20	1,38	0,54	0,26	1,12	0,44	1,23	1,31
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	0,51	0,26	0,94	0,74	0,18	1,34	0,51	0,25	1,07	0,42	1,18	1,26
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	0,52	0,27	0,96	0,75	0,20	1,36	0,54	0,26	1,08	0,44	1,20	1,27
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	0,51	0,26	1,00	0,73	0,18	1,37	0,52	0,25	1,11	0,42	1,20	1,30

Розрахунки показали, що вміст азоту легкогідролізованих сполук у ґрунті істотно впливає на його вміст у зерні ячменю ярого, кукурудзи та насінні сої ($R^2 = 0,92-0,93$), і менше впливає на вміст у зерні пшениці озимої ($R^2 = 0,63$) (Табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнт детермінації (R^2) залежності вмісту основних елементів живлення в урожаї сільськогосподарських культур від вмісту їх рухомих сполук у ґрунті

Культура	Коефіцієнт детермінації (R^2)					
	товарна частина			нетоварна частина		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пшениця озима	0,63	0,70	0,21	0,66	0,67	0,15
Кукурудза	0,93	0,66	0,46	0,89	0,56	0,28
Ячмінь ярий	0,95	0,49	0,30	0,86	0,39	0,53
Соя	0,92	0,80	0,63	0,82	0,69	0,68

Вміст рухомих сполук фосфору у ґрунті практично однаково впливає на його вміст в основній і нетоварній частинах урожаю незалежно від культури ($R^2 = 0,39-0,70$). Найслабший зв'язок між вмістом рухомих сполук у ґрунті та в урожаї виявлено в калію, проте в насінні сої і соломі ячменю ярого сої зв'язок чітко простежувався ($R^2 = 0,53-0,68$). Це вказує на те, що змінюючи поживний режим ґрунту, можна цілеспрямовано регулювати хімічний склад урожаю.

Параметри вмісту основних елементів живлення в складових урожаю та його кількість дозволяють розрахувати господарське їх вилучення з ґрунту. Цей показник також залежить від структури урожаю – співвідношення між основною і нетоварною його частинами. Незважаючи на те, що польові культури зазвичай є однорічними рослинами, розмір господарського винесення елементів живлення є меншим за їх біологічну потребу впродовж вегетації.

Розрахунки показали, що в основній і нетоварній частинах урожаю культур сівозміни елементи живлення містяться не лише в різній кількості, але і в різному поєднанні (Табл. 4).

Таблиця 4

Господарське винесення основних елементів живлення культурами за різних доз і поєднань добрив у польовій сівозміні (середні значення за 2016–2018 рр.)

Елемент живлення	Винесено елементів живлення з урожаєм культур на варіантах удобрення, кг/га										
	Без добрив	N ₅₅	N ₁₁₀	P ₆₀ K ₈₀	N ₁₁₀ K ₈₀	N ₁₁₀ P ₆₀	N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀
<i>Пшениця озима</i>											
N	<u>49</u> 24	<u>93</u> 35	<u>109</u> 41	<u>73</u> 31	<u>120</u> 46	<u>131</u> 49	<u>102</u> 43	<u>148</u> 55	<u>137</u> 50	<u>145</u> 53	<u>140</u> 51
P ₂ O ₅	<u>22</u> 13	<u>32</u> 17	<u>36</u> 20	<u>32</u> 17	<u>41</u> 22	<u>49</u> 26	<u>40</u> 22	<u>54</u> 29	<u>48</u> 26	<u>52</u> 28	<u>49</u> 26
K ₂ O	<u>15</u> 43	<u>21</u> 60	<u>24</u> 69	<u>21</u> 59	<u>29</u> 88	<u>32</u> 97	<u>27</u> 78	<u>35</u> 108	<u>31</u> 93	<u>33</u> 99	<u>33</u> 101
<i>Кукурудза</i>											
N	<u>59</u> 23	<u>97</u> 45	<u>122</u> 65	<u>90</u> 37	<u>133</u> 72	<u>148</u> 83	<u>135</u> 65	<u>192</u> 105	<u>164</u> 87	<u>179</u> 95	<u>170</u> 88
P ₂ O ₅	<u>23</u> 7	<u>36</u> 12	<u>45</u> 15	<u>36</u> 12	<u>49</u> 16	<u>58</u> 21	<u>53</u> 18	<u>72</u> 27	<u>60</u> 21	<u>67</u> 25	<u>62</u> 22
K ₂ O	<u>16</u> 61	<u>24</u> 93	<u>31</u> 114	<u>24</u> 92	<u>35</u> 134	<u>36</u> 148	<u>35</u> 137	<u>48</u> 187	<u>40</u> 158	<u>45</u> 173	<u>42</u> 165
<i>Ячмінь ярий</i>											
N	<u>54</u> 11	<u>63</u> 16	<u>69</u> 21	<u>65</u> 15	<u>76</u> 23	<u>86</u> 28	<u>80</u> 22	<u>91</u> 30	<u>86</u> 27	<u>95</u> 31	<u>88</u> 28
P ₂ O ₅	<u>20</u> 7	<u>23</u> 8	<u>26</u> 10	<u>25</u> 9	<u>27</u> 10	<u>33</u> 13	<u>30</u> 11	<u>35</u> 15	<u>31</u> 13	<u>36</u> 15	<u>33</u> 14
K ₂ O	<u>16</u> 32	<u>18</u> 38	<u>21</u> 42	<u>20</u> 43	<u>24</u> 52	<u>26</u> 53	<u>25</u> 54	<u>28</u> 63	<u>27</u> 57	<u>30</u> 63	<u>27</u> 60
<i>Соя</i>											
N	<u>23</u> 6	<u>45</u> 8	<u>65</u> 10	<u>37</u> 7	<u>72</u> 11	<u>83</u> 12	<u>65</u> 10	<u>105</u> 14	<u>87</u> 12	<u>95</u> 13	<u>88</u> 12
P ₂ O ₅	<u>16</u> 19	<u>20</u> 24	<u>23</u> 27	<u>27</u> 27	<u>24</u> 29	<u>38</u> 34	<u>29</u> 29	<u>43</u> 38	<u>33</u> 33	<u>41</u> 36	<u>34</u> 34
K ₂ O	<u>19</u> 21	<u>24</u> 26	<u>27</u> 29	<u>27</u> 29	<u>31</u> 33	<u>31</u> 33	<u>30</u> 32	<u>39</u> 41	<u>34</u> 36	<u>37</u> 39	<u>34</u> 37

Примітка. Над ризкою – винесено товарною частиною врожаю, під ризкою – нетоварною

З основною продукцією – товарною частиною урожаю культури сівозміни найбільше виносять азоту, а найменше – калію, з нетоварною частиною врожаю калію виносяться навіть більше, ніж азоту. Слід також зазначити, що з насінням і зерном виносяться з ґрунту багато фосфору – 16–72 кг/га залежно від культури і варіанту удобрення. Так, у варіанті досліду N₁₁₀P₆₀K₈₀ найбільше фосфору виносили пшениця озима і кукурудза – відповідно 54 і 72 кг/га і значно менше – ячмінь ярий і соя.

Нині в господарствах рослинницького напрямку гостро стоїть проблема органічних добрив. Тому залишення на полях нетоварної частини врожаю є одним із джерел повернення у ґрунт органічного вуглецю, а також елементів живлення. За даними І. І. Клименка [23], заорювання 4 т/га соломи у ланці сівозміни «соя–овес–кукурудза» дозволяє компенсувати витрати елементів живлення на формування урожаїв цих культур: азоту – на 43 %, фосфору – 35, калію – 90 % та підвищити врожайність культур на 15 %.

Проблема азоту в землеробстві є однією з найважливіших в агрохімічній науці, а забезпеченість ним рослин – одним із визначальних чинників у формуванні врожаїв. Значущість азоту посилюється ще й тому, що потреба у ньому рослин є значно більшою, ніж в інших елементах, а необоротні втрати його мінеральних сполук із ґрунту через мивання та біологічне відновлення бувають значними [24]. Тому питання підвищення родючості ґрунтів насамперед пов'язують з їх здатністю забезпечувати рослини азотом.

Як видно з даних табл. 5, зі стебелінням і соломою у ґрунт може повертатися значна частка винесених урожаєм елементів живлення.

Таблиця 5

Коефіцієнт повернення основних елементів живлення у ґрунт з нетоварною частиною врожаю культур сівозміни (середні значення за 2016-2018 рр.)

Культура	Елемент живлення, % від господарського винесення		
	N	P	K
Пшениця озима	0,27–0,33	0,35–0,36	0,74–0,76
Кукурудза	0,28–0,36	0,24–0,27	0,67–0,69
Ячмінь ярий	0,17–0,24	0,25–0,30	0,74–0,76
Соя	0,06–0,08	0,47–0,54	0,51–0,52

З практичного погляду для розрахунку доз добрив важливо знати, яка частка елементів живлення, що були використані на формування господарського врожаю, повертається в ґрунт у разі залишення на полі нетоварної частини продукції. Розрахунки показали, що за цим показником культури сівозміни значно відрізнялися. Так, з нетоварною частиною врожаю у ґрунт від господарського винесення повертається азоту зі стебелінням кукурудзи – 28–36 %, фосфору з соломою сої – 47–54 % і калію з соломою пшениці озимої і стебелінням кукурудзи – 74–80 % залежно від варіанту дослідів. З нетоварною частиною продукції пшениці озимої, кукурудзи та ячменю ярого у ґрунт повертається, на різних варіантах дослідів, від 17 до 36 % азоту, винесеного рослинами. При цьому слід зазначити, що коефіцієнт повернення зростає з поліпшенням умов мінерального живлення рослин, особливо азотного. Найменше азоту (6–8 % від господарського винесення) у ґрунт повертається з соломою сої, але при цьому, порівняно з іншими культурами сівозміни, найбільше повертається фосфору. Коефіцієнт повернення калію з нетоварною частиною врожаю культур сівозміни є найвищим і становить 0,50–0,80. Відомо, що калій в рослинах не утворює складних органічних сполук, а тому після надходження у ґрунт буде легкодоступним наступним культурам сівозміни. Це потрібно врахувати розробляючи системи застосування калійних добрив.

Для розрахунку доз добрив користуються показником господарського винесення елементів живлення запланованим урожаєм, хоч це і не відповідає біологічним вимогам культур для його формування. При цьому вважається, що частину елементів живлення рослини візьмуть з ґрунту, а з метою оптимізації їх живлення та відновлення ґрунтової родючості потрібно повернути лише ту кількість, яку витрачено на формування основного і нетоварного врожаю [1].

Для практичних розрахунків зазвичай використовують показники відносного винесення елементів живлення на одиницю основної і відповідну кількість нетоварної частини врожаю. Ці показники відносно стабільні, що пояснюється законами постійності хімічного складу рослин і їх вибірковою здатністю поглинати поживні речовини [25, 26]. Показники відносного винесення елементів живлення на одиницю врожаю необхідно постійно уточнювати з врахуванням ґрунтово-кліматичних умов регіону, сортів і гібридів культури, оскільки вони відрізняються за генотипом, хімічним складом, відношенням товарного врожаю до відповідної кількості нетоварного. Так, за узагальненими даними географічної мережі дослідів [27] вміст азоту, фосфору і калію на неудобрених і удобрених ділянках відрізнявся відповідно на 14; 3 і 13 %, а на неудобрених ділянках між зонами дерново-підзолистих, каштанових і чорноземних ґрунтів відповідно на 37; 57 і 80 %. При цьому витрати поживних речовин на одиницю врожаю за високих доз добрив збільшуються. За оптимальні потрібно брати параметри вмісту та відносного їх винесення,

що відповідають максимальному врожаю високої якості [19]. Ці показники також важливі для розрахунку балансу елементів живлення за умови різного використання нетоварної частини врожаю (на добриво, корм чи підстилку для худоби, тощо).

Дані табл. 6 показують, що параметри відносного винесення елементів живлення більше залежать від культур, ніж від системи удобрення. Найбільше азоту з 1 т насіння виносить соя – 48,7–54,9 кг залежно від удобрення, а найменше – кукурудза – 12,6–14,6 кг. Винесення азоту зерном пшениці озимої залежно від удобрення змінюється найістотніше – від 13,8 до 20,4 кг/т, що пояснюється значними його витратами на формування білка за поліпшення умов мінерального живлення.

Таблиця 6

Винесення основних елементів живлення з ґрунту культурами сівозміни залежно від доз і поєднання добрив (2016–2018 рр.)

Варіант досліджу	Винесено елементів живлення із ґрунту з урожаем, кг/т					
	товарна частина			нетоварна частина		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Пшениця озима</i>						
Без добрив (контроль)	13,8	6,2	4,2	3,95	2,06	7,05
N ₅₅	18,6	6,4	4,2	4,13	2,06	7,14
N ₁₁₀	19,4	6,4	4,1	4,30	2,06	7,22
P ₆₀ K ₈₀	15,6	6,9	4,5	3,87	2,15	7,40
N ₁₁₀ K ₈₀	19,3	6,5	4,6	4,30	2,06	8,26
N ₁₁₀ P ₆₀	19,9	7,4	4,8	4,39	2,32	8,60
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	17,6	7,0	4,6	4,39	2,24	8,00
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	20,4	7,4	4,8	4,47	2,32	8,77
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	20,3	7,0	4,5	4,39	2,24	8,08
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	20,6	7,4	4,6	4,47	2,32	8,26
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	13,8	6,2	4,2	4,39	2,24	8,60
<i>Кукурудза</i>						
Без добрив (контроль)	12,6	4,8	3,4	4,13	1,29	10,7
N ₅₅	13,2	4,9	3,3	5,07	1,38	10,6
N ₁₁₀	13,5	5,0	3,4	6,02	1,38	10,6
P ₆₀ K ₈₀	13,0	5,1	3,5	4,39	1,46	11,1
N ₁₁₀ K ₈₀	13,5	4,9	3,6	6,11	1,38	11,3
N ₁₁₀ P ₆₀	13,9	5,5	3,4	6,54	1,63	11,6
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	13,5	5,3	3,5	5,42	1,46	11,4
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	14,6	5,5	3,7	6,71	1,72	11,9
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	14,4	5,3	3,5	6,36	1,55	11,5
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	14,5	5,5	3,7	6,45	1,72	11,7
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	14,5	5,3	3,6	6,28	1,55	11,8
<i>Ячмінь ярий</i>						
Без добрив (контроль)	15,9	5,8	4,6	2,75	1,63	7,83
N ₅₅	16,1	5,9	4,6	3,44	1,72	8,00
N ₁₁₀	16,2	6,0	4,8	4,13	1,89	8,17
P ₆₀ K ₈₀	16,1	6,1	4,9	3,10	1,89	8,77
N ₁₁₀ K ₈₀	16,4	5,9	5,2	4,21	1,81	9,29
N ₁₁₀ P ₆₀	16,6	6,4	5,2	4,47	2,15	8,51
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	16,2	6,0	5,2	3,78	1,89	8,69
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	16,8	6,5	5,2	4,64	2,24	9,63
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	16,7	6,1	5,2	4,39	2,15	9,20
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	16,8	6,4	5,2	4,64	2,24	9,29
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	16,7	6,2	5,2	4,47	2,15	9,55
<i>Соя</i>						
Без добрив (контроль)	48,7	9,5	11,2	2,75	9,29	10,2
N ₅₅	50,6	9,7	11,3	3,18	9,37	10,3
N ₁₁₀	51,6	9,8	11,5	3,53	9,55	10,5
P ₆₀ K ₈₀	48,9	12,0	12,1	2,75	9,98	10,9
N ₁₁₀ K ₈₀	53,3	9,7	12,2	3,53	9,46	11,0
N ₁₁₀ P ₆₀	54,5	14,1	11,3	3,61	10,6	10,2
N ₅₅ P ₃₀ K ₄₀	51,6	11,9	12,2	3,27	10,0	10,7
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₈₀	54,9	14,2	12,8	3,78	10,6	11,3
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₄₀	54,3	12,1	12,3	3,61	10,1	10,8
N ₁₁₀ P ₆₀ K ₄₀	54,7	13,9	12,5	3,78	10,3	10,9
N ₁₁₀ P ₃₀ K ₈₀	53,0	12,3	12,4	3,61	10,3	11,2

Маса фосфору і калію, винесеного з 1 тонною зерна пшениці озимої, ячменю ярого і кукурудзи, майже не залежить від рівня удобрення. Порівняно з ними, соя виносить більше фосфору і калію, а винесення фосфору, крім того, ще й зростає за поліпшення умов фосфорного живлення рослин. З одиницею нетоварної частини врожаю, порівняно з товарною, сільськогосподарські культури виносять із ґрунту менше азоту й фосфору, але більше калію.

Як уже зазначалось у практиці розрахунку доз добрив, особливо за умови видалення нетоварної частини врожаю з поля, використовується показник винесення елементів живлення на одиницю основної і відповідну кількість нетоварної продукції. Винесення основних елементів живлення з 1 тонною зерна та відповідною кількістю соломки не є постійною величиною, а змінюється в широких межах залежно від рівня врожайності, доз добрив і ґрунтово-кліматичних умов.

Як видно з даних табл. 6, найбільш варіативними є параметри цього показника відносно азоту, особливо для культур, що здатні під впливом поліпшення умов мінерального живлення збільшувати врожай нетоварної продукції. Також необхідно зазначити, що з усіх культур сівозміни найбільше відносно винесення азоту, фосфору і калію на одиницю врожаю має соя.

Отже, поряд з родовими і видовими особливостями культур сівозміни, системи удобрення суттєво впливають на винесення елементів живлення врожаєм і можливе повернення їх у ґрунт з нетоварною продукцією.

У табл. 7 наведено узагальнені дані витрат елементів живлення на формування одиниці врожаю сільськогосподарськими культурами. З 1 тонною насіння соя виносить в середньому 52,4 кг азоту, тоді як пшениця озима, ячмінь ярий і кукурудза – лише 13,7–18,7 кг. Винесення азоту нетоварною продукцією є більш стабільним – 3,4–5,8 кг/т залежно від культури. Для формування 1 т основної і відповідної кількості нетоварної продукції пшениця озима, ячмінь ярий і кукурудза витрачають 20,6–26,0 кг азоту, тоді як соя – 56,4 кг. Витрати фосфору на формування врожаю найбільші у сої – 10,0 кг/т, що пояснюється високим його вмістом у соломі. Найменше фосфору на формування врожаю зерна і відповідної кількості стебеління витрачає кукурудза – 7,0 кг/га.

Таблиця 7

Відносне винесення основних елементів живлення врожаєм сільськогосподарських культур з ґрунту за різних доз і поєднань добрив у польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Культура	Винесено елементів живлення із ґрунту з урожаєм, кг/т		
	товарна частина	нетоварна частина	урожай в цілому
<i>Азот (N)</i>			
Пшениця озима	<u>18,7</u>	<u>4,3</u>	<u>26,0</u>
	13,8–20,6	4,0–4,5	20,5–28,2
Кукурудза	<u>13,7</u>	<u>5,8</u>	<u>20,6</u>
	12,6–14,6	4,1–6,7	17,6–22,2
Ячмінь ярий	<u>16,4</u>	<u>4,0</u>	<u>21,2</u>
	15,9–16,8	2,8–4,6	19,2–22,4
Соя	<u>52,4</u>	<u>3,4</u>	<u>56,4</u>
	48,7–54,9	2,8–3,8	52,0–59,4
<i>Фосфор (P₂O₅)</i>			
Пшениця озима	<u>6,9</u>	<u>2,2</u>	<u>10,6</u>
	6,2–7,4	2,0–2,3	9,7–11,3
Кукурудза	<u>5,2</u>	<u>1,5</u>	<u>7,0</u>
	4,8–5,5	1,30–1,7	6,3–7,6
Ячмінь ярий	<u>6,1</u>	<u>2,0</u>	<u>8,5</u>
	5,8–6,5	1,6–2,2	7,8–9,2
Соя	<u>11,7</u>	<u>10,0</u>	<u>23,7</u>
	9,5–14,2	9,30–10,6	20,6–26,9
<i>Калій (K₂O)</i>			
Пшениця озима	<u>4,5</u>	<u>7,9</u>	<u>18,0</u>
	4,2–4,8	7,0–8,8	16,2–19,7
Кукурудза	<u>3,5</u>	<u>11,3</u>	<u>17,0</u>
	3,4–3,7	10,7–11,9	16,2–18,0
Ячмінь ярий	<u>5,0</u>	<u>8,8</u>	<u>15,6</u>
	4,6–5,2	7,8–9,6	14,0–16,8
Соя	<u>12,0</u>	<u>10,7</u>	<u>24,0</u>
	11,2–12,8	10,2–11,3	23,4–26,4

Примітка. Над рискою – середнє значення, під рискою – діапазон змін

Всі культури сівозміни, за винятком сої, на формування одиниці маси зерна витрачають менше калію, ніж на формування одиниці нетоварної продукції.

На формування одиниці врожаю (товарної і відповідну кількість нетоварної продукції) культури засвоюють елементи живлення ($N : P_2O_5 : K_2O$) у таких пропорціях: пшениця озима – 1 : 0,4 : 0,7; кукурудза – 1 : 0,3 : 0,8; ячмінь ярий – 1 : 0,4 : 0,7 і соя – 1 : 0,4 : 0,4.

Показник відносного винесення основних елементів живлення різних культур сівозміни оцінено за коефіцієнтами стабільності, які розраховано за середніми, максимальними і мінімальними значеннями показника (табл. 8). За стабільність вважали незалежність винесення рослинами елементів живлення одиницею врожаю від рівня удобрення. Неоднакова стабільність, пояснюється законами генетичної спадковості рослин. Так, найстабільнішим є вміст азоту в зерні ячменю ярого і соломі пшениці озимої, а фосфору в зерні ячменю ярого і соломі сої. Коефіцієнт стабільності калію залежно від продукції та культури змінювався в межах 4,4–11,6 і був найменшим у соломі пшениці озимої і ячменю ярого.

Таблиця 8

Коефіцієнт стабільності відносного винесення елементів живлення сільськогосподарськими культурами

Культура	Коефіцієнт стабільності відносного винесення елементів з урожаєм		
	товарна частина	нетоварна частина	урожай в цілому
<i>Азот</i>			
Пшениця озима	2,8	8,6	3,4
Кукурудза	6,9	2,2	4,5
Ячмінь ярий	18,2	2,2	6,6
Соя	8,5	3,4	7,6
<i>Фосфор</i>			
Пшениця озима	5,8	7,3	6,6
Кукурудза	7,4	3,8	5,4
Ячмінь ярий	8,7	3,3	6,0
Соя	2,5	7,7	3,8
<i>Калій</i>			
Пшениця озима	7,5	4,4	5,1
Кукурудза	11,6	9,4	9,4
Ячмінь ярий	8,3	4,9	5,6
Соя	7,5	9,7	8,0

4. Висновки

1. У господарському винесенні елементів живлення з урожаєм зерна і насіння найбільшу частку становить азот (64,4–149,9 кг/га), потім – фосфор – 21,1–51,4 кг P_2O_5 /га залежно від культури сівозміни.

2. З нетоварною частиною врожаю у ґрунт повертається азоту зі стебелінням кукурудзи – 28–36 % від господарського винесення, фосфору з соломою сої – 47–54 % і калію з соломою пшениці озимої і стебелінням кукурудзи – 74–80 % залежно від варіанту дослідів.

3. На формування одиниці врожаю основної і відповідної кількості нетоварної продукції пшениця озима та ячмінь ярий засвоюють $N : P_2O_5 : K_2O$ у такому відношенні: 1 : 0,4 : 0,7, кукурудза – 1 : 0,3 : 0,8 і соя – 1 : 0,4 : 0,4.

Список використаних джерел

1. Господаренко Г.М. Агрохімія. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2019. 560 с.
2. Geisseler D., Scow K.M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. 75. P. 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.023>
3. Господаренко Г.М., Прокопчук І.В., Бойко В.П. Засвоєння основних елементів живлення соєю з ґрунту й добрив. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2020. Вип. 89. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 63–70. <https://doi.org/10.31073/acss89-07>
4. Вибрані праці академіка В. І. Вернадського. Київ, 2011. Т. 1. Кн. 2. 584 с.
5. Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск : Наука, 1985. 129 с.
6. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт–рослина. За ред. А.І. Фатєєва і В.Л. Самохвалової. Харків : КП «Міськдрук», 2012. 146 с.

7. Ольховский Г.Ф. Биологический вынос азота, фосфора и калия на разнородных фонах. *Агрохимия*. 1980. № 7. С.54–58.
8. Мірошніченко М.М., Звонар А.М., Панасенко С.В., Леонов О.Ю. Надходження елементів живлення до рослин пшениці озимої різних сортів у контрастні за погодними умовами роки. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2020. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 51-62. <https://doi.org/10.31073/acss89-06>.
9. Ågren G.I., Weih M. Plant stoichiometry at different scales: element concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist*. 2012. 194: P. 944-952. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04114.x>.
10. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition. Edited by P. Marschner. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. Academic Press, 2012. 684 p.
11. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Экологические последствия длительного применения повышенных и высоких доз минеральных удобрений. *Агрохимия*. 1991. №3. С. 35–48.
12. Господаренко Г.М., Черно О.Д., Черендик А.Ю. Формування родючості ґрунту за різних систем удобрення в польовій сівозміні. *Агрологія*. 2019. Т. 2. №2. С. 79–85. <https://doi.org/10.32819/019011>.
13. Система удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку ХХІ століття. / За ред. С. А. Балюка, М. М. Мірошніченка. Київ: Альфа-стевія, 2016. 400 с.
14. Стационарные полевые опыты Украины. Київ: Аграрна наука, 2014. 146 с.
15. Рослини. Визначення загальних форм азоту, фосфору і калію в одній наважці рослинного матеріалу: МВВ 31–497058–019–2005. Методика визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків: Типографія №13, 2005. Кн. 2. С. 189–208.
16. Chaddock R.E. Exercises in statistical methods. Houghton, 1952. 166 p.
17. Туева О.Ф. Фосфор в питании растений. Москва : Наука, 1966. 296 с.
18. Носко Б.С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків : ФОП «Бровін О. В.», 2017. 476 с.
19. Господаренко Г.М. Основні принципи побудови системи удобрення в польовій сівозміні. *Агрохімія і ґрунтознавство* (спецвипуск). Кн. 3. Харків, 2002. С. 200–203.
20. Ивойлова А.В., Шильников И.А., Шелкунова А.В. Вынос N, P, K и Ca культурами зернопропашного севооборота. *Агрохимия*. 1990. №1. С. 26–32.
21. Нікітіна О.В. Зміна калійного стану чорноземі опідзоленого за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні в умовах Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2017. 23 с.
22. Acher C.J., Ozanne P.L. Calcium and potassium content of plant in solution cultures maintained at constant potassium concentration. *Soil Sci.* 1963. V. 103. P. 155.
23. Клименко І.І. Вплив системи удобрення на продуктивність культур ланки зерно-пропашної сівозміни та родючість темно-сірого опідзоленого ґрунту: автореф. дис. канд. ... с.-г. наук: 06.01.04. Київ, 2015. 22 с.
24. Кравець І.С. Зміни в азотному фонді та баланс азоту чорноземі опідзоленого Правобережного Лісостепу України за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2001. 20 с.
25. Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. Москва: Агропромиздат, 1991. 415 с.
26. Ткаченко М.А., Драч Ю.О. Видове генотипове співвідношення елементів живлення як основа оптимізації удобрення сільськогосподарських культур. Зб. наук. пр. ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2016. Вип. 1 С. 113–123.
27. Юркин С.Н., Пименов Е.А., Макаров Н.Б. Почвенно-зональные различия расхода питательных веществ в связи с применением удобрений. *Агрохимия*. 1979. №12. С. 127–130.

UDC 631.811:633.1+34

Removal of basic nutrients from the soil by field crop rotations with different fertilizers

H. M. Hospodarenko*, O. D. Chernov, A. T. Martyniuk, V. P. Boiko

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

* E-mail: hospodarenko@gmail.com

The effect of application of different doses and combinations of mineral fertilizers in field crop rotation on the content of basic nutrients in plants, economic and relative removal of winter wheat, corn, spring barley and soybeans was studied. Soil - Luvic Chernic Phaeozem. The scheme of the experiment includes 11 variants of combinations and separate application of mineral fertilizers and, including the variant without fertilizer. It was found that the level of nitrogen content of easily hydrolyzed compounds in the soil significantly affects its content in the grain of spring barley, corn, soybeans ($R^2 = 0,92-0,93$), less - winter wheat ($R^2 = 0,63$). The content of mobile phosphates in the soil has almost the same effect on its content in the main and non-commodity part of the crop, regardless of the crop ($R^2 = 0,39-0,70$). The smallest relationship between the content of mobile compounds in the soil and in the crop was in potassium, but in soybean seeds and straw of spring barley and soybeans it was clearly traced ($R^2 = 0,53-0,68$). Nitrogen (64,4–149,9 kg / ha) has the largest share in the economic extraction of nutrients with grain and seed yield, followed by phosphorus – 21,1–51,4 kg P₂O₅/ ha, depending on the crop. On the formation of the crop unit of marketable and the corresponding amount of non-marketable crop products absorb nutrients in the following ratio N : P₂O₅ : K₂O: winter wheat – 1 : 0,4 : 0,7; corn – 1 : 0,3 : 0,8; spring barley – 1 : 0,4 : 0,7 and soy – 1 : 0,4 : 0,4. With the non-commodity part of the crop, nitrogen with corn stalks returns to the soil from economic removal – 28–36 %, phosphorus with soybean straw (47–54 %) and potassium with winter wheat straw and corn stalks – 74–80 %, depending on the experiment variant.

Keywords: podzolized chernozem, fertilizers, basic nutrients, winter wheat, corn, spring barley, soybeans.

Citing: Hospodarenko H.M., Chernov O.D., Martyniuk A.T., Boiko V.P. 2021. Removal of basic nutrients from the soil by field crop rotations with different fertilizers *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 31-40. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-04>.

УДК 631.153.3

Вміст обмінного калію у ґрунті залежно від способу обробітку та метеорологічних факторів

Я. А. Погромська

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 18.03.2021 Отримано після доопрацювання 12.05.2021 Затверджено до друку 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	Стаття є продовженням серії публікацій результатів дослідження поведінки поживних речовин у системі «ґрунт-рослина» на тлі глобальних та регіональних кліматичних змін з огляду на можливість мінімізації обробітку ґрунту. В умовах стаціонарного польового досліду на чорноземі звичайному (Calcic Chernozem) у Донецькому регіоні впродовж п'яти років (1994-1998) провели моніторинг вмісту обмінного калію в орному шарі ґрунту під просапною культурою кукурудзою в межах зерно-просапної сівозміни на варіантах відвального та безвідвального обробітків ґрунту за однакової системи мінерального удобрення. Одночасно реєстрували динаміку кількості опадів та температури повітря і ґрунту. За результатами досліджень виявлено стійкий ефект впливу на рівень калійного живлення рослин метеорологічних факторів та загальну тенденцію до зниження, за відмови від оранки, середнього рівня вмісту у ґрунті обмінного калію під рослинами кукурудзи в межах орного шару, головним чином за рахунок шарів 10-20 см і 20-30 см. Показано, що для відвального обробітку оптимум зволоженості попереднього року характеризується ГТК 1.0, а для безвідвального – 1.25. За передування дуже сухого (ГТК <0.5) або надмірно зволоженого (ГТК >1.5) року безвідвальний обробіток може бути більш сприятливим щодо рухомості калію. Але у межах ГТК 0.5-1.5 більш прийнятною є оранка. Визначено, що відмова від обертання скиби призводить до послаблення залежності рухомості калію у ґрунті шару 0-30 см від температурних показників, захищаючи від температурної фіксації калію, та сприяє посиленню впливовості зволожувального режиму травня. Але суха й прохолодна осінь стає ймовірною причиною зниження рухомості калію за відмови від обертання скиби. Всі висновки підтверджено результатами кореляційного, регресійного та дисперсійного аналізу ANOVA.
Ключові слова: агрокліматичні умови; безвідвальний обробіток; Донецький регіон; калій обмінний; оранка; опад; температура повітря	

*E-mail: joanap@i.ua

Форма цитування: Погромська Я.А. Вміст обмінного калію залежно від обробітку ґрунту та метеорологічних факторів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 41-48.
<https://doi.org/10.31073/acss91-05>

1. Вступ

Калій, разом з азотом і фосфором, є одним з основних елементів живлення, присутність у ґрунті яких є необхідною умовою функціонування системи «ґрунт-рослина». Уміст калію у ґрунтах визначається мінералогічним складом ґрунотворних порід, їх гранулометричним складом, а також зональними умовами та характером землекористування (В.І. Долженчук, Г.Д. Крупко [1]). Визнаним фактором формування рівня вмісту доступного калію в ґрунті є хімічне вивітрювання калієвмісних мінералів (В.В. Кидин, С.П. Торшин [2]), інтенсивність якого значним чином визначається водним і температурним режимами ґрунту. Уміст обмінного калію, представленого позитивно зарядженими іонами елементу, розташованими на поверхні негативно заряджених колоїдних часток ґрунту, є основним показником забезпеченості ґрунту доступним для рослин калієм і характеризує, окрім генетичних особливостей ґрунту, інтенсивність антропогенного навантаження системи «ґрунт-рослина». Зокрема система механічного впливу на ґрунт, формуючи водно-повітряний, окисно-відновний і температурний режими, суттєво впливає на доступність калію рослинам (М.К. Шидула, Л.І. Кучер [3]).

Широке впровадження мінімізації обробітку ґрунту у сільськогосподарське виробництво актуалізує вивчення особливостей калійного режиму за відмови від обертання скиби. Дослідженнями Л.І. Кучер [4] показано, що мінімізація обробітку лучно-чорноземного ґрунту сприяє накопиченню обмінного калію у чорноземі звичайному. Автор стверджує, що мінімальний обробіток ґрунту деякою мірою сприяє трансформації калію з необмінних у доступні для рослин форми завдяки підвищенню кислотності ґрунтового розчину у верхньому 0–15 см шарі ґрунту. За мінімального обробітку ґрунту більш інтенсивно відбувається надходження калію з ґрунтового вбирного комплексу в ґрунтовий розчин. При цьому локалізація рослинних решток у верхньому шарі ґрунту сприяє підвищенню вмісту калію. Однак варто зауважити, що підвищення рівня вмісту обмінного калію за відмови від оранки характерно більше у приповерхневому шарі, як у

дослідженнях Н.М. Лиса [5] на дерновому опідзоленому ґрунті при вирощуванні ріпаку озимого, тоді як у шарі 15-30 см обмінного калію більше при застосуванні оранки, як і на лучно-чорноземному ґрунті під кукурудзою та ячменем ярим за даними Л.І. Кучер [4]. А І.О. Бульба [6] вказує на те, що вміст обмінного калію у шарі 0-40 см темно-каштанового ґрунту сягає свого максимального значення саме у варіанті оранки, а не за мінімального обробітку. Проте у дослідженнях J.C. Salonego, C.A. Rosolem [7] у сівоzmіні за *no-till* на субтропічних ґрунтах Бразилії за середньорічної кількості опадів приблизно 1500 мм зменшились втрати К.

Станом на сьогодні підвищується вагомість такого фактору впливу на рухомість елементів живлення у системі «ґрунт-рослина», як глобальні та регіональні кліматичні зміни, що робить необхідним більш точне врахування метеорологічних коливань у технологіях сучасного сільськогосподарського виробництва [8, 9, 10]. Результати досліджень ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» [11, 12] свідчать про підвищення залежності ефективності від калійного фону чорнозему типового у посушливі роки. Автори констатують, що в умовах потепління клімату змінюється спрямованість процесів взаємодії елементів живлення з ґрунтом, а також за підвищення температури повітря та зменшення вологості ґрунту знижується рухомість поживних речовин [12].

Організація ефективного сільськогосподарського виробництва у сучасних умовах достатньо гостро потребує детального врахування впливу поєднання двох вагомих факторів, природного – кліматичних змін, та антропогенного – мінімізація технологій обробітку ґрунту, на доступність рослинам елементів живлення. Серія публікацій автора за результатами дослідження поведінки поживних речовин у системі «ґрунт-рослина» на тлі кліматичних тенденцій розкриває особливості змін рухомості основних елементів живлення азоту [13] і фосфору [14] у зв'язку з мінімізацією обробітку ґрунту у ґрунтово-кліматичних умовах Донеччини.

Метою цієї статті, яка є продовженням висвітлення результатів досліджень, є характеристика особливостей впливу метеорологічних факторів на вміст обмінного калію в орному шарі чорнозему звичайного за традиційної оранки та безвідвального плоскорізного обробітку ґрунту в зерно-просапній сівоzmіні в умовах Донецького регіону.

2. Об'єкти, матеріали і методи досліджень

Роботу проведено в межах польового стаціонарного досліді на базі дослідного господарства ДП «ДГ «Донецьке» Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Територія розташована на Донецькій височині північно-західної частини Донецького кряжу: 48°19'39.3"N 37°46'12.9"E, висота над рівнем моря 190 м. Ґрунт – чорнозем звичайний (Calcic Chernozem) важкосуглинковий слабоеродований на лесі. Спостереження проведено протягом 1993-2000 рр. у зерно-просапній сівоzmіні (початок у 1994 році) з чергуванням культур: *кукурудза на силос, пшениця озима, кукурудза на зерно, ячмінь ярий, кукурудза на силос*.

Для компенсації фактору впливу строкатості ґрунтового покриття досліджувану ділянку було розбито на три клини, які вводились у сівоzmіну у 1994, 1995 та 1996 роках.

Застосовано два типи основного обробітку ґрунту: різноглибинна відвальна оранка; різноглибинний безвідвальний плоскорізний обробіток (глибина обробітку відповідно технологічним потребам культури). Застосування мінеральних добрив та гербіцидів – за традиційною схемою однаково для кожного варіанту обробітку ґрунту.

Проби ґрунту відбирали з шару 0-30 см на глибинах 0-10, 10-20 і 20-30 см у період активної вегетації культур протягом 1994-1998 рр.

Вміст обмінного (рухомого) калію у зразках ґрунту визначали за методом Мачигіна (ДСТУ4114-2002). Статистичну обробку даних виконували методами багатфакторного дисперсійного (ANOVA), кореляційного та регресійного аналізів. Метеорологічні дані взято безпосередньо з результатів спостережень (1993-2020 рр.) на метеопосту селища Суха-Балка (48°19'33.9"N 37°45'54.3"E). Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) розраховували за Г.Т. Селяниновим [15].

3. Метеорологічні умови в період досліджень

Метеорологічні спостереження проведено протягом 28 років з метою виявлення сучасних тенденцій погодних флуктуацій. Результати багаторічних вимірювань кількості опадів та температури повітря дали можливість заключити, що існує чітка тенденція до збільшення частоти проявів посушливих умов з річним показником ГТК 0,7-1,0. Згідно з результатами спостережень на території проведення досліджень за останні 28 років

спостерігаються три випадки перезволоження років з показником ГТК більше 1,5 (1993, 1995, 2001) та три роки дуже посушливих умов з ГТК менше 0,5 (2009, 2015, 2020).

Період, обраний для дослідження вмісту обмінного калію в ґрунті, характеризується достатньою контрастністю погодних умов. Дослід закладено в рік (1993) надлишкового зволоження (Табл. 1) і протягом наступних п'яти років констатовано чергування зволених та посушливих років.

Таблиця 1

Динаміка гідротермічного коефіцієнту у період досліджень

Показник	Середньорічні значення ГТК						Середнє багаторічне значення ГТК
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
ГТК	1,60	0,65	1,55	0,88	1,25	0,53	0,86

Помітні різниці між роками дослідження за гідротермічними умовами спостерігаються у період активної вегетації культур, зокрема у травні, місяці, який визначає умови початку розвитку просапних культур у регіоні (Табл. 2).

Таблиця 2

Динаміка метеорологічних параметрів у періоди активної вегетації культур та після вегетації

Рік	Температура повітря, °С							Опади, мм						
	по місяцях													
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1994	15,2	18,4	21,8	21,6	21,5	11,3	0,2	19,0	59,0	6,5	37,5	16,0	47,0	19,0
1995	17,8	24,7	22,0	20,9	17,6	8,1	2,9	71,1	160,0	74,0	52,0	72,0	67,5	92,5
1996	22,0	21,9	26,2	22,5	12,9	8,4	6,9	63,5	35,0	3,0	39,0	165,0	30,0	0,0
1997	18,0	22,6	20,6	19,7	12,8	6,2	2,9	29,5	107,1	163,0	52,0	22,0	86,5	50,0
1998	17,3	24,2	26,8	23,1	17,2	9,0	-0,9	40,0	35,0	58,5	31,0	2,8	43,5	33,0
Середні	17,0	21,0	23,2	22,3	16,0	8,7	2,2	47,7	69,4	55,4	37,4	47,7	34,9	38,5

4. Результати досліджень та їх обговорення

4.1. Загальний уміст і пошаровий розподіл обмінного калію у ґрунті

Насиченість ґрунту дослідної ділянки калієм, згідно з ранжуванням у методиці агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [16], є в середньому достатньо високою. За результатами визначення під просапними культурами у шарі 0-30 см, залежно від року, ґрунт містив обмінного калію від 384 до 661 мг/кг за відвального обробітку та від 378 до 587 мг/кг ґрунту за безвідвального. І в середньому, протягом п'яти років визначень, вміст калію у ґрунті за відвального обробітку (462 мг/кг) перевищує значення за безвідвального (441 мг/кг), що є статистично достовірним ($HIP_{05} = 13$ мг/кг ґрунту). Тобто, дані вказують на загальну тенденцію до зниження середнього рівня вмісту обмінного калію в ґрунті у межах орного шару під вегетуючими культурами зерно-просапної сівозміни. За п'ять років ротації середній уміст K_2O у ґрунті шару 0-30 см за безвідвального обробітку був на 4,5 % нижчим порівняно з оранкою, що у межах досліді є на 95 % достовірним.

Усереднення даних по всіх культурах сівозміни показало достовірне зменшення вмісту у ґрунті обмінного калію у шарах 10-20 та 20-30 см на варіантах застосування безвідвального плоскорізного обробітку порівняно з варіантами беззмінної оранки (Рис. 1), що підтверджується і пізніше отриманими даними Л.І. Кучер [4] та Н.М. Лиса [5].

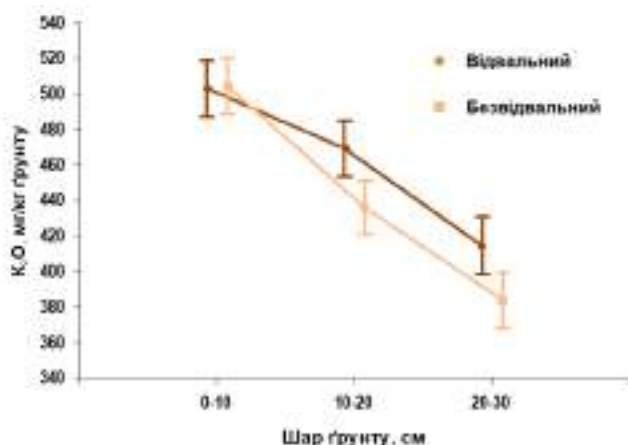


Рис. 1. Середній за сівозміну вміст обмінного калію у ґрунті у період активної вегетації за відвального та безвідвального обробітків

Однак, на відміну від результатів досліджень [4, 5], підвищення вмісту обмінного калію у шарі 0-10 см за відмови від оранки в умовах нашого досліду не спостерігалось.

4.2. Багаторічна динаміка вмісту обмінного калію в орному шарі ґрунту залежно від ГТК

Характер динаміки вмісту у ґрунті обмінного калію у роки досліджень вказує на його зв'язок з погодними умовами попереднього року, а саме, з ГТК періоду активних температур (Рис. 2).

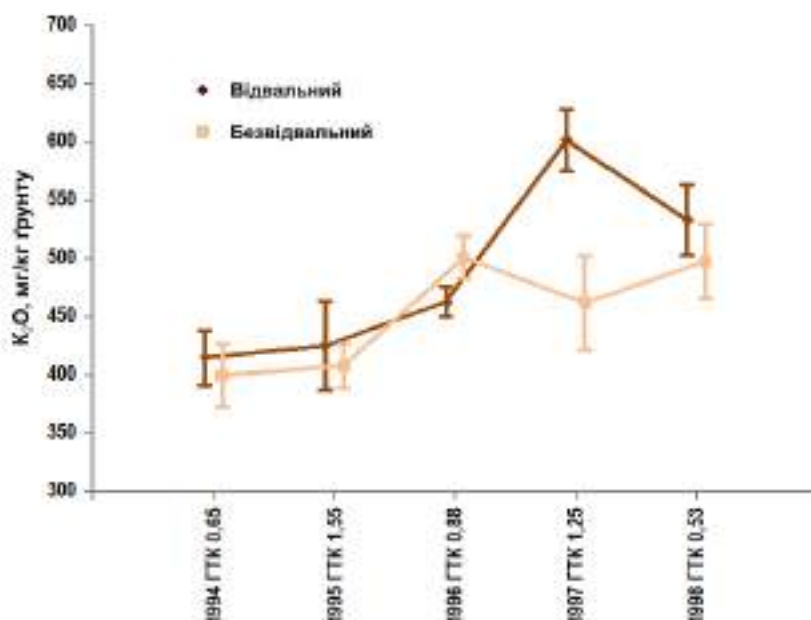


Рис. 2. Середній вміст обмінного калію у ґрунті в шарі 0–30 см під кукурудзою у період активної вегетації за відвального та безвідвального обробітків ґрунту

Апроксимація даних малої вибірки середніх ($n=5$) за допомогою квадратичної моделі вказує на наявність регресійної залежності вмісту обмінного калію у ґрунті шару 0–30 см від ГТК періоду активних температур більше 10 °С попереднього року з чітко вираженим оптимумом (Рис. 3), що з різною мірою наближення описується рівняннями (1, 2):

$$y_1 = -697,24x^2 + 1535,3x - 256,44; \quad R^2 = 0,82; \quad (1)$$

$$y_2 = -355,12x^2 + 838,33x + 7,9946; \quad R^2 = 0,58; \quad (2)$$

де x – ГТК періоду активних температур більше 10 °С попереднього року;

y_1 – вміст обмінного калію у ґрунті за відвального обробітку, мг/кг;

y_2 – вміст обмінного калію у ґрунті за безвідвального обробітку, мг/кг.

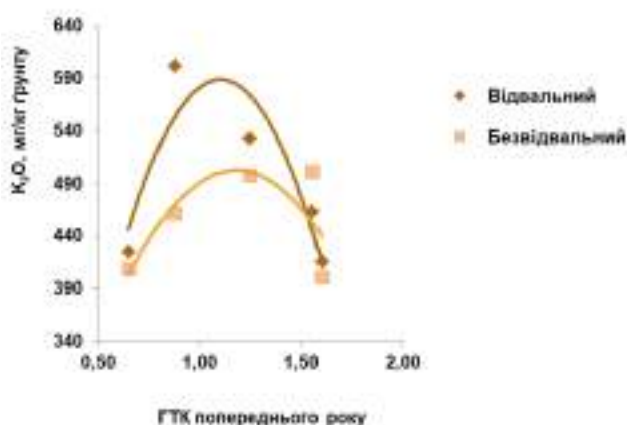


Рис. 3. Залежність вмісту обмінного калію у ґрунті під кукурудзою у період активної вегетації від ГТК попереднього року за різного обробітку

Із рисунку та рівнянь видно, що для відвального обробітку оптимум зволоженості попереднього року зміщений ближче до одиниці ГТК, а за безвідвального – у бік більшої зволоженості (ГТК 1,25).

Згідно з коефіцієнтом детермінації, квадратична модель залежності $y(x)$ для безвідвального обробітку не враховує більше впливових чинників, і описує дещо більше половини мінливості даних.

Виходячи зі здобутих результатів можна стверджувати, що за передування дуже сухого року (ГТК < 0,5) або на наступний рік після року надмірного зволоження (ГТК > 1,5), тобто за збігу контрастних за зволоженням років, безвідвальный обробіток може бути більш сприятливим щодо формування рухомості калію під просапними культурами. Однак за кліматичними тенденціями регіону в останній час спостерігається зменшення діапазону коливання ГТК і частоти досягнення оптимальних значень гідротермічного коефіцієнту - 1,1. Окрім того, із отриманих залежностей витікає, що перевага відвального обробітку, щодо вмісту обмінного калію у ґрунті, спостерігається в межах ГТК від 0,5 до 1,5. А за останні 28 років на території проведення досліджень показник ГТК виходить за ці межі з частотою лише 21 %. Тому можна стверджувати, що ґрунтово-кліматичні умови регіону не сприяють підвищенню вмісту обмінного калію в ґрунті під вегетуючими рослинами кукурудзи за відмови від обертання скиби.

4.3. Математична оптимізація вмісту обмінного калію залежно від метеорологічних умов травня

Аналогічним чином проведене математичне моделювання вмісту обмінного калію в ґрунті у шарі 0–30 см у період активної вегетації рослин вказує на залежність цього показника від температури на поверхні ґрунту (Рис. 4; рівняння 3, 4) і атмосферних опадів у травні (Рис. 5; рівняння 5, 6).

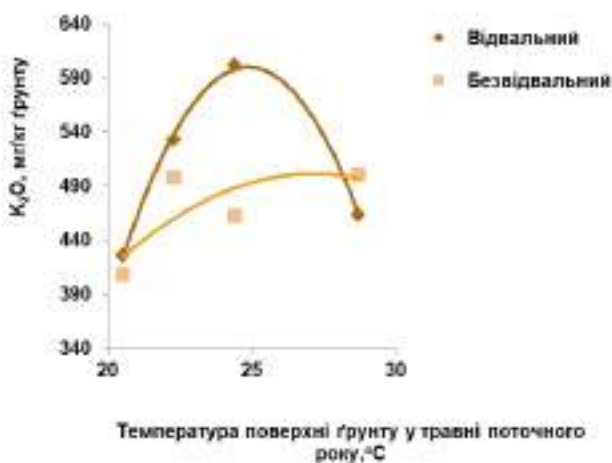


Рис. 4. Залежність вмісту обмінного калію (K_2O) у ґрунті шару 0–30 см навесні під просапними культурами від температури поверхні ґрунту в травні за відвального та безвідвального обробітків

Залежність умісту обмінного калію (мг/кг) у ґрунті шару 0–30 см під кукурудзою у період активної вегетації рослин від температури поверхні ґрунту у травні поточного року за відвального (y_1) та безвідвального (y_2) обробітків описується такими рівняннями:

$$y_1 = -9,2677x^2 + 460,92x - 5131,2; \quad R^2 = 0,99; \quad (3)$$

$$y_2 = -1,7523x^2 + 95,122x - 789,69; \quad R^2 = 0,58; \quad (4)$$

де x – температура поверхні ґрунту у травні поточного року, °С;

Математична оптимізація показує, що в межах проведення спостережень (коливання температури поверхні ґрунту від + 20 °С до + 30 °С) залежність умісту обмінного калію в ґрунті орного шару від температури поверхні ґрунту має оптимум: для оранки біля + 24,8 °С і біля + 26,4 °С – для безвідвального обробітку (із диференціювання рівнянь 3 та 4, що описують залежності на рисунку 3). Вирішення системи рівнянь дозволяє виявити діапазон значень температури поверхні ґрунту, у межах якого оранка є більш ефективною щодо рухомості калію. Згідно з розрахунком превалювання ефективності відмови від оранки починає проявлятися, коли середньомісячна температура поверхні ґрунту вище 28,2 °С або нижче 20,5 °С. Спостерігаємо виражену протекторну дію безвідвального обробітку щодо захисту рухомості калію від весняних екстремальних температурних проявів. А в межах температур поверхні ґрунту у травні від +20,5 °С до +28,2 °С найбільш вірогідним є більш високий вміст обмінного калію у ґрунті на оранці. Кількість випадків виходу за межі цього температурного інтервалу за останні 28 років не перевищує 24 %. Тобто, безвідвальний обробіток за звичайних травневих температурних умов регіону не сприяє превалюванню за вмістом обмінного калію над оранкою, але захищає ґрунт від негативного впливу екстремальних температурних проявів.

Залежність умісту обмінного калію в ґрунті під просапними культурами від режиму зволоження (Рис. 5; рівняння 5, 6) також характеризується оптимумом: для безвідвального обробітку – 47 мм опадів у травні та відвального – 43 мм, що показує диференціювання рівнянь 5 та 6.

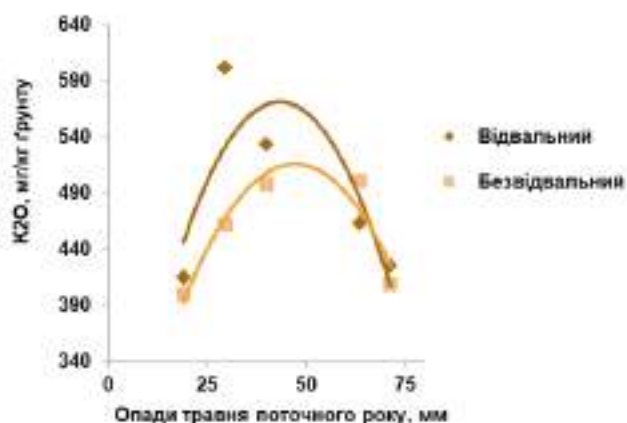


Рис. 5. Залежність умісту обмінного калію у ґрунті шару 0–30 см навесні під просапними культурами від кількості опадів у травні поточного року за відвального та безвідвального обробітків

Залежність умісту обмінного калію (мг/кг) у ґрунті шару 0–30 см під просапними культурами від кількості опадів у травні поточного року за відвального (y_1) та безвідвального (y_2) плоскорізного обробітку описується такими рівняннями:

$$y_1 = -0,2121x^2 + 18,343x + 174,65; \quad R^2 = 0,68; \quad (5)$$

$$y_2 = -0,1554x^2 + 14,63x + 171,51; \quad R^2 = 0,87; \quad (6)$$

де x – кількість опадів у травні поточного року, мм;

Розв'язання системи рівнянь 5 і 6 дозволяє передбачити можливе превалювання безвідвального обробітку щодо вмісту обмінного калію у ґрунті шару 0–30 см за кількості травневих опадів, яка перевищує 66 мм, що за тривалий період метеорологічних досліджень спостерігається лише у 29 % випадків. А поєднання температурних умов, що допускають перевищення вмісту обмінного калію за безвідвального обробітку відносно оранки (температура поверхні ґрунту у травні менше + 20 °С та більше + 28,4 °С), з необхідною кількістю опадів травня (більше 66 мм) спостерігається лише у 9,5 % випадків, що свідчить про невелику ймовірність превалювання плоскорізного обробітку над відвальним щодо формування рівня рухомості калію.

Судячи з коефіцієнтів детермінації рівнянь регресії (3–6), відмова від обертання скиби призводить до послаблення залежності (або (та) існування більш суттєвих факторів впливу) рухомості калію у ґрунті шару 0–30 см навесні під кукурудзою від температурних показників поверхні ґрунту ($R^2 = 0,998$ для відвального обробітку, $R^2 = 0,58$ для

безвідвального) та збільшення впливовості режиму вологості травня у поточному році ($R^2 = 0,67$ для відвального обробітку, $R^2 = 0,86$ для безвідвального).

4.4. Вплив гідротермічних особливостей осіннього періоду

Коефіцієнт кореляції Пірсона між умістом обмінного калію в ґрунті шару 0–30 см навесні під просапними культурами і кліматичними показниками попереднього року представлено в табл. 3.

Таблиця 3

Коефіцієнт кореляції Пірсона між умістом обмінного калію у ґрунті шару 0–30 см і кліматичними показниками попереднього року. Весна. Проспані культури.

Показник	Обробіток	
	відвальный	безвідвальный
Опади періоду активних температур більше +10 °С	0,65	0,54
Сума активних температур більше +10 °С	-0,90	-0,04
Опади за X-XI місяці	0,37	0,74
Середня температура X-XI	0,48	0,65

Результати розрахунків дозволяють відзначити послаблення впливу погодних умов періоду активних температур вище +10 °С попереднього року на формування рухомості калію за переходу до безвідвального обробітку (особливо температурних показників), але посилення залежності вмісту K_2O , за відмови від обертання скиби, від осінніх погодних умов періоду зяблевого обробітку та перед входом у зиму.

Тобто, зниження рухомості калію через температурну фіксацію і посуху за безвідвального обробітку в умовах дослідів є менш вірогідним, ніж за оранки. Отже суха і прохолодна осінь стає більш імовірною причиною зниження рухомості калію за відмови від обертання скиби.

5. Заключення та висновки

У підсумку можна сказати, що врівноваження різноспрямованих процесів мобілізації та фіксації встановлює рівень запасу в ґрунті потенційно доступного калію у відповідності до технології обробітку ґрунту та погодних чинників.

Відмова від обертання скиби за обробітку ґрунту в умовах Донецького регіону призводить до послаблення залежності рухомості калію у ґрунті шару 0–30 см під просапними культурами від температурних показників періоду активної вегетації рослин, захищаючи ґрунт від згубного перегріву, але сприяє посиленню впливу зволожувального режиму травня. При цьому зниження рухомості калію через температурну фіксацію і посуху за безвідвального обробітку у період вегетації рослин є менш вірогідним, ніж за оранки. Проте суха і прохолодна осінь (за межами вегетаційного періоду) стає ймовірною причиною зниження рухомості калію за відмови від обертання скиби.

Окреслення довгострокового впливу погодних умов на формування рухомості калію вказує, що оптимум зволоженості попереднього року для відвального обробітку зміщений ближче до ГТК 1.0, а для безвідвального – в бік більшої зволоженості (ГТК 1.25). Причому за передування дуже сухого (ГТК < 0.5) або надмірно зволоженого року (ГТК > 1.5) безвідвальный обробіток може бути більш сприятливим щодо формування рухомості калію під просапними культурами. Тоді, коли у межах ГТК від 0,5 до 1,5 більш прийнятною є оранка.

Частота випадків таких погодних умов, за яких перевищення вмісту обмінного калію за безвідвального обробітку (відносно оранки) за період спостереження становить не більше 9,5 %. Тому середній уміст обмінного калію в ґрунті шару 0–30 см періоду активної вегетації культур зерно-просапної сівозміни за відвального обробітку статистично достовірно перевищує показник за відмови від обертання скиби. І, виходячи з тренду змін клімату в регіоні, перехід до технологій обробітку ґрунту без обертання скиби зумовлює стабілізацію тенденції до зменшення вмісту обмінного калію у ґрунті під вегетуючими сільськогосподарськими культурами.

Список використаних джерел

1. Долженчук В.І., Крупко Г.Д. Динаміка родючості ґрунтів Рівненської області. *Охорона родючості ґрунтів*. Київ. 2010. Вип. 6. С. 52–60.
2. Кидин В.В., Торшин С.П. Агрохімія : учебник. Москва : Проспект, 2016. 608 с.

3. Шикун М.К., Кучер Л.І. Проблема калію в ґрунтозахисному землеробстві. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2004. №1. С. 242-246.
4. Кучер Л.І. Інтенсивність переходу іонів калію за ґрунтозахисного землеробства. Міжнародний науковий журнал "Науковий огляд". 2014. Том 8, № 7 URL: <https://naukajournal.org/index.php/naukajournal/article/view/293/486>.
5. Лис Н.М. Вплив способів основного обробітку на поживний режим ґрунту за вирощування ріпаку озимого. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 9. С. 15-18.
6. Бульба І.О. Вплив основного обробітку ґрунту та доз азотних добрив на продуктивність ріпаку ярого в умовах зрошення півдня України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.02; ДВНЗ "Херсон. держ. аграр. ун-т". Херсон, 2015. 20 с.
7. Calonego J.C., Rosolem C.A. Phosphorus and potassium balance in a corn-soybean rotation under no-till and chiseling. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2013. V. 96. No 1. P. 123-131. <https://doi.org/10.1007/s10705-013-9581-x>.
8. Iglesias A., Garrote S., Qniraga S., Moneo M. Impacts of climate change in agriculture in Europe. PESETA — Agriculture study. European Communities. 2009. 59 p.
9. Просуцько В. Вплив глобальних змін клімату на погоду в Україні. *Наука і суспільство*. 1999. № 10–12. С. 60–63.
10. Медведєв В.В., Лактионова Т.Н., Донцова Л.В. Водные свойства почв Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Харьков: Апостроф, 2011. 224 с.
11. Петриченко В.Ф., Балюк С.А., Носко Б.С. Підвищення стійкості землеробства в умовах глобального потепління. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 9. С. 5–12.
12. Балюк С.А., Носко Б.С., Воронинцева Л.І. Регулювання родючості ґрунтів та ефективності добрив в умовах змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2018, № 4 (781). С. 5–12. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201804-01>
13. Погромська Я.А. Вміст нітратів у ґрунті під зерно-просапною сівозмінною залежно від способу його обробітку та метеорологічних факторів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2018. Вип. 87. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 100-106. <https://doi.org/10.31073/acss87-15>.
14. Погромська Я.А. Вплив гідротермічних флуктуацій та способів обробітку на рухомість фосфатів у ґрунті. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2020. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 71-82. <https://doi.org/10.31073/acss89-08>.
15. Селянинов Г.Т. Принципы агроклиматического районирования СССР // Вопросы агроклиматического районирования СССР. Москва: МСХ СССР, 1958. С. 7–14.
16. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / За ред. С.М. Рижука, М.В. Лісового, Д.М. Бенцаровського. Київ, 2003. 64 с.

UDC 631.153.3

The content of exchangeable potassium in the soil depending on the method of tillage and meteorological factors

Ya. A. Pogromska

National Scientific Center "Institute for Soil Science and agrochemistry research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine
E-mail: joanap@i.ua

The article is a continuation of a series of publications on the results of the study of nutrient elements in the soil-plant system against the background of global and regional climate change, given the possibility of minimizing tillage. In the conditions of stationary field experiment on ordinary chernozem (Calcic Chernozem) in the Donetsk region for five years (1994-1998) it was monitored the content of exchangeable potassium in the arable layer of the soil under the row crop corn within the grain-growing crop rotation on the options of plowing and subsurface non-turning tillage under the same mineral fertilizer system. At the same time, the dynamics of precipitation and air and soil temperature were recorded. According to the results of research, it is a steady effect of meteorological factors on the level of potassium nutrition of plants and a general tendency to decrease the average level of exchangeable potassium contents in the soil under vegetative plants of maize within the arable layer, mainly due to layers of 10-20 cm and 20-30 cm. It is shown that for plowing the optimum of humidity of the previous year is characterized by hydrothermal coefficient of Selianinov (HTC) 1.0, and for subsurface non-turning tillage - 1.25. With a very dry (HTC <0.5) or excessively wet year (HTC > 1.5), subsurface non-turning tillage may be more favorable for potassium mobility. But within the HTC 0.5-1.5 is more acceptable plowing. It is determined that the refusal to plowing leads to a decrease in the dependence of potassium mobility in the soil layer 0-30 cm on temperature, protecting from temperature fixation of potassium, and enhances the influence of the humidification regime in May. But dry and cool autumn is a likely cause of reduced potassium mobility without plowing. All conclusions are confirmed by the results of correlation, regression and variance (ANOVA) analysis.

Keywords: agroclimatic conditions; air and soil temperature; Donetsk region; exchangeable potassium; plowing; precipitation; subsurface non-turning tillage.

Citing: Pogromska Ya. A. 2021 The content of exchangeable potassium in the soil depending on the method of tillage and meteorological factors. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 41-48. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-05>.

УДК 633.34:631

Ефективність використання елементів живлення сучасними гібридами кукурудзи в посушливих умовах Лісостепу

О.В. Харченко¹ С.В. Петренко¹, М.Г. Собко², С.І. Медвідь², Е.А. Захарченко¹

¹Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна

²Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН, Сумський район, с. Сад, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 03.11.2020 Отримано після доопрацювання 15.05.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	Розглянуто проблему ефективності використання основних елементів мінерального живлення з добрив і ґрунту гібридами кукурудзи. Вирощування сучасних гібридів вимагає встановлення необхідної норми добрив під заплановану врожайність з урахуванням потенціалу продуктивності гібриду та погодних умов. За відсутності конкретних цифр виносу поживних речовин для будь-якого нового сорту та гібриду запропоновано ефективність використання елементів живлення визначати за показником рівня інтенсивності сорту, який розраховується за співвідношенням фактичної та нормативної урожайності. Дослідження проведено з гібридами кукурудзи української селекції різної скоростиглості – Зоряний (ФАО 190), Лелека (ФАО 260) та Донор (ФАО 310) у 2018-2019 рр. на полях Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН у Сумській області України. Ґрунт – чорнозем типовий вилугований (Endocalcis Chernozem) середньосуглинковий. Вегетаційні періоди в роки дослідження характеризувались як дуже посушливі (ГТК 0,45-0,46). Розрахований рівень інтенсивності гібридів у середньому за два роки на фоні без добрив становив 1,07, а з удобренням ($N_{100} P_{45} K_{45}$) – 1,36. Доведено, що на фоні застосування мінеральних добрив підвищується ефективність використання NPK із ґрунту. Частка елементів живлення, використаних із ґрунту, становить: азоту – 53,8-71,4 %, фосфору – 20,0-26,6 % і калію – 65,4-86,8 %. Відносний вплив добрив на урожай зменшується, тобто зростає частка природної родючості у прирості врожаю на удобреному ґрунті. За два роки з лімітом вологи у вегетаційний період на фоні внесення мінеральних добрив за рахунок природної родючості ґрунтів урожайність усіх гібридів в середньому підвищилася на 1,33-1,46 т/га. Виявлено залежність урожайності всіх гібридів кукурудзи від гідротермічних умов у червні. Встановлено, що за всіх інших рівних умов урожайність прямо співвідносна з індексом ФАО гібриду. Окупність мінеральних добрив оцінено як 0,86-1,14 т/ц.

* E-mail: elionapolis@gmail.com

Форма цитування: Харченко О.В., Петренко С.В., Собко М.Г., Медвідь С.І., Захарченко Е.А. Ефективність використання елементів живлення сучасними гібридами кукурудзи в посушливих умовах Лісостепу. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 49-58. <https://doi.org/10.31073/acss91-06>.

1. Вступ

Сучасний рівень продовольчої безпеки досягнуто завдяки інтенсивному промислового сільському господарству, в якому великі агрохолдинги часто вирощують одні й ті самі культури щорічно, використовуючи велику кількість пестицидів та добрив, що, в кінцевому підсумку, виснажує ґрунт, спричиняючи забруднення вод, утрату поживних речовин, зменшення біорізноманіття та викликаючи зміну клімату. Більшості розвинених країн довелося застосувати сучасні сільськогосподарські технології, щоб досягти продовольчої безпеки для зростаючого населення, а також підтримати агробізнес та отримання доходів. Зростає розуміння суспільства щодо того, що нинішня сільськогосподарська практика не є стійкою, оскільки вона, як правило, витрачає цінні ресурси та погіршує стан довкілля [1].

Внесення добрив є важливим для належного забезпечення поживними речовинами та вирощування максимальних урожаїв. Рослини, які ефективно засвоюють та використовують поживні речовини, значно підвищують ефективність застосовуваних добрив, зменшуючи вартість витрачених матеріалів та запобігаючи втратам поживних речовин для екосистем [2]. Ідеальні програми для управління живленням рослин спрямовані на раціональне внесення добрив, тобто внесення поживних речовин у потрібне місце та потрібний час з правильною періодичністю [3]. Однак повинен існувати баланс між урожайністю сільськогосподарських культур та коефіцієнтом використання поживних речовин. Найвищий коефіцієнт завжди там, де вміст поживних речовин у ґрунті найменший [4].

Загальновідомо, що кожний новий сорт чи гібрид сільськогосподарської культури, за визначенням, є більш урожайним, ніж попередні. Сам факт підвищеної урожайності вказує на більш повне використання основних елементів як із ґрунту, так і з внесених добрив, що, своєю чергою, створює умови дефіцитності балансу основних елементів живлення. Отже, чим більш урожайним є той чи інший гібрид, тим агресивнішим він є в екологічному розумінні і більш інтенсивним – в економічному.

Не викликає сумніву обумовленість урожайності культури рівнями інтенсивності технології та сорту (гібриду) і погодними умовами вегетаційного періоду, які є фоном для реалізації перших двох факторів.

Наразі відомо, що однією із обмежувальних умов, у плануванні вирощування того чи іншого гібриду, є встановлення необхідної норми добрив під заплановану врожайність, що, своєю чергою, вимагає кількісного оцінювання рівня інтенсивності цього гібриду. Необхідність цього пояснюється тим, що наявні довідкові дані з ефективності використання елементів живлення культурою (коефіцієнт використання елементів з ґрунту і добрив, або окупність балу бонітету чи добрив) є адекватними для рівнів урожайності культур періоду 1970–1980-х років, коли інтенсивність тодішніх гібридів була суттєво нижчою [5]. Отже, відсутність кількісних даних щодо використання елементів живлення для будь-якого нового сорту чи гібриду вимагає визначитися з рівнем його інтенсивності.

Результати досліджень науковців Волинської державної сільськогосподарської дослідної станції, що проведені з використанням мічених атомів, свідчать про недосконалість визначення норм внесення мінеральних добрив балансовим методом. Наприклад, коефіцієнт використання азоту озимим житом, вирощеним на дерново-підзолистому ґрунті, який визначено з використанням міченого азоту, в 1,6-1,7 рази менше, ніж за визначення балансовим методом [6]. Науковці зазначають, що тривале інтенсивне використання мінеральних добрив, збільшення їх доз, хоч і на фоні органічних добрив, призводить до збільшення частки мулистій фракції у гранулометричному складі ґрунту, що є негативною тенденцією.

Вчені ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» підкреслюють важливість менеджменту живлення сільськогосподарських культур [7]. Висока вартість мінеральних добрив та енергоносіїв іноді призводить до зниження окупності витрат на здобування приросту врожаю відносно неудообрених ділянок. Також, зі зміною кліматичних умов, за вирощування нових інтенсивних гібридів, вносяться корективи і на споживання рослинами поживних елементів із ґрунту. Припускають, що за науково обґрунтованої, збалансованої системи удобрення коефіцієнт використання поживних елементів із ґрунту можна збільшити на більш ніж 20 % [7]. Головною причиною дисбалансу є неправильне співвідношення вмісту у ґрунті поживних елементів для сільськогосподарських культур. Рослинна діагностика проводиться, але часто лише через погодні аномалії для надання висновку про подальше коригування системи удобрення рослин.

Внаслідок глобального потепління прогнозується підвищення уваги вчених до створення гібридів, які будуть мати високу енергію проростання та потужний розвиток на початку вегетаційного періоду. Залежно від індексу групи стиглості – ФАО і ряду генетичних особливостей гібриди кукурудзи можуть відрізнятися за відгуком на внесення мінеральних добрив. Велику роль відіграють ґрунтові умови та особливості рельєфу. В агрономії широко впроваджується використання індексів фотосинтетичної активності із застосуванням супутникового зондування, фотозйомки з квадрокоптерів та літаків, що дозволяє прогнозувати і коригувати живлення рослин.

В цілому, фактори температури та вологості є найважливішими у поясненні зниження врожайності культур; високі температури призводять до скорочення тривалості циклу росту, особливо фази наливу зерна [8]. Підвищення температури лімітує кількість сонячної радіації, що отримується рослиною на всіх стадіях розвитку, і особливо ризиковано – у критичні фази. Проводячи дослідження в умовах зрошення на півдні центральної частини Луїзіани в США D. Fromme та ін. [9] говорять про сильний зв'язок між погоднокліматичними умовами під час запилення та запліднення кукурудзи, бо коли рослина потерпає від сильного дефіциту вологості, вона може не приймати пилок. Посушливі умови й висока температура викликають стреси рослин, що зменшує густоту стояння, знижує біометричні параметри, тому урожайність основної і побічної продукції падає [10].

У праці американських учених підкреслюється необхідність розробки методів визначення коефіцієнтів використання добрив і формул розрахунку норм внесення мінеральних добрив [11]. Акцентується увага на брак інформації щодо розподілу речовин у різних частинах рослини кукурудзи в процесі її розвитку, зокрема в інтенсивних гібридів останнього покоління. Дуже швидко змінюються підходи до системи удобрення, обробітку ґрунту, захисту рослин і застосовуються високотехнологічні гібриди з різною скоростиглістю. Увага спрямована і на змінні норми висіву. Десятилітніми дослідженнями доведено, що вміст азоту в зерні сучасних гібридів є на 24 % меншим ніж у гібридів 60-х років минулого століття [10]. Тобто, точні розрахунки виносу поживних речовин основною та побічною продукцією залишатимуться важливими компонентами менеджменту живлення рослин.

Оцінка поглинання та розподілу поживних речовин може забезпечити фундамент для більш точного визначення коефіцієнтів використання, особливо в контексті глобального потепління. Однак більший врожай супроводжується падінням родючості ґрунту, про що свідчать дані науковців Канади та США [12].

Відомо, що генетичний відбір гібридів кукурудзи часто проводять за високих норм азоту протягом селекційного циклу [13]. Гібриди, вирощені в 60, 70 і 80-х роках, мають високий рівень засвоєння азоту, ефективніше збільшують суху речовину пагонів при цвітінні, але, в той же час, кількість зернин у качані менше ніж у сучасних гібридів.

Наразі вчені проводять достатньо досліджень з визначення взаємозв'язку між запасом азоту та води, що визначає врожайність та якість культур, вирощуваних у посушливих умовах [14, 15, 16]. Генотипи нової ери відрізняються більшою часткою загального вмісту азоту в рослині у зрілому стані, і демонструють більшу пристосованість до середовищ з низьким умістом азоту [17].

Такі характеристики рослин, як здатність ефективно використовувати фотосинтетичний азот і глибше розподіляти корені, можуть бути використані як критерій оцінки в селекційних програмах для відбору N-ефективних гібридних сортів для вирощування в умовах із низьким умістом азоту [18]. Посилення глобальної нестачі води також вплине на спосіб доставки азоту добрив до рослин і суттєво знизить продуктивність сільськогосподарських культур [19].

Більш високі врожаї, які потрібно буде підтримувати, вимагатимуть посиленого засвоєння більшості необхідних поживних речовин у той час, коли прогнозується дефіцит деяких добрив. Вплив зміни клімату на поживні речовини ґрунту, циклічність, наявність та потреби в них урожаю важко передбачити [14]. Ті чи інші сорти й гібриди сільськогосподарських культур можуть мати різну вимогливість до поживних елементів, що залежить від генетичних особливостей та гідротермічних умов конкретного року [20], тому винесення основних поживних елементів частинами урожаю можуть істотно коліватися [21, 22].

Основними причинами обмеженого успіху селекції є те, що генетична обумовленість реакцій рослин на поживні речовини та особливості взаємодії рослин зі змінними середовищами недостатньо зрозумілі [19]. Складність генів, що беруть участь у використанні поживних речовин (макро- та мікроелементів), і обмежені зусилля селекціонерів, ґрунтознавців, фізіологів та агрономів для цілісної оцінки питань ефективності використання поживних речовин, перешкоджають прогресу в цій галузі. Обговорюються визначення та доступні методи розрахунку ефективності використання поживних речовин, механізми засвоєння, роль сільськогосподарських культур в ефективності споживання в умовах біотичних та абіотичних стресів та стратегії селекції для підвищення ефективності використання поживних речовин у рослинництві [23].

Посухостійкість гібридів кукурудзи може залежати від інтенсивності й тривалості посухи, фаз розвитку рослини, набору механізмів посухостійкості, наявних в обраних гібридів. Реакція гібридів на діапазон макро- та мікроекологічних стресів характеризується з огляду на ефективність використання води, макро- та мікроелементів, урожайність зерна та екологічний індекс [24, 25].

На сьогодні Міжнародне дослідницьке співтовариство випустило сотні гібридів та сортів кукурудзи, що гідні для вирощування за межами США, зокрема і в посушливих умовах Африки, дослідження не призупиняються [26]. Упровадження сучасних стратегій захисту рослин, таких як трансгенна боротьба з комахами та застосування позакореневого фунгіциду, можуть поширити тривалість засвоєння поживних речовин у сучасному виробництві кукурудзи [27]. Тому існує критична потреба в переоцінці схеми поглинання та розподілу поживних речовин у трансгенних, захищених від комах гібридах, вирощених із використанням сучасних технологічних рішень, як підвищена густота рослин, вдосконалене добриво, сучасні хімічні засоби захисту рослин. Історично поліпшення врожаю зерна кукурудзи супроводжується збільшенням загального виходу біомаси і саме цей потенціал забезпечує рушійну силу поглинання та засвоєння поживних речовин [27, 28].

У більш ранніх роботах авторів статті [5, 29, 30] вже було доведено, що як один із критеріїв рівня інтенсивності будь-якого нового сорту (PiC) може бути використано співвідношення урожайності фактичної (Y^F) та нормативної (Y^N), яку розраховано за існуючими нормативними даними:

$$PiC = Y^F / Y^N \quad (1)$$

Нормативну чи розрахункову урожайність запропоновано визначати як суму урожайності, яка може бути сформована за рахунок природної родючості ґрунту, або його бонітету (Y^B) та приросту урожайності від застосування добрив (ΔY):

$$Y^N = Y^B + \Delta Y, \text{ т/га} \quad (2)$$

З деяким наближенням можна вважати, що найчастіше, реально значущим є приріст урожайності культури від безпосередньо внесених під неї мінеральних добрив, оскільки органічні добрива у вигляді гною практично не вносяться, а післядія мінеральних, за фактично незначних доз фосфору та калію, є неістотною.

Виходячи із формули 1, можна вважати, що фактична урожайність ($У^Ф$) того чи іншого гібриду (сорт) на удобрених посівах може бути розрахована як:

$$У^Ф = P_iC \cdot У^Н = P_iC (У^Д + \Delta У), \text{ т/га} \quad (3)$$

Одним із існуючих методів розрахунку чи визначення вказаних величин можуть бути рекомендації М.В. Калінчика [30], сутність яких полягає в тому, що врожайність без добрив (за бонітетом) береться як експериментальна величина залежно від типу ґрунту і умов, а приріст урожайності ($\Delta У$) від норми добрив (X , ц.д.р./га) пропонується визначати методом спадної дохідності за залежністю:

$$\Delta У = aX^2 + bX, \text{ т/га} \quad (4),$$

де: «а» і «b» – емпіричні коефіцієнти, які є індивідуальними для культури, типу ґрунту та погодних умов.

За рекомендацією авторів цього методу [31], для практичних розрахунків слід враховувати дані для середніх погодних умов.

Стосовно технології вирощування культури і рівня інтенсивності сорту, слід зазначити, що врахування показника приросту урожайності є доцільним тільки за порівняльного оцінювання різних господарств, а в аналізі даних одного господарства, поля чи досліду цей показник не має практичного сенсу, оскільки оцінювання інтенсивності сорту автоматично передбачає врахування існуючого рівня інтенсивності технології вирощування культури [32].

Отже, коротким оглядом сучасних публікацій виявлено підвищений інтерес селекціонерів до створення високоврожайних гібридів кукурудзи, які мають високий рівень засвоєння поживних елементів. Вихід на ринок таких гібридів диктує коригування системи удобрення, програмування врожайності з урахуванням виходу біомаси та гідротермічних умов. Для більш коректного розрахунку приросту врожайності пропонується використовувати показник рівня інтенсивності сорту.

Метою дослідження є оцінити потенціал урожайності гібридів кукурудзи вітчизняної селекції та ефективність використання ними елементів живлення (NPK) з добрив у посушливих умовах Лісостепу.

2. Матеріали та методи

2.1. Характеристика об'єктів та методика досліджень

Польові досліді з вивчення впливу удобрення на урожайність гібридів кукурудзи проведено на дослідних полях Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН (ІСГПС) впродовж 2018-2019 рр. Дослідне поле розміщено поблизу с. Сад Сумського району Сумської області. Географічні координати: 50°88'99,72" Північної широти та 34°70'30,19" Східної довготи.

Ґрунт – чорнозем типовий вилугований (Endocalcis Chernozem) середньосуглинковий на лесоподібному суглинку з такими основними характеристиками: вміст гумусу – 4,1-4,7 %; $pH_{KCl} = 5,0$; вміст легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 112,0 мг/кг; вміст рухомих сполук P_2O_5 та K_2O (методом Чирикова (екстракція 0,5 м CH_3COOH) – відповідно 118,0 та 100,0 мг/кг; середня щільність будови ґрунту у шарі 0-20 см (за ядерним методом) – 1,25 г/см³. Параметри вмісту елементів живлення і щільності будови ґрунту було використано в розрахунках досліджуваних показників.

Дослідження проводили на двох варіантах польового досліді – удобреному і неудобреному, з гібридами кукурудзи вітчизняної селекції з різними індексами скоростиглості – Зоряний (ФАО 190), Лелека (ФАО 260) та Донор (ФАО 310); оригінатор - Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН. Повторність досліді 3-х кратна. Площа облікової ділянки 28 м². Технологія вирощування загальноприйнята для зони. Основний обробіток ґрунту – відвальна оранка на глибину 20-22 см. Догляд за рослинами був однаковим на обох варіантах. Норми мінеральних добрив 190 кг д.р./га ($N_{100}P_{45}K_{45}$). Попередник кукурудзи в сівозміні – пшениця озима.

Збирання урожаю зерна кукурудзи проводили механізовано; масу зерна враховували за вологості 14 %.

Розрахунок рівня інтенсивності сортів (гібридів) виконали з використанням формули 1 на основі урожаїв зерна.

Для розрахунку коефіцієнтів використання рослинами елементів мінерального живлення із добрив та ґрунту (%) застосували такі показники: фактична урожайність

зерна, т/га (експериментально); вміст елементів живлення (N, P, K) у зерні і побічній продукції (згідно з довідковими даними [33]); вміст елементів живлення у ґрунті, мг/кг (експериментально); щільність будови ґрунту, т/м³ (експериментально).

2.2. Метеорологічні умови 2018 і 2019 рр.

Оцінка гідротермічних умов вегетаційного періоду кукурудзи за роки досліджень показала, що як в окремі місяці, так і в цілому за вегетацію, умови 2018 та 2019 років були близькі між собою, але суттєво відрізнялися від середніх. Так, за даними метеопункту, розміщеного на території дослідного поля, за сумою активних температур вегетаційний період 2018 р. був теплішим на 475°, а 2019 р. – на 373° порівняно з середніми багаторічними даними. Кількість атмосферних опадів як у 2018, так і в 2019 р., в усі місяці була суттєво меншою ніж середньобагаторічні дані, а сума опадів за вегетаційний період була вдвічі меншою порівняно з багаторічними даними з різницею в 161,1 та 162,1 мм (Табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика гідротермічних умов вегетаційного періоду кукурудзи (метеостанція ІСГПС НААН)

Показник	Середньомісячні параметри					За період вегетації (сума)
	V	VI	VII	VIII	IX	
Середні багаторічні дані						
Температура повітря, °С	15,6	18,8	20,2	19,2	13,4	2705
Атмосферні опади, мм	54	67	76	57	50,0	304,0
ГТК	1,12	1,19	1,16	0,95	1,24	1,12
Фактичні дані 2018 р.						
Температура повітря, °С	19,9	21,5	22,6	23,0	16,8	3180
Атмосферні опади, мм	18,5	37,5	59,0	3,6	24,3	142,9
ГТК	0,30	0,58	0,84	0,05	0,48	0,45
Фактичні дані 2019 р.						
Температура повітря, °С	18,0	24,5	21,1	21,5	15,5	3078
Атмосферні опади, мм	41,0	16,8	57,4	4,5	22,2	141,9
ГТК	0,74	0,23	0,88	0,07	0,48	0,46
Примітка. ГТК – гідротермічний коефіцієнт Селянинова по місяцях і середній за вегетації						

Примітка. ГТК – гідротермічний коефіцієнт Селянинова по місяцях і середній за вегетацію

За середнім для вегетаційного періоду значенням гідротермічного коефіцієнта (ГТК) Г.Т. Селянинова середньобагаторічні умови можна характеризувати як слабо посушливі, а за фактичними даними за 2018 та 2019 роки – як дуже посушливі. Детальне порівняння погодних умов двох років однозначно показує, що суттєва різниця між ними щодо атмосферних опадів була тільки в червні. В цьому місяці також констатовано й найвищу середньомісячну температуру повітря – +24,5 °C в 2019 р. проти +21,5 °C у 2018 р. Як результат, фактичне значення ГТК у червні 2019 р. виявилось набагато нижчим, ніж у 2018 р. Отже, наведені дані показують, що умови в роки досліджень були дуже посушливими, а умови червня 2019 р. – особливо сухими й спекотним. Враховуючи, що в червні йде процес формування вегетативних органів і цей період, як відомо, є для кукурудзи критичним [34], не виключеним є негативний вплив погодних умов на урожайність кукурудзи.

3. Результати досліджень та їх обговорення

В таблиці 2 представлено урожайні дані гібридів на удобрених і неудобрених ділянках та розрахований за їх різницею приріст урожаю від внесення добрив.

Наведені урожайні дані однозначно вказують, що в обох випадках (варіант з добривами і варіант без добрив) з підвищенням індексу скоростиглості ФАО урожайність зерна кукурудзи зростає, при цьому урожайність в 2018 році була більшою, ніж у 2019, що, на нашу думку, і визначається суттєвими відмінностями гідротермічного режиму в червні, у критичний час для розвитку генеративних органів. При цьому приріст урожайності від добрив не істотно відрізнявся і між гібридами і за роками.

Виходячи із наведених вище залежностей (формули 1-3), стає можливим визначитися з рівнем інтенсивності використання елементів живлення як співвідношенням

фактичної і нормативної урожайностей на неудобрених ділянках (PiC_B) і фактичного і нормативного приростів урожаю на удобрених (PiC_D):

$$PiC_B = \frac{Y_B^\Phi}{Y_B^H}; \quad PiC_D = \frac{\Delta Y^\Phi}{\Delta Y^H} \quad (5),$$

де Y_B^Φ – урожайність зерна кукурудзи фактична на неудобрених ділянках; Y_B^H – урожайність нормативна на неудобрених ділянках; ΔY^Φ – приріст урожаю зерна фактичний на удобрених ділянках; ΔY^H – приріст урожаю зерна нормативний на удобрених ділянках.

Таблиця 2

Фактична урожайність гібридів кукурудзи (2018-2019 рр.)

Гібрид	Урожайність зерна фактична, т/га		
	на удобрених ділянках (Y^Φ)	на неудобрених ділянках (Y_B^Φ)	приріст (ΔY^Φ)
<i>2018 р.</i>			
Зоряний	8,61	5,48	3,13
Лелека	9,01	5,68	3,33
Донор	9,72	6,02	3,70
<i>2019 р.</i>			
Зоряний	7,32	4,26	3,06
Лелека	8,40	5,03	3,37
Донор	8,67	5,35	3,32
<i>В середньому за 2018-2019 рр.</i>			
Зоряний	7,96	4,86	3,10
Лелека	8,70	5,36	3,34
Донор	9,20	5,68	3,52

Примітка. Індекси скоростиглості гібридів: Зоряний - ФАО 190; Лелека - ФАО 260; Донор - ФАО 310.

Згідно з прийнятими рекомендаціями [3] на чорноземах типових середньосуглинкових, нормативна урожайність кукурудзи без внесення добрив (Y_B^H) за середніх погодних умов становить 4,93 т/га. Для таких ґрунтів параметри моделі (емпіричні коефіцієнти, які є індивідуальними для культури, типу ґрунту та погодних умов) відгуку врожайності на добрива (формула 4) становлять «а» – 0,097, «в» – 0,927, що за норми добрив 1,90 ц д.р./га може забезпечити нормативний приріст урожайності зерна кукурудзи кожного гібриду (ΔY^H) – 1,41 т/га.

Результати розрахунків показують, що рівень інтенсивності використання елементів живлення (PiC) кожним гібридом в обох варіантах досліді у кожному році був різним і коливався від 0,86 до 2,62, а діапазон середніх значень за два роки становив 0,98-2,05 (Табл. 3).

Таблиця 3

Рівень інтенсивності використання елементів живлення гібридами кукурудзи (PiC)

Рік	Гібрид	Рівень інтенсивності (PiC)		
		на удобрених ділянках	на неудобрених ділянках	Приріст урожайності (ΔY^Φ)
2018	Зоряний	1,36	1,11	2,22
	Лелека	1,42	1,15	2,36
	Донор	1,53	1,22	2,62
2019	Зоряний	1,15	0,86	2,17
	Лелека	1,32	1,02	2,40
	Донор	1,37	1,08	2,35
2018-2019 середній	Зоряний	1,26	0,98	2,20
	Лелека	1,37	1,08	2,38
	Донор	1,45	1,15	2,50

Примітка. Індекси скоростиглості гібридів: Зоряний - ФАО 190; Лелека - ФАО 260; Донор - ФАО 310.

З іншого боку, якщо прийнята нами умова щодо кількісної оцінки інтенсивності сорту (формула 1) є справедливою, то таке трактування, виходячи із залежності 3,

передбачає однакове значення інтенсивності використання основних елементів живлення рослинами як із ґрунту (PiC_B), так і з добрив (PiC_D), тобто:

$$PiC_B = PiC_D = PiC \quad (6)$$

Підтвердженням цієї умови можна вважати те, що приріст урожайності від добрив (ΔY) не є результатом прямого досліду, а визначається як різниця між фактичною урожайністю на удобрених ділянках (Y_D) і урожайністю без добрив (Y_B).

Отже, виходячи із справедливості рівняння 3 і умови 6, можна говорити про те, що на фоні застосування мінеральних добрив розподіл фактичної врожайності між урожайністю без застосування добрив і приростом від добрив є дещо іншим, ніж раніше визначений (див. табл. 2).

У першому наближенні можна вважати, що за внесення мінеральних добрив ефективність використання основних елементів із ґрунту зростає. В результаті цього, на фоні внесених добрив, урожайність, за рахунок природної родючості ґрунту, стає більшою, ніж за їх відсутності, а частка ефекту від добрив зменшується, що відображено у таблиці 4.

Таблиця 4

Фактичні та скориговані урожайності гібридів кукурудзи у варіантах без добрив та за внесення $N_{100} P_{45} K_{45}$ згідно з PiC

Гібрид	Фактична урожайність на фоні добрив (Уд)	Рівень інтенсивності (РiС)	Урожайність, т/га			
			за рахунок бонітету		приріст від добрив	
			фактична без добрив	уточнена на фоні добрив	за різницею	уточнений за РiС
2018 р.						
Зоряний	8,61	1,36	5,48	6,70	3,13	1,91
Лелека	9,01	1,42	5,68	7,01	3,33	2,00
Донор	9,72	1,53	6,02	7,54	3,70	2,18
2019 р.						
Зоряний	7,32	1,15	4,26	5,68	3,06	1,64
Лелека	8,40	1,32	5,03	6,48	3,37	1,92
Донор	8,67	1,37	5,35	6,73	3,32	1,94
В середньому у 2018-2019 рр. (дуже посушливі роки)						
Зоряний	7,96	1,26	4,86	6,19	3,10	1,77
Лелека	8,70	1,37	5,36	6,74	3,34	1,96
Донор	9,20	1,45	5,68	7,14	3,52	2,06
Примітка. Індекси скоростиглості гібридів: Зоряний - ФАО 190; Лелека - ФАО 260; Донор - ФАО 310						

Примітка. Індекси скористиглості гібридів: Зоряний - ФАО 190; Лелека - ФАО 260; Донор - ФАО 310

Наведені дані однозначно вказують, що на фоні внесення 190 кг д.р./га мінеральних добрив ($N_{100}P_{45}K_{45}$) урожайність за рахунок природної родючості ґрунтів в дуже сухих умовах вегетаційного періоду в середньому за два роки в усіх гібридів підвищилася на 1,33-1,46 т/га. Крім того, можна зауважити, що, за уточненими даними, приріст урожайності від добрив, хоча і меншою мірою ніж у варіанті без добрив, залежав і від ФАО гібриду, і від метеорологічних умов червня (Табл. 4). Кількісні характеристики використання основних елементів живлення з ґрунту та ефективність внесених добрив наведено в табл. 5. При цьому фактичну окупність добрив (Od , т/ц) визначали як співвідношення приросту урожайності (ΔY , т/га) та норми внесених добрив ($X = 1,90$ ц д.р./га).

Коефіцієнт (відсоток) використання рослинами із ґрунту (K_E) кожного з основних елементів (N, P, K) розраховували за відомою залежністю [21]:

$$K_E = \frac{Y_B \cdot C_E}{OM \cdot h \cdot \Gamma_E} 1000, \% \quad (7),$$

де: Y_B – фактична урожайність на неудобрених ділянках, т/га;

C_E – вміст елементу живлення в врожаї (в основній і побічній продукції), кг/т ($N = 26,5$; $P = 10,4$; $K = 28,8$ [22]) на неудобрених ділянках;

Γ_E – вміст елементу живлення у ґрунті на неудобрених ділянках, мг/кг;

ОМ – об'ємна маса ґрунту (щільність будови), т/м³ (1,25);

Н – розрахунковий шар ґрунту, см (20).

Таблиця 5

Ефективність використання мінеральних добрив і основних елементів мінерального живлення з ґрунту гібридами кукурудзи за уточненими урожайними даними (на фоні $N_{100}P_{45}K_{45}$)

Рік	Гібрид	Фактична урожайність на фоні добрив (У _ф), т/га	Окупність мінеральних добрив (Од), т/ц	Коефіцієнт (відсоток) використання елементів живлення із ґрунту (К _е), %		
				N	P	K
2018	Зоряний	8,61	1,00	63,2	23,6	77,2
	Лелека	9,01	1,05	66,3	24,7	80,7
	Донор	9,72	1,14	71,4	26,6	86,8
2019	Зоряний	7,32	0,86	53,8	20,0	65,4
	Лелека	8,40	1,01	61,3	22,8	74,6
	Донор	8,67	1,02	63,7	23,7	77,5
2018-2019 середній	Зоряний	7,96	0,93	56,5	21,8	71,3
	Лелека	8,70	1,03	63,8	23,8	77,6
	Донор	9,20	1,08	67,6	25,2	82,2

Таким чином, за норми добрив 190 кг д.р./га ($N_{100}P_{45}K_{45}$) в дуже посушливих умовах (як у 2018 та 2019 роках), урожайність зерна досліджуваних гібридів кукурудзи коливалася за роками в межах 7,32-9,72 т/га (в середньому за два роки 7,96-9,20 т/га) з окупністю добрив урожаєм 0,86-1,14 т/ц (в середньому за два роки 0,93-1,08 т/ц) та коефіцієнтом (відсотком) використання основних елементів із ґрунту: азоту – 53,8-71,4 % (в середньому за два роки 56,5-67,6 %), фосфору – 20,0-26,6 % (в середньому за два роки 21,8-25,2 %) і калію – 65,4-86,8 % (71,3-82,2 %).

Підсумовуючи наведене, можна стверджувати, що припущення про зростання ефективності використання культурою основних елементів живлення із ґрунту на фоні мінеральних добрив доведено не безпосередньо у спеціальних дослідках, а опосередковано. Це вказує на доцільність уточнення цього явища в цільових дослідженнях в Україні, зокрема і з використанням мічених атомів.

Висновки

1. На чорноземі типовому в зоні Лісостепу за дуже посушливих погодних умов у вегетаційний період (ГТК = 0,45-0,46) на фоні $N_{100}P_{45}K_{45}$ гібриди кукурудзи Зоряний (ФАО 190), Лелека (ФАО 260) і Донор (ФАО 310) здатні сформувати урожайність на рівні 7,32-9,72 т/га. При цьому, з підвищенням значення індекса ФАО, урожайність кукурудзи, як на варіантах удобрення, так і без них, зростає.

2. Критичні гідротермічні умови в червні 2019 р. (ГТК = 0,23) стали причиною зниження врожайності кукурудзи на 0,61-1,29 т/га порівняно з 2018 р. (ГТК у червні 0,58).

3. Попередньо можна стверджувати, що внесення мінеральних добрив підвищує ефективність використання культурою основних елементів живлення з ґрунту і, в нашому випадку, за два дуже сухих роки це підвищення в середньому по гібридах опосередковано становило 1,33-1,46 т/га (різниця між значенням урожайності за рахунок бонітету на фоні добрив (уточнена) та фактичної без добрив).

4. У дуже посушливих умовах вегетаційного періоду за норми добрив $N_{100}P_{45}K_{45}$ їх окупність становила 0,86-1,14 т/ц, а коефіцієнт (відсоток) використання основних елементів з ґрунту: азоту – 53,8-71,4 %, фосфору – 20,0-26,6 % і калію – 65,4-86,8 %.

Список використаних джерел

1. Pareek A., Dhankher O.P., Foyer C.H. Mitigating the impact of climate change on plant productivity and ecosystem sustainability. *Journal of Experimental Botany*. 2020. Vol. 71, Issue 2. P. 451–456. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz518>.
2. Baligar V.C., Fageria N.K., He Z.L. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2001. V. 32:7-8. P. 921-950. DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-100104098>
3. Кучер А., Кучер Л. Економіка використання мінеральних добрив в сільському господарстві. *Пропозиція*. 2017. URL: <https://propozitsiya.com.ua/ekonomika-vykorystannya-mineralnyh-dobryv-v-silskomu-gospodarstvi>
4. Salim N., Raza A. Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production: a review. *Journal of Plant Nutrition*. 2020. Vol. 43:2 P. 297-315. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676907>.
5. Харченко О.В., Прасол В.І., Захарченко Е.А., Собко М.Г. До проблеми аналітичної оцінки ефективності мінеральних добрив та екологічних обмежень їх норми: наукове видання. Суми: Університетська книга, 2016. 31 с.
6. Котвицький Б.Б. Пряма дія мінеральних добрив та оптимальний рівень їх застосування у сівозімінах залежно від родючості дерново-підзолистих ґрунтів Західного Полісся. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2016. Вип. 85. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 61-65. <https://doi.org/10.31073/acss85-09>.

7. Мірошниченко М.М., Гладкіх Є.Ю., Ревтьє-Уварова А.В., Панасенко Є.В., Звонар А.М., Сорокотяга Г.В., Коваленко С.С., Смищенко В.М. Дев'ять наближень сучасної системи удобрення сільськогосподарських культур. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2018. Вип. 87. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 82-91. <https://doi.org/10.31073/acss87-13>.
8. Сучасні підходи до застосування мінеральних добрив за збереження ґрунтової родючості в умовах зміни клімату / Гамаюнова В.В., Хоненко Л.Г., Бакланова Т.В. [та ін.]. *Наукові горизонти*. 2020. № 2 (87). С. 89-101.
9. Fromme D.D., Spivey T.A., Grichar W.J. Agronomic Response of Corn (Zea mays L.) Hybrids to Plant Populations. *International Journal of Agronomy*. Vol. 2019, Article ID 3589768, 8 p. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3589768>.
10. White J.W., Reynolds M.P. A physiological perspective on modeling temperature response in wheat and maize crops. *Proceedings of a Workshop, CIMMYT, Modeling Temperature Response in Wheat and Maize*. 2003. El Batán, Mexico. P. 8-17.
11. Elmore R.W., Sawyer J.E., Boyer M.J., Woli K.P. Updating an old paradigm: Corn growth, development, dry matter, and nutrient accumulation and partitioning. *Crops and Soil magazine*. 2019. P. 34-58. <https://doi.org/10.2134/cs2019.52.0213>
12. Bender R.R., Haegerle J.W., Ruffo M.L., Below F.E. Modern Corn Hybrids' Nutrient Uptake Patterns. *Better Crops*. 2013. Vol. 97, No. 1. P. 7-10 URL: <https://www.ipni.net/.../page%207.pdf>.
13. Sangoi L., Ender M., Guidolin A.F., Almeida M.L., Valmor A. Nitrogen fertilization impact on agronomic traits of maize hybrids released at different decades. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília. 2001. V. 36, n. 5. P. 757-764. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500005>.
14. McDonald G., Bovill W., Huang C., Lightfoot D.C. Kole. Nutrient Use Efficiency. *Genomics and Breeding for Climate-Resilient Crops*. 2013. Vol. 2. Issue 3. P. 333-393. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37048-9_10.
15. Lopushniak V. Influence of fertilizing schemes in the crop rotation system on the organic matter and nitrogen content in the dark-grey podzolized soil in the western forest-steppe of the Ukraine. *Polish Journal of Soil Science*. 2011. Vol. 44. No.1. P.19-24.
16. Лопушняк В.І. Вплив систем удобрення на вологозабезпечення культур в польовій сівозміні Західного Лісостепу України. Актуальні проблеми підвищення родючості ґрунтів та застосування агрохімічних засобів в агрофітоценозах: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої Міжнародному дню агрохіміка 07-09 червня 2017 року. Львів: ЛНАУ. С.163-174.
17. Mueller M.S., Vyn T.J. Maize plant resilience to N stress and post-silking N capacity changes over time: a review. *Front. Plant. Sci.* 2016. V. 7. P. 1-7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00053>.
18. Shoot and root traits of summer maize hybrid varieties with higher grain yields and higher nitrogen use efficiency at low nitrogen application rates / Su W., Kamran M., Xie J. [et al.]. *PeerJ*. V. 7:e7294. 2019. P. 1-21. <https://doi.org/10.7717/peerj.7294>.
19. The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths towards improved crop productivity / Plett D.C., Ranathunge K., Melino V.J. [et al.]. *Journal of experimental botany*. V. 71. Issue 15. 2020. P. 4452-4468. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa049>.
20. Мірошниченко М.М., Звонар А.М., Панасенко Є.В., Леонов О.Ю. Надходження елементів живлення до рослин пшениці озимої різних сортів у контрастні за погодними умовами роки. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 51-62. <https://doi.org/10.31073/acss89-06>.
21. Господаренко Г.М., Прокопчук І.В., Бойко В.П. Засвоєння основних елементів живлення соєю з ґрунту й добрив. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 63-70. <https://doi.org/10.31073/acss89-07>.
22. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Любич В. В., Бойко В. П. Засвоєння основних елементів живлення з ґрунту й мінеральних добрив пшеницею озимою на чорноземі опідзоленому Правобережного лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. Вип. 3. С. 35-44. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3\(107\)](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3(107)).
23. Hawkesford M., Kopriva S., De Kok L. Nutrient Use Efficiency in Plants. *Concepts and Approaches (book)*. *Plant Ecophysiology series*. 2014. V. 9. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10635-9>.
24. Adey E., Roozeboom K., Balboa G.R., Schlegel A. Drought-tolerant corn hybrids yield more in drought-stressed environments with no penalty in non-stressed environments. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 1-9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01534>.
25. Гладкіх Є.Ю. Ефективність комбінування добрив із стресопротекторами та регуляторами росту для послаблення впливу абіотичних стресів на рослини. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 57-64. <https://doi.org/10.31073/acss90-06>.
26. McFadden J., Smith D., Wechsler S., Wallander S. Development, adoption, and management of drought-tolerant corn in the United States, EIB-204. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. 2019. 39 p. URL: <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/91103/eib-204.pdf?v=4176>.
27. Bender R.R., Haegerle J.W., Ruffo M.L., Below F.E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*. 2013. Vol. 105, Issue 1. P. 161-170. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352>.
28. Гамаюнова В., Литовченко А. Урожайность и водопотребление пшеницы озимой в зависимости от сортовых особенностей, предшественников и фона питания в условиях степи Украины. *Stiinta agricola*. 2017. № 1, С. 23-27. URL: <https://sa.uasm.md/index.php?journal=sa&page=article&op=view&path%5B%5D=529>.
29. Харченко О.В., Петренко Ю.М. Ресурсні рівні врожайності сільськогосподарських культур та їх екологічне оцінювання. Суми: Мрія, 2017. 53 с.
30. Агроекономічні та екологічні аспекти встановлення оптимального рівня врожайності нових сортів сільськогосподарських культур. За ред. О.В. Харченка. Суми: ФОП Щербина І.В. 2017. 154 с. URL: <http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/6275/1/%D0%90%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D0%B%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%96%D0%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%96%D0%20%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8.pdf>.

31. On problem of establishing the intensity level of crop variety and its yield value subject to the environmental conditions and constraints / Kharchenko O., Zakharchenko E., Kovalenko I. [et al.]. *AgroLife scientific journal*. 2019. V.8. № 1. P. 113-119. URL: http://agrolifejournal.usamv.ro/pdf/vol.VIII_1/Art14.pdf.

32. Калінчик М.В., Ільчук М.М., Калінчик М.Б. Економічне обґрунтування норм внесення мінеральних добрив залежно від ціни на ресурси та продукцію. Київ: Нічлава. 2006. 43 с.

33. Довідник по удобренню сільськогосподарських культур / за ред. П.О. Дмитренка, Б.С. Носка. Київ: Урожай, 1987. 202 с.

34. Польовий А.М., Божко Л.Ю. Довгострокові агрометеорологічні прогнози. Київ: КНТ. 2007. 293 с.

UDC 633.34:631

Nutrients use efficiency by modern hybrids of maize under arid conditions of the Forest-Steppe

O.V. Kharchenko¹, S.V. Petrenko¹, M.G. Sobko², S.I. Medvid², E.A. Zakharchenko^{1*}

¹Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

²Institute of Agriculture of the Northeast of NAAS, Sumy, Sad, Ukraine

*E-mail: elionapolis@gmail.com

The nutrient use efficiency of maize hybrids from the soil or through fertilizers is considered. Cultivation of modern hybrids requires determining the necessary rate of fertilizer to get the planned yield, taking into account their potential productivity and weather conditions. In the absence of data of nutrient uptake for new hybrids, it is proposed to use an indicator of their level of intensity, which is calculated by the ratio of the actual yield and its normative (calculated) value. Studies were conducted in 2018 and 2019 in the fields of the Institute of Agriculture of the Northeast of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Soil – chernozem typical leached (Endocalcis Chernozem). Three maize (*Zea mays* L.) hybrids of Ukrainian selection were used: Zoryany (FAO 190), Leleka (FAO 260) and Donor (FAO 310). The vegetation seasons 2018-2019 were characterized as very arid (hydrothermal coefficient of Selianinov (HTC) 0.45-0.46). The calculated rate intensity of hybrids on average of two years was 1.07 at sites without fertilizers, and 1.36 at sites with fertilizers (N₁₀₀ P₄₅ K₄₅). The efficiency of soils N,P,K use increases by application of mineral fertilizers. The nutrients output from the soil: nitrogen – 53.8-71.4 %, phosphorus – 20.0-26.6 % and potassium – 65.4-86.8 %. The relative effect of fertilizers on the yield decreases, therefore, rate of natural fertility in the growth of the crop on fertilized soil increases. Due to the natural fertility of soils, the yield of all hybrids increased by an average of 1.33-1.46 t/ha with N₁₀₀ P₄₅ K₄₅ applying. The dependence of yield of all maize hybrids on hydrothermal conditions in June was obtained. It was found that, all other things being equal, the yield is directly correlated with the FAO index of the hybrid. The payback of mineral fertilizers is estimated as 0.86-1.14 t / c.

Keywords: *Zea mays*; corn; hybrids; nutrients; rate intensity of cultivars; nutrient utilization; economic return; nutrients use efficiency; mineral fertilizer; Chernozem typical..

Citing: Kharchenko O.V., Petrenko S.V., Sobko M.G., Medvid S.I., Zakharchenko E.A. 2021. Nutrients use efficiency by modern hybrids of maize under arid conditions of the Forest-Steppe. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 49-58. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-06>.

УДК 633.11:631.4:631.82

Вплив мінеральних добрив на якість зерна пшениці озимої на чорноземі типовому Лісостепу Лівобережного високого

М. В. Лісовий*, В. М. Ніконенко, О. В. Карацуба, О. І. Сліденко, В. В. Шимель

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 26.03.2021 Отримано після доопрацювання 15.05.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	Метою статті було висвітлення результатів дослідження впливу окремих видів мінеральних добрив (N,P,K) та парних їх сполучень (NP, NK, PK) на вміст білка й клейковини в зерні пшениці озимої на чорноземі типовому важкосуглинковому (Нарліс Chernozem (Profundihumic)). Дослідження проводили у 2015-2020 рр. в умовах польового стаціонарного досліду який закладено в дослідному господарстві ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» у Харківській області. Для досліджень обрано вісім варіантів з такими нормами удобрення: 1 – без добрив (контроль); 2 – N ₆₀ ; 3 – P ₁₂₀ ; 4 – K ₉₀ ; 5 – N ₆₀ P ₁₂₀ ; 6 – N ₆₀ K ₉₀ ; 7 – P ₁₂₀ K ₉₀ ; 8 – N ₆₀ P ₁₂₀ K ₉₀ . Варіанти удобрення розміщено на двох агрофонах – без органічних добрив та післядія гною (240 т/га під культури сівозмін). Якість зерна пшениці оцінювали за показниками вмісту білка й клейковини, які визначали на приладі Спектран-119М. За результатами досліджень виявлено, що внесення азотних і фосфорних добрив у нормі N ₆₀ P ₁₂₀ забезпечує вміст білка в зерні пшениці озимої на рівні 12,9 – 14,7 %, що відповідає 1-му й 2-му класам якості зерна, а вміст клейковини становить 23,6 – 25,0 %, що відповідає 2-му класу якості зерна пшениці озимої згідно з національним стандартом (ДСТУ 3768 : 2010). На агрофоні післядії гною найефективнішими щодо вмісту клейковини в зерні пшениці озимої, вирощеної після сої, виявились варіанти парного поєднання азотних і фосфорних добрив та повного удобрення (N ₆₀ P ₁₂₀ K ₉₀).
Ключові слова: агрофон; білок; клейковина; післядія гною; пшениця озима; чорнозем типовий	

* E-mail: labl@meta.ua

Форма цитування: Лісовий М.В., Ніконенко В.М., Карацуба О.В., Сліденко О.І., Шимель В.В., Вплив мінеральних добрив на якість зерна пшениці озимої на чорноземі типовому Лісостепу Лівобережного високого. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 91. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2021. С. 59-63. <https://doi.org/10.31073/acss91-07>.

1. Вступ

Пшениця озима є основною продовольчою культурою в Україні. Зерно використовують для внутрішніх потреб та експортують в інші країни світу. Збільшення обсягів виробництва зерна пшениці високої якості є одним із основних завдань аграрного сектору. Але навіть за браку статистичних даних щодо виробництва в Україні саме високоякісного зерна пшениці озимої, орієнтовно можна стверджувати, що обсяг його становить не більше 20 % від загального обсягу виробленого зерна. Шляхи розв'язання проблеми якості зерна різні, але, в першу чергу, необхідно оцінити відповідність технологій вирощування та зберігання зерна, упорядкувати контроль його якості та сертифікації, створити для товаровиробників інфраструктуру, що дозволить їм бути рівноправними суб'єктами зернового ринку. Національні стандарти повинні бути гармонізовані з вимогами міжнародних стандартів Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), Міжнародного об'єднання хіміків (ICC) та Американської асоціації зернових хіміків (AACC).

За даними А.В. Розгона [1] у розвинених країнах світу прийнято чотири основних показники якості зерна: натура (маса одного літра зерна в грамах); «число падін» вміст білка в зерні (%); якість клейковини W, або «сила борошна», якою характеризуються фізичні властивості тіста. В Україні розроблено національний стандарт ДСТУ 3768:20.10, де встановлено три першочергових показники, які визначають ринкову вартість зерна м'якої пшениці: (1) вміст білка, (2) кількість та (3) якість клейковини. Відомо, що якість зерна залежить від багатьох чинників, і зокрема від внесення органічних і мінеральних добрив. Питання підвищення якості зерна вивчали багато авторів. За результатами досліджень С. І. Попова вміст білка в зерні пшениці озимої зростає у роки з ГТК періоду вегетації менше 1,0 і зменшувався при ГТК більше 1,0. Уміст білка в зерні пшениці, вирощеної після чорного пару, коливався від 13,7 % до 15,0 %, після гороху на зерно – від 13,0 % до 14,7 %, в той час як на контролі становив відповідно 12,6 % і 12,3 % [2]. На фоні післядії гною й мінеральних добрив уміст білка в зерні пшениці озимої істотно зростає. У зоні досліджень С. В. Авраменко встановив, що за 2011-2014 рр. найвищим був вміст білка в зерні у посушливому (ГТК = 0,4) 2012 році – 14,3 % [3]. Дослідженнями авторів (Г.П. Жемела, В.Ф. Камінський, А.І. Шевченко) встановлено, що якість зерна пшениці

озимої залежить, в першу чергу, від азотних добрив [4, 5]. Щодо фосфорних добрив, за свідченнями результатів досліджень Г.П. Жемела, внесення суперфосфату зменшує вміст білка в зерні або залишає його без зміни. Калійні добрива знижують вміст у зерні азоту, що негативно впливає на вміст білка й клейковини.

За даними закордонних авторів перше місце в підвищенні якості зерна належить азотним добривам: у Бельгії (фірма БАСХ) рекомендують під пшеницю до 200 кг/га азоту, у Німеччині – до 170 - 235 кг/га, Нідерландах – до 240 кг/га [7-9].

Проаналізувавши ступінь вивченості питання, щодо впливу різних видів добрив на якість зерна пшениці, автори статті провели польові дослідження за класичною восьмирічною схемою Ж. Вілля, за допомогою якої можливо визначити вплив окремих видів мінеральних добрив (N,P,K), парних їх поєднань (NP, NK, PK) та повного мінерального добрива (NPK) на якість зерна пшениці м'якої озимої.

Метою статті було висвітлення результатів досліджень у польовому стаціонарному досліді щодо встановлення впливу різних видів мінеральних добрив та парних їх поєднань на вміст білка й клейковини в зерні пшениці озимої м'якої на чорноземі типовому важкосуглинковому Лісостепу Лівобережного високого.

2. Об'єкти і методи досліджень

Дослідження проводили в умовах польового стаціонарного досліді «Агроекологічний моніторинг» на території ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» у Чугуївському районі Харківської області. Ґрунт – чорнозем типовий середньогумусний (Haplic Chernozem (Profundihumic)) легкоглинистий. Дослід закладено 1990 року, схема досліді загалом включає 15 варіантів удобрення, з яких досліджували вісім: 1 – без добрив (контроль); 2 – N₆₀; 3 – P₁₂₀; 4 – K₉₀; 5 – N₆₀P₁₂₀; 6 – N₆₀K₉₀; 7 – P₁₂₀K₉₀; 8 – N₆₀P₁₂₀K₉₀. Добрива вносили під пшеницю озиму поверхнево перед оранкою. Дослідження проводили на двох агрофонах – природний (без внесення органічних добрив) і за післядії гною (240 т/га під культури сівозміни).

Контроль якості зерна пшениці озимої здійснювали за двома показниками - вміст білка й клейковини, які визначили на приладі Спектран -119М. У зерні пшениці, вирощеній після чорного пару, визначали вміст білка у 2017 р., вміст клейковини – у 2015, 2016 і 2017 рр. У зерні пшениці після сої вміст білка і клейковини визначали у 2019 і 2020 рр.

Достовірність аналітичних даних визначили методом дисперсійного аналізу за Б. А. Доспеховим [10].

3. Результати досліджень та їх обговорення

За результатами досліджень встановлено, що у контрольному варіанті природного агрофону вміст білка становив 11,8 %, внесення азоту в нормі 60 кг/га підвищило його на 0,5 %, а спільне внесення азоту й фосфору в нормі N₆₀P₁₂₀ - на 1,1 %. (Табл. 1).

Таблиця 1

Вміст білка в зерні пшениці озимої після чорного пару на різних агрофонах у 2017 р.

Варіант	Уміст білка, % на агрофонах	
	природний	післядії гною
1 Без добрив (контроль)	11,8	12,8
2 N ₆₀	12,3	12,9
3 P ₁₂₀	12,2	13,2
4 K ₉₀	11,9	13,1
5 N ₆₀ P ₁₂₀	12,9	13,8
6 N ₆₀ K ₉₀	12,4	12,5
7 P ₁₂₀ K ₉₀	12,2	12,2
8 N ₆₀ P ₁₂₀ K ₉₀	12,7	13,9
НІР ₀₅ , %	0,5	0,9
P, %	1,7	2,6

На агрофоні післядії гною вміст білка в зерні становив 12,8 %, що на 1,0 % вище порівняно з контролем природного агрофону. Із парних поєднань найбільший вплив забезпечило внесення N₆₀P₁₂₀, уміст білка зріс до 13,8 %. Післядії гною позитивно впливає на вміст білка в зерні пшениці озимої, вирощуваної після чорного пару.

Вплив добрив на вміст клейковини в зерні пшениці озимої вивчали у період 2015 – 2017 рр. У таблиці 2 наведено дані умісту клейковини в зерні пшениці за кожний рік окремо, та середнє значення за три роки досліджень. Виявлено, що коливання вмісту клейковини суттєво залежало від коливань погодних умов року. У 2015 і 2016 році на вміст клейковини (на природному агрофоні) більш позитивно впливав фосфор, а у 2017 р. – азот.

Таблиця 2

Вміст клейковини в зерні пшениці озимої після чорного пару на різних агрофонах у 2015-2017 рр.

Варіант	Уміст клейковини, % на агрофонах							
	природний				післядія гною			
	2015	2016	2017	середній	2015	2016	2017	середній
1 Без добрив (контроль)	20,8	25,3	21,8	22,6	22,7	25,2	23,0	23,6
2 N ₆₀	20,0	25,7	25,5	23,7	20,5	25,2	25,0	23,6
3 P ₁₂₀	22,2	26,1	23,7	24,0	23,4	25,2	24,6	24,4
4 K ₉₀	20,2	24,3	23,4	22,6	20,6	26,1	24,8	23,8
5 N ₆₀ P ₁₂₀	23,3	27,3	24,3	25,0	23,7	26,4	24,9	25,0
6 N ₆₀ K ₉₀	22,2	25,3	25,4	24,3	22,6	24,5	25,5	24,2
7 P ₁₂₀ K ₉₀	20,5	25,7	21,5	22,6	20,9	25,5	24,2	23,5
8 N ₆₀ P ₁₂₀ K ₉₀	23,7	27,3	25,0	25,3	23,5	25,5	28,4	25,8
NIP ₀₅ , %	2,3	2,0	2,5	-	2,0	1,9	2,5	-
P, %	3,6	2,6	3,5	-	3,0	2,5	3,4	-

У 2019 – 2020 рр. пшеницю озиму вирощували після сої, погодні умови були посушливими. Внесення азотних добрив окремо суттєво підвищило вміст білка порівняно з неудобреним варіантом (Табл. 3). Фосфорні й калійні добрива не вплинули на вміст білка в зерні. Парне їх поєднання з азотом (N₆₀P₁₂₀ і N₆₀K₉₀) підвищило вміст білка. Найвищий вміст білка в зерні пшениці на природному агрофоні зафіксовано на варіанті комплексного застосування добрив (N₆₀P₁₂₀K₉₀).

Таблиця 3

Вміст білка в зерні пшениці озимої після сої на різних агрофонах у 2019 – 2020 рр.

Варіант	Уміст білка, % на агрофонах					
	природний			післядія гною		
	2019	2020	середній	2019	2020	середній
1 Без добрив (контроль)	12,5	12,8	12,7	12,8	13,0	12,9
2 N ₆₀	13,8	14,1	14,0	14,2	14,3	14,3
3 P ₁₂₀	12,7	13,2	13,0	13,2	13,3	13,3
4 K ₉₀	12,1	12,8	12,5	13,9	13,2	13,6
5 N ₆₀ P ₁₂₀	13,9	15,4	14,7	14,5	14,4	14,5
6 N ₆₀ K ₉₀	14,0	13,5	13,8	14,1	13,9	14,0
7 P ₁₂₀ K ₉₀	12,6	13,3	13,0	13,0	12,7	12,9
8 N ₆₀ P ₁₂₀ K ₉₀	15,0	14,9	15,0	15,3	15,4	15,4
NIP ₀₅ , %	1,2	1,1		0,8	1,5	
P, %	3,1	2,8		1,9	3,6	

На агрофоні післядії гною внесення азотних добрив самостійно, або у парному поєднанні з фосфорними й калійними (N₆₀P₁₂₀, N₆₀K₉₀) підвищило вміст білка в зерні пшениці, вирощеної після сої. Середній за два роки вміст клейковини в зерні пшениці озимої на природному агрофоні був найнижчим на варіанті без внесення добрив (Табл. 4).

Внесення азотних добрив дало найбільший позитивний ефект серед варіантів окремого внесення добрив. Але найбільш прийнятним все ж виявився варіант повного удобрення як за роками, так і в середньому.

На агрофоні післядії гною найефективнішими щодо вмісту клейковини в зерні пшениці озимої, вирощеної після сої, виявились варіанти парного поєднання азотних і фосфорних добрив та повного удобрення (N₆₀P₁₂₀K₉₀).

Таблиця 4

Вміст клейковини в зерні пшениці озимої після сої на різних агрофонах у 2019 – 2020 рр.

Варіант	Уміст клейковини, % на агрофонах					
	природний			післядія гною		
	2019	2020	середній	2019	2020	середній
1 Без добрив (контроль)	19,7	19,2	19,5	20,3	19,3	19,8
2 N ₆₀	22,5	22,5	22,5	23,4	23,1	23,3
3 P ₁₂₀	19,9	20,0	20,0	20,4	20,0	20,2
4 K ₉₀	19,2	19,7	19,5	22,8	20,0	21,4
5 N ₆₀ P ₁₂₀	23,6	25,4	24,5	23,8	23,3	23,6
6 N ₆₀ K ₉₀	23,1	21,3	22,2	22,9	21,8	22,4
7 P ₁₂₀ K ₉₀	19,3	20,6	20,0	20,5	18,8	19,7
8 N ₆₀ P ₁₂₀ K ₉₀	25,3	24,3	24,8	25,6	25,1	25,4
NIP ₀₅ , %	1,8	3,4	-	1,8	3,4	-
P, %	2,7	5,4	-	2,7	5,4	-

4. Висновки

Результати системних досліджень на чорноземі типовому Лісостепу Лівобережного високого щодо впливу мінеральних добрив на якість зерна пшениці озимої дали можливість виявити оптимальну норму азотних і фосфорних добрив у разі парного внесення – N₆₀P₁₂₀, яка забезпечує вміст білка в зерні на рівні 12,9 – 14,7 %, що відповідає 1-му й 2-му класам якості зерна відповідно Національного стандарту (ДСТУ 3768 : 2010). Вміст клейковини при цьому коливається у межах 23,6 - 25,0 %, що відповідає 2-му класу якості зерна пшениці озимої.

Список використаних джерел

1. Розгон А.П. Пшениця та її якість. *Посібник українського хлібороба*. Науково-виробничий щорічник. Спеціальний випуск. Рекомендації з вирощування якісного зерна та підняття його класності. ТОВ «АКАДЕМ-ПРЕС». 2009. С.177-178.
2. Попов С.І. Агроекологічне обґрунтування технології вирощування пшениці м'якої озимої в зоні недостатнього та нестійкого зволоження : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.01.09. Дніпропетровськ, 2013. 48 с. URL: <https://www.institut-zerna.com/library/repozitarij/docs/popov/popov-dis.pdf>.
3. Авраменко С.В. Агротехнологічні основи управління продукційним процесом озимих зернових культур в Лівобережному Лісостепу України : автореф. дис. д-ра с.-г. наук : 06.01.09. Нац. акад. аграр. наук України, Ін-т рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. Харків, 2018. 48 с.
4. Жемела Г.П. Заходи з поліпшення якості зерна. *Посібник українського хлібороба*. Науково-виробничий щорічник. Спеціальний випуск. Рекомендації з вирощування якісного зерна та підняття його класності. ТОВ «АКАДЕМ-ПРЕС». 2009. С. 31-37.
5. Камінський В.Ф. Новітні технології вирощування конкурентоспроможної продукції рослинництва в системі стійкого землеробства України. *Зб. наук. пр. ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. Київ: ЕКМО, 2010. Вип. 3. С. 37-47.
6. Шевченко А.І. Агрохімія і технології в сучасному землеробстві: альтернативи і перспективи. *Наук.-техн. бюл. Мирон. Інституту пшениці ім. В. М. Ремесла*. Київ, 2010. Вип. 10. С. 222-229.
7. Сальников В.Н. Новая технология получения высоких урожаев озимой пшеницы. *Сельское хозяйство за рубежом*. 1978. № 5. С. 5-6.
8. Современные технологии возделывания зерновых за рубежом / Н.А. Ламан, А.М. Певнев, Н.А. Макарова [и др.]. *Бюлетень Всесоюзного НИИ кукурузы*. 1991. № 1. С. 37-38.
9. Hlisnikovski L., Kunzova E. Effect of Mineral and Organic Fertilizers on Yield and Technological Parameters of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) on Illimerized Luvisol. *Polish Journal of Agronomy*. 2014. № 17. P. 18-24. Identyfikator YADDA: bwmata1.element.agro-47c6e10d-aef2-4482-902c-7cb95ff51dc0.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) 5 изд. дополн. и переработ. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с. URL: https://mf.bmstu.ru/info/faculty/lt/caf/lt1/soil_books/uchebnik9.pdf.

UDC 633.11:631.4:631.82

Influence of mineral fertilizers on the quality of winter wheat grain on typical chernozem in the Left-Bank Forest-Steppe

M.V. Lisovyi, V.M. Nikonenko, O.V. Karatsiuba, O.I. Slidenko, V.V. Shimel

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
 Kharkiv, Ukraine
 E-mail: labl@meta.ua

The goal was to study the effect of certain types of mineral fertilizers (N, P, K) and their paired compounds (NP, NK, PK) on the protein and gluten content in the grain of winter wheat on chernozem typical (Haplic Chernozem

(Profundihumic)). The research was carried out in the conditions of a field stationary experiment which was laid down in the experimental farm of the NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky" in the Kharkiv region. Eight variants with the following norms of fertilizers were studied for winter wheat: 1 – without fertilizers (control); 2 – N_{60} ; 3 – P_{120} ; 4 – K_{90} ; 5 – $N_{60}P_{120}$; 6 – $N_{60}K_{90}$; 7 – $P_{120}K_{90}$; 8 – $N_{60}P_{120}K_{90}$. The effectiveness of fertilizers was researched on two agrophones – natural and aftereffect of fertilizers (240 t/ha for crop rotation). The content of protein and gluten in wheat grain was determined on the Spectran-119M. On typical chernozem of the Forest-Steppe of the left-bank high application of nitrogen and phosphorus fertilizers in norm $N_{60}P_{120}$ provides the content of protein in grain of winter wheat at the level of 12,9 – 14,7 % that corresponds to the 1st and 2nd classes of quality of grain according to the National standard (DSTU 3768 : 2010). The gluten content ranges from 23.6 to 25.0 %, which corresponds to the 2nd class of grain quality of winter wheat.

Key words: agrophone aftereffect of fertilizers; gluten; natural agrophone; protein; typical chernozem; winter wheat.

Citing: Lisovyi M.V., Nikonenko V.M., Karatsiuba O.V., Slidenko O.I., Shimel V.V. 2021. Influence of mineral fertilizers on the quality of winter wheat grain on typical chernozem in the Left-Bank Forest-Steppe. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 59-63. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss91-07>.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ

STUDIES of YOUNG SCIENTISTS

УДК 631.413

Вплив енергетичних культур на якість екосистемних послуг чорнозему опідзоленого важкосуглинкового¹

Я. М. Водяк

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 15.02.2021 Отримано після доопрацювання 30.04.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	У статті представлено результати досліджень щодо впливу енергетичних культур на якість таких екосистемних послуг чорнозему опідзоленого (Luvic Chernic Phaozem) важкосуглинкового, як постачання, регулювання та підтримання екосистем. Спостереження вели протягом 2019-2020 рр. у досліді на території Державного підприємства ДГ «Граківське», сел. Новий Коротич у Харківській області України. Енергетичні багаторічні культури, вирощувані у досліді: Міскантус гігантський (<i>Miscanthus Giganteus</i>) (посадки 2016 (I) і 2019 (II) років); Сіда багаторічна (<i>Sida hermaphrodita</i>) (2018 р.); Сильфій пронизанолистий (<i>Silphium perfoliatum</i> L.) (2018 р.). Контрольовані показники: вміст органічного вуглецю в ґрунті; рН; чисельність мікроартропод у ґрунті; довжина стебла рослин. Виявлено, що у верхніх шарах ґрунту під рослинами енергетичних культур, а особливо у прикореневій зоні сильфію, відбувається підвищення вмісту органічного вуглецю. За рахунок кореневих виділень культур також, спостерігається невелике зниження рН. Позитивний вплив рослин спостерігається, також і на чисельності ґрунтових безхребетних – мікроартропод, а саме, колембол та орибатид. Їх кількість збільшується, що свідчить про утворення сприятливих для цих живих істот умов у прикореневій зоні всіх енергетичних культур. Наприклад, у травні 2019 року під міскантусом чотирирічним їх стало майже утричі більше (6120 екз./м ²), під однорічним – 4860, під сильфієм – 5040, а під сідою 4320 екз./м ² , порівняно з контрольною ділянкою без рослин (2700 екз./м ²). Відмічено позитивні зміни й щодо оструктурення ґрунту, під впливом вирощування міскантусу гігантського, особливо у верхньому шарі. Коефіцієнт структурності на варіантах зріс від 1,39 на контролі, до 2,26 у шарі 0–20 під міскантусом. Вимірювання висоти стебел, показало, що всі обрані культури здатні нормально функціонувати незважаючи на зменшення опадів та підвищення температур в останні роки. Рослини не пригнічуються у посушливих умовах і з часом тільки збільшують об'єми біомаси. Таким чином, на плантаціях з енергетичними культурами покращуються послуги постачання – отримання енергетичної сировини, регулювання – поліпшення якості ґрунту і підтримання екосистем – депонування органічного вуглецю.

* E-mail: 1994demidova@gmail.com

Форма цитування: Водяк Я.М. Вплив енергетичних культур на якість екосистемних послуг чорнозему опідзоленого важкосуглинкового. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 91. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2021. С. 64-71. <https://doi.org/10.31073/acss91-08>

1. Вступ

Стрімке скорочення об'ємів викопного палива, спонукає до розвитку альтернативних джерел енергії, зокрема збільшення виробництва біосировини, шляхом вирощування енергетичних культур. Разом із цим, через здатність ґрунтового покриву секвеструвати значну кількість вуглецю, з'являється можливість ефективно впливати на процеси його надходження, у вигляді вуглецевого газу, до атмосфери. Вирощування енергетичних культур другого покоління для задоволення енергетичних потреб слугує компромісом між розвитком технологій та екологічністю промислового виробництва. Таким енергетичним культурам, як міскантус гігантський, сіда багаторічна та сильфій пронизанолистий, притаманна невибагливість до ґрунтово-кліматичних умов, та до тривалості терміну вирощування без обробітку ґрунту (20–25 років) [1, 2, 3]. Через це, більшість країн світу, у виборі плантацій під енергетичні культури, зосереджують увагу на низькопродуктивних ґрунтах, на яких вирощування традиційних сільськогосподарських культур ускладнено. Зауважимо, що в деяких країнах для виокремлення таких ґрунтів введено в професійну лексику ґрунтознавства

¹ Науковий керівник – Ю. Л. Цапко, доктор біол. наук, ст. н. сп., завідувач лабораторії, ННЦ ІГА імені О.Н.Соколовського

термін «маргінальні землі». На шляху розвитку біоенергетичного виробництва вирішується декілька супутніх завдань – запобігання конкуренції з промисловим виробництвом енергії та окультурення захаращених або покинутих земель з низькопродуктивними ґрунтами. Зважаючи на не надто високий рівень розораності земель майже у всіх у європейських країнах, такий підхід до вибору площ для промислових плантацій енергетичних культур є вкрай доцільним. Проте в реаліях України можливим є й інший сценарій вибору земель під посадку енергетичних культур. За умови раціонального та професійного використання посівних площ існує можливість відведення частки сільськогосподарських угідь під енергетичні культури [4, 5]. У подібний спосіб Україна зробить крок до вирішення таких проблем: зниження надмірного рівня розораності (шляхом використання вже окультурених орних земель); підвищення ефективності використання земель сільськогосподарського призначення; посилення енергетичної безпеки країни.

Розвиток енергетичного виробництва спонукає до пошуку відповідних інструментів, котрі допомогли б врегулювати процес вирощування енергетичних культур паралельно зі зменшенням негативного впливу на екосистеми та ландшафти. Дослідження цього питання можливо здійснити на основі концепції екологічних послуг, якою передбачено баланс у будь-якій екосистемі за такими основними аспектами, як економічний, екологічний та соціальний. У документі ООН «Millennium Ecosystem Assessment» під екосистемними послугами (далі ЕП), загалом мають на увазі «вигоди, які люди отримують від екосистем». У статті ми розглядаємо функціонування плантації з енергетичними культурами як процес надання нею (плантацією) деяких екосистемних послуг, що відповідають основній класифікації, котрою користуються у світі. За цією класифікацією ЕП розділяють на чотири великі групи за функціями: постачання, регулювання, культурні та соціальні послуги, послуги підтримання екосистем [6]. Послуги постачання відносяться до таких, які безпосередньо споживаються людьми (продовольство, сировина, прісна вода, ґрунти, тощо). До послуги регулювання відносяться різноманітні процеси в екосистемах, що формують середовище існування (регуляція кліматичних та погодних умов, формування ґрунтів, запилення рослин). Нематеріальні вигоди і блага, такі як можливість відпочинку, отримання знань і тому подібне, реалізуються завдяки культурним та соціальним послугам. Послуги підтримання екосистем є найбільш широкими у розумінні, й обумовлені глобальними процесами формування атмосфери кругообігу речовин у природі тощо.

Аналіз літературних джерел свідчить, що в цілому, питання щодо вносу з ґрунту поживних елементів енергетичними культурами майже не розкрито, в той час як основний акцент у дослідженнях робиться на порівнянні «врожай – об'єм внесених добрив». Звичайно, удобрення збільшує врожайність енергетичних культур, що за літературними джерелами, найяскравіше проявляється у випадку із сільфієм пронизанолістим (майже у 2,7 раза) [7], а міскантус та сіда у прирості біомаси демонструють дещо слабшу залежність від удобрення. Міскантус гігантський проявляє вуглецеву нейтральність, що обумовлено мінімізацією винесення із ґрунту елементу завдяки його поверненню в осінньо-зимовий період через опадання листя та діяльність кореневої системи [8, 9]. За даними ряду авторів, при вирощуванні сільфію пронизанолістого без використання добрив, у ґрунті зменшується вміст азоту, магнію, кальцію сірки та вуглецю, а от кількість фосфору та калію натомість збільшується [7, 10, 11].

Метою статті є висвітлення результатів експерименту з дослідження впливу вирощування енергетичних культур на якість екосистемних послуг чорнозему опідзоленого важкосуглинкового.

Дослідження проведено на ділянці з енергетичними культурами у відповідності до задоволення таких екосистемних послуг: природне джерело виробництва енергетичної сировини; продовольче забезпечення свійських тварин, тощо (послуги постачання); регуляція локальних природних екосистем, регулювання ґрунтів (послуги регулювання); регулювання біогеохімічного циклу Карбону, депонування (процес організованого зберігання) вуглецю органічної речовини; біорізноманіття (послуги підтримання екосистем).

2. Об'єкти (матеріали) і методи дослідження

Дослідження проведено у 2019 і 2020 роках у досліді, закладеному 2016 року у дослідному господарстві ННЦ «ІГА імені О.Н.Соколовського» – Державне підприємство ДГ «Граківське» у селищі Новий Коротич у Харківському районі, Харківської області. Ґрунт – чорнозем опідзолений (Luvic Chernic Phaezem) важкосуглинковий.

Енергетичні багаторічні культури, використані у досліді: Міскантус гігантський (*Miscanthus Giganteus*) (посадки 2016 (I) і 2019 (II) років); Сіда багаторічна (*Sida hermophrodita*) (2018 р.); Сильфій пронизанолистий (*Silphium perfoliatum* L.) (2018 р.). Таким чином маємо п'ять варіантів досліді: контроль (без рослин); міскантус (I); міскантус (II); сіда; сильфій. Внесення добрив у досліді не передбачено з метою отримання результатів, що дають змогу оцінити реакцію ґрунту саме на енергетичні культури – головний фактор впливу. Загальна площа під дослідом – 600 м², кожного варіанта – Міскантус (I) 250 м², Міскантус (II) 120 м², Сіда 115 м², Сильфій 115 м².

Схеми посадки рослин:

Культура	Ширина міжряддя, м	Відстань між рослинами в рядку, м	Захисна смуга, м
Міскантус гігантський	1,0	1,3	1,0
Сіда багаторічна	1,0	0,60	1,0
Сильфій пронизанолистий	1,3	0,50	1,0

Заміри висоти стебла рослин, обраних рандомно, виконували для десяти рослин кожної культури.

Проби ґрунту для визначення характеристик і властивостей відбирали з шарів 0-20, 20-40 і 40-60 см рендомізовано у рядках культур у трикратній повторюваності (безпосередньо під трьома рослинами) згідно з ДСТУ 4287:2004. Контрольовані показники і методи їх вимірювання: вміст вуглецю органічної речовини ґрунту (оксидометричним методом, ДСТУ 4289:2004); вміст структурних макроагрегатів (ситовим методом у модифікації Н.І. Саввінова, ДСТУ 4744:2007); pH – потенціометричним методом (ДСТУ ISO 10390:2007).

Чисельність мікроартропод визначали еклекторним методом Тульгрена, який базується на використанні спільної для всіх ґрунтових мешканців особливості – намаганні проникнути вглиб за підсихання верхніх шарів ґрунту. Короткий опис методики вимірювання: проби ґрунту (із шару 0-20 см) фіксованого об'єму (150 см³) розміщували на ситі, вставленому у лійку трохи більшого діаметру, під якою розміщували посудину з фіксуючим розчином (70 % спирт). Кількість мікроартропод, які рухалися вниз і, скочуючись по стінках лійки, потрапляли у фіксуючу рідину, по закінченню вигонки підраховували за допомогою лупи, попередньо відфільтрувавши на фільтрувальному папері.

Фенологічні спостереження і відбирання проб ґрунту проводили по два рази кожного року – у травні і вересні.

Статистичну обробку результатів досліджень виконано з використанням програми Microsoft Excel

3. Результати й обговорення

На контрольному варіанті досліді (без енергетичних культур) чорнозем опідзолений важкосуглинковий характеризується низьким рівнем вмісту органічного вуглецю (Табл. 1), однак під енергетичними культурами спостерігається незначне його підвищення, з максимумом у прикореневій зоні сильфію в 2019 році в шарі 0-20 см на 0,18 %, а в шарі 20-40 см на 0,33 %.

Таблиця 1

Вміст органічного вуглецю у чорноземі опідзоленому важкосуглинковому

Дата відбирання проб (рік, місяць)	Шар ґрунту, см	Вміст органічного вуглецю у ґрунті (%) по варіантах досліді			
		Контроль	Міскантус (I)	Сіда	Сильфій
2019 05	0-20	1,86	1,95	1,89	2,04
	20-40	1,63	1,92	1,81	1,96
2019 09	0-20	1,87	2,08	2,08	2,25
	20-40	1,58	1,94	1,77	2,02
2020 05	0-20	1,88	2,06	1,99	2,06
	20-40	1,64	1,99	1,87	1,98
2020 09	0-20	1,86	2,11	2,10	2,21
	20-40	1,58	1,96	1,81	2,05
HPI ₀₅		0.05	0.06	0.06	0.04

У ґрунті під міскантусом гігантським простежується підвищення вмісту органічного вуглецю у шарі 20-40 см на 0,29 % порівняно з варіантом без рослин, що пояснюється особливостями його кореневої системи, яка завдяки майже суцільному розгалуженню кореневища, утвореного ризомами, сприяє накопиченню вологи, зменшенню її випаровування з ґрунту та посиленню рівня комфортності для життєдіяльності ґрунтової біоти.

Відомо, що такі рослини мають специфічні кореневі виділення, які завдяки присутності ряду органічних кислот у їх складі, сприяють вивільненню важкодоступних форм деяких елементів із ґрунту, а також впливають на кислотно-основу рівновагу слабо підвищуючи кислотність ґрунтового розчину у ризосфері коренів (Табл. 2).

Таблиця 2

Реакція ґрунтового розчину (рН Н₂О) чорноземі опідзоленого важкосуглинкового

Дата відбирання проб (рік, місяць)	Шар ґрунту, см	рН по варіантах досліду			
		Контроль	Міскантус (I)	Сіда	Сильфій
2019 05	0-20	6,5	6,4	6,3	6,3
	20-40	6,3	6,2	6,2	6,1
2019 09	0-20	6,6	6,3	6,4	6,3
	20-40	6,4	6,2	6,3	6,2
2020 05	0-20	6,5	6,3	6,4	6,3
	20-40	6,2	6,1	6,3	6,1
2020 09	0-20	6,4	6,2	6,2	6,2
	20-40	6,3	6,2	6,1	6,1

За результатами спостережень і аналітичних досліджень відзначимо позитивну динаміку щодо виконання плантацією енергетичних культур екосистемної послуги регулювання – поліпшення якості повітря шляхом накопичення та депонування вуглецю органічних речовин у ґрунті, та послуги підтримання екосистем – сприяння процесу біогеохімічного циклу вуглецю.

Виконання іншої екосистемної послуги, що входить до групи послуг підтримання екосистем, проаналізовано шляхом дослідження ґрунтової мікрофауни. У процесі гумусоутворення велика роль належить мікроартроподам. Це дрібні ґрунтові безхребетні, які відіграють важливу роль у процесах трансформації речовини та енергії в екосистемі й поліпшенні стану ґрунту й, відповідно, є певним індикатором стану екосистеми. Вони беруть участь у розкладанні органічних залишків, сприяють підвищенню аерації та структурованості ґрунту.

На рисунках 1 і 2 наведено кількісний розподіл найбільш розповсюджених груп мікроартропод – орибатид (панцерних кліщів) та колембол (ногохвісток), у шарі ґрунту 0-20 см під різними варіантами досліду.



Рис. 1. Чисельність орибатид у чорноземі опідзоленому важкосуглинковому під енергетичними культурами в шарі 0-20 см. НІР05: Травень 2019 – 225; Вересень 2019 – 146; Травень 2020 – 131; Вересень 2020 – 192 екз./м²

Найбільшу кількість орибатид виявлено на варіанті з сильфієм пронизанолистим (1622–1982 екз./м²). Майже однакові результати маємо по варіантах з міскантусом гігантським (I) та сідою багаторічною. Однак навесні 2019 року під однорічним міскантусом (II) орибатид було майже на 600 екземплярів менше, ніж під чотирирічним (I), що пояснюється коротким строком дії культури на ґрунт та його біоту. Якщо ж порівнювати чисельність мікроорганізмів за сезонним коливання, то спостерігаємо, що у весняний період складаються більш сприятливі умови для існування орибатид, через літню посушливість клімату останніми роками.

Чисельність колембол стрімко реагує на рослини міскантусу гігантського у перші роки розвитку, в той час, як під сильфієм та сідою вона, хоча й демонструє поступове спадання з часом, однак, все ж таки, є більш стабільною.



Рис. 2. Чисельність колембол у чорноземі опідзоленому важкосуглинковому під енергетичними культурами у шарі 0–20 см. НІР05: Травень 2019 – 362; Вересень 2019 – 232; Травень 2020 – 284; Вересень 2020 – 188 екз./м²

Цікаво, що під сильфієм пронизанолистим, чисельність ногохвісток є доволі стабільною незважаючи на сезон. Вірогідно це обумовлено особливістю стрижневої кореневої системи, зосередженої на глибині 70–80 см, яка здатна утримувати достатню кількість ґрунтової вологи як для свого живлення, так і для стабільної життєдіяльності ґрунтових безхребетних упродовж усього вегетаційного періоду.

Для узагальнення даних щодо чисельності ґрунтової мікрофауни, в таблиці 3 зведено сумарну кількість орибатид та колембол разом.

Таблиця 3.

Сумарна чисельність ґрунтових безхребетних (орибатида плюс колемболи) у шарі ґрунту 0-20 см по варіантах дослідів

Дата відбирання проб (рік, місяць)	Чисельність орибатид і колембол (екз./м ²) по варіантах дослідів					НІР ₀₅ екз./м ²
	Контроль	Міскантус (I)	Міскантус (II)	Сильфій	Сіда	
2019 05	2706	6126	4860	5040	4320	286
2019 09	2166	3068	2700	4680	3600	236
2020 05	2708	2886	2160	3060	1800	428
2020 09	2894	4504	3786	4324	3784	562

Аналізуючи динаміку параметрів на кожному з варіантів констатуємо зниження загальної кількості мікроартропод з часом. Таке явище можливо пояснити негативним впливом високих літніх температур та низькою кількістю літніх опадів у роки спостережень. За даними на сайті Метео Фарм [20] сума опадів у період травень – серпень у 2019 р. становила 79 мм, а у 2020 – 62 мм. В цілому ж, порівнюючи окремо дію різних вирощуваних культур на чисельність ґрунтової безхребетної фауни в чорноземі опідзоленому, бачимо, що найсприятливіші умови для життєдіяльності мікроартропод склалися на ділянках, де вирощували сильфій пронизанолистий. Констатовано також, що хоча під культурами динаміка

чисельності мікроартропод є спадною у часі, однак, порівняно з контролем, загальна чисельність все одно залишається на порядок вищою.

Екологічну послугу постачання, енергетичні культури, найбільшою мірою, реалізують через забезпечення енергетичною, а у випадку з сідою та сильфієм, ще й кормовою сировиною. Кожна з досліджуваних енергетичних культур, досягає максимального приросту біомаси наприкінці літа – початку осені. Оптимальний час збирання врожаю залежить від рослини, і знаходиться в проміжку між серединою осені та початком весни [12–17]. У ході нашої роботи, було проведено заміри висоти стебла у рослин у вересні 2019 і у липні та вересні 2020 років (Рис. 1.). Результати вимірювань дозволяють проаналізувати швидкість росту кожної культури. З рисунку 3 добре видно, що вегетаційний період сильфію та міскантусу завершується раніше, ніж у сіди, про що свідчить різниця довжини стебла сіди у весняний та осінній періоди майже на 100 см.

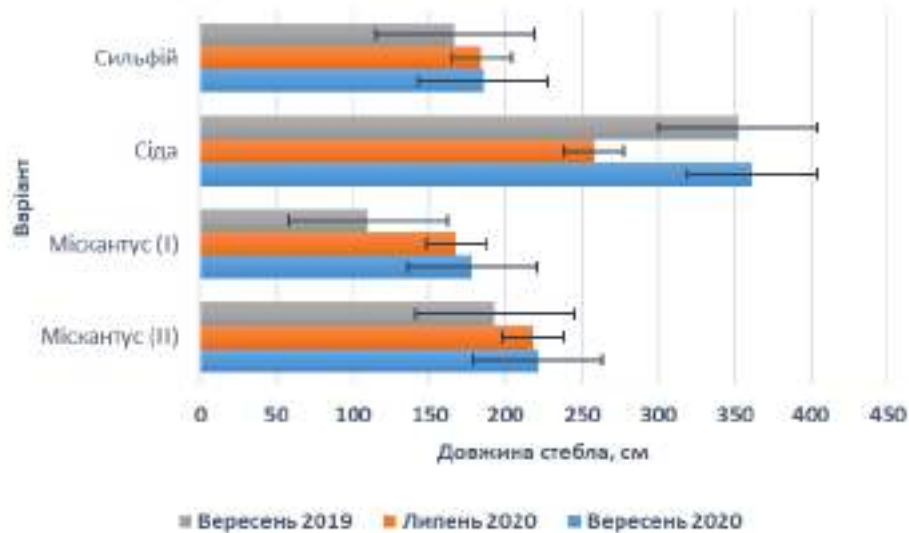


Рис. 3. Довжина стебла енергетичних культур

Розглядаючи міскантус гігантський, бачимо що довжини стебла рослин однорічної (2019 р.) та чотирирічної (2016 р.) посадки різняться у середньому на 50 см, що обумовлено різницею у віці, адже період росту з четвертого до сьомого року є найбільш продуктивним для міскантусу гігантського [18]. Таким чином, незважаючи на посушливість клімату у роки дослідження, всі культури здатні реалізувати свою головну функцію і виконати постачальну послугу, перш за все, через довгу кореневу систему, що має довжину від 1,5 до декількох метрів, залежно від рослини. Одним із факторів, що впливають на виконання екологічної послуги регулювання є структурний склад ґрунту, з яким пов'язані рух води й повітря, дифузія солей у ґрунті а також забезпечення кореневої системи рослин водою і повітрям. В таблиці 4 наведено деякі параметри структурного стану ґрунту – вміст основних фракцій макроагрегатів і коефіцієнт структурності.

Добре помітно, що ґрунт, який більше трьох років перебуває під впливом рослин міскантусу гігантського, у верхньому шарі (0–20 см) містить більше агрономічно цінних макроагрегатів (10 ... 0,25 мм) і тому коефіцієнт структурності у нього у два рази вищий.

Значне підвищення коефіцієнта структурності – більше ніж у 1,5 рази, відбулося і у верхньому (0–40 см) шарі ґрунту. Такий результат, головним чином, пов'язаний з будовою кореневої системи міскантусу. Вона мичкувата і досить добре розгалужується, і хоча проникнення коренів углиб відбувається більше ніж на два метри, основна маса (близько 70 %) зосереджена у верхніх 20 сантиметрах.

Таким чином, корені рослини найкраще розпушують та оструктурюють верхні шари ґрунту, і не лише фізичною дією, а ще й завдяки особливим корневим виділенням, у склад яких входять органічні кислоти, поліфенольні сполуки та флавоноїди [19], що сприяють структуроутворенню.

Таблиця 4

Індикатори структурного стану чорнозему опідзоленого важкосуглинкового на ділянці з міскантусом гігантським

Варіант	Шар ґрунту, см	Вміст фракцій, %, розміром, мм			Коефіцієнт структурності (Kс)
		> 10	10...0,25	< 0,25	
Контроль	0-20	34,70	58,17	7,13	1,39
	20-40	29,67	65,59	5,39	1,87
	40-60	26,17	65,19	8,64	1,87
Міскантус (I)	0-20	19,06	69,31	11,65	2,26
	20-40	20,84	73,06	6,10	2,27
	40-60	28,48	65,05	6,47	1,86

Примітка. Kс = (10 ...0,25) / (> 10 + < 0,25)

4. Висновки

Виявлено, що вирощування енергетичних культур, а саме міскантусу гігантського, сіди багаторічної та сільфії пронизанолистої, позитивно впливає на якість екосистемних послуг таких плантацій. Це обумовлено:

- загальним поліпшенням стану чорнозему опідзоленого за агрохімічними показниками – накопиченням органічного вуглецю і збільшенням вмісту мінерального азоту під міскантусом, покращенням всіх досліджуваних показників під сільфієм;
- збільшенням чисельності мікроартропод і, як наслідок, посиленням біорізноманіття, завдяки енергетичним культурам;
- стабільним накопиченням біомаси і забезпеченням енергетичною сировиною;
- оструктуренням ґрунту, та, як наслідок, поліпшенням циркуляції вологи, повітря, дифузії солей тощо.

Таким чином, виконуються такі екосистемні послуги: постачання – отримання енергетичної сировини; регулювання – підвищення якості ґрунту; підтримання екосистем – депонування вуглецю органічної речовини та регулювання його біогеохімічного циклу.

Отже, людині вкрай важливо навчитись бачити економічні вигоди з підвищення якості екосистемних послуг та зрозуміти цінність і необхідність збереження різноманіття екосистем, задля підтримання природних процесів у довкіллі. Екосистемні послуги природа надає нам безкоштовно, тож треба намагатися своїми зусиллями підвищувати їх рівень зараз, аби не платити потім в рази більше за їх відновлення.

Список використаних джерел

1. Шевчук Р.В. Біоенергетичні культури для Полісся. Всеукраїнський інформаційно-аналітичний портал «Аграрний Тиждень. Україна». URL: <https://a7d.com.ua/plants/13853-boenergetichn-kulturi-dlya-polssya.html> (дата звернення: 10.02.2021).
2. Two Novel Energy Crops: *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L. State of Knowledge / L. Cumplido-Marin, A.R. Graves, P.J. Burgess [et. al.]. *Agronomi*. 2020, V. 10(7). 928. URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy10070928>.
3. Organic compounds in root exudates of *Miscanthus × Giganteus* greif et deu and limitation of microorganisms in its rhizosphere by nutrients. / H. Kaňová, J. Carre, V. Vranová, K. [et. al.]. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2010. V. LVIII N 5. P. 203-208. URL: <https://doi.org/10.11118/actaun201058050203>.
4. Калетнік Г.М. Біопаливо: продовольча, енергетична та екологічна безпека України. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 12-14. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Bioen_2013_2_6.
5. Жілен Д., Сайгін Д., Вагнер Н. IRENA REmap 2030. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року. 2015. Абу-Дабі. URL: http://uwea.com.ua/uploads/docs/IRENA_REmap_2015_ukr.pdf.
6. Василюк О., Ільмінська Л. Екосистемні послуги. Огляд. БО «БФ «Фонд захисту біорізноманіття України». Ukrainian Nature Conservation Group. 2020. 82 с.
7. Енергетична і економічна ефективність вирощування Сильфії пронизанолистої на тверде біопаливо/ Р.В Шевчук, Б.В. Гук, Г.М. Шевчук [та ін.]. *Біоенергетика*. 2015. № 1. С. 28-29.
8. Beale C.V., Long S.P. Seasonal dynamics of nutrient accumulation and partitioning in the perennial C₄-grasses *Miscanthus × giganteus* and *Spartina cynosuroides*. *Biomass and Bioenergy*. 1997. V. 12. Iss. 6. P. 419-428. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)00016-0).

9. Christian D.G., Riche N.E., Yates N.E. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus × giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products*. 2008. V. 28. P. 320-327. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.02.009>.
10. Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Oleszczuk P. Changes of pollutant content during sewage sludge composting process. Part I.: Total polycyclic aromatic hydrocarbons content. *Inżynieria Ekologiczna*. 2005. V. 12, P. 19–25.
11. Yields, calorific value and chemical properties of cup plant *Silphium perfoliatum* L. biomass, depending on the method of establishing the plantation / M. Bury E. Mozdzer, T. Kitchzac [et al.]. *Agronomi*. 2020. V. 10(6):851. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060851>.
12. Heaton E.A., Dohleman F.G., Long S.P. Seasonal nitrogen dynamics of *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum*. *GBC Bioenergy*. 2009. V. 1. P. 297-307 <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2009.01022.x>.
13. Šiaudinis G., Liaudanskienė I., Šlepetienė A. Changes in soil carbon, nitrogen and sulphur content as influenced by liming and nitrogen fertilization of three energy crops. *Icelandic Agricultural Sciences*. 2017. (30). P. 43-50. <https://doi.org/10.16886/IAS.2017.05>.
14. Nahm M., Morhart C. Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) as perennial multipurpose crop: biomass yields, energetic valorization, utilization potentials, and management perspectives. *GBC Bioenergy*. 2018. V. 10, Iss.6. P. 393-404. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12501>.
15. Ustac S., Munoz J. Cup-plant potential for biogas production compared to reference maize in relation to the balance needs of nutrients and some microelements for their cultivation. *Journal of Environmental Management*. 2018. V. 228. P. 260–266. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.015>.
16. Kiesel A., Lewandowski I. *Miscanthus* as biogas substrate-cutting tolerance and potential for an aerobic digestion. *GCB Bioenergy*. 2016. V.9, Iss.1. P. 153–167. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12330>.
17. Mola-Yudego B., Aronsson P. Yield models for commercial willow biomass plantations in Sweden. *Biomass and Bioenergy*. 2008. V. 32 (9). P. 829-837. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.01.002>.
18. Potential of *Miscanthus × giganteus* grown on highly contaminated Technosols / N. Wanat, A. Austruy, E. Joussein [et al.]. *J. of Geochemical Exploration*. 2013. V. 126–127. P. 78–84.
19. Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine / M.I. Kulyk, M.A. Galytska, M.S. Samoylik, I.I. Zhornyyk. *Agrology*. 2019. V. 2(1), P. 65-73. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.14020>.
20. Meteo.farm. Аро погода. URL: <https://www.meteo.farm/dashboard>.

UDC 631.413

Impact of energy crops on the quality of ecosystem services of Luvic Chernic Phaozem

Ya. N. Vodiak

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine
E-mail: 1994demidova@gmail.com

The article presents the results of research on the impact of energy crops on the quality of such ecosystem services of podzolized heavy loam chernozem (Luvic Chernic Phaozem) as providing, regulating and supporting. The observation was conducted during 2019-2020 in the SE "Experimental Farm "Grakivske", Novyi Korotych village in Kharkiv region of Ukraine. Energy perennial crops grown in the experiment: *Miscanthus giganteus* (plantings 2016 (I) and 2019 (II) years); *Sida hermaphrodita* (2018); *Silphium perfoliatum* L. (2018). Control variables: determination of soil organic carbon content; pH level; number of microarthropods in the soil; plant stem length. An increase in organic carbon content was found in the upper soil layers beneath energy crop plants, especially in the root zone of *Silphium*. Due to the root excretions of the crops a slight decrease in pH is also observed in all the variants compared to the control. A positive effect of the plants is also observed on the numbers of soil invertebrates – microarthropods, namely columbines and oribatids. The increase in their numbers indicates the formation of favorable conditions for these living creatures, in the root zone of all energy crops. For example, in May 2019 compared to the control (2706 ex. / m²) under four-year-old *Miscanthus* almost tripled (6126 ex. / m²), under annual *Miscanthus* – 4860 ex. / m², under *Silphium* – 5040 ex. / m², and under *Sida* – 4320 ex. / m². Positive changes in soil structure under the influence of *Miscanthus giganteus* cultivation, especially in the upper layer, were also noted. The coefficient of structure on the variants increased from 1.39 on the control, to 2.26 in layer 0-20 under *Miscanthus*. Measurements of stem height, showed that all of the selected crops were able to function normally despite reduced rainfall and increased temperatures in recent years. The plants are not depressed under drought conditions and only increase their biomass over time. Thus, the results indicate an overall improvement in the quality of soil ecosystem services in energy crop plantations. In particular, provisioning services – obtaining energy raw materials; regulating services – improving soil quality; and ecosystem services – depositing organic carbon, are improved.

Keywords: chernozem podzolized heavy loam; ecosystem services; energy crops; microarthropods; *Miscanthus giganteus*; *Sida hermaphrodita*; *Silphium perfoliatum*.

Citing: Vodiak Ya. N. 2021. Impact of energy crops on the quality of ecosystem services of Luvic Chernic Phaozem. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 64-71. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-08>.

УДК 633.8:581.8

Диференціація вмісту хлорофілу, азоту та фосфору в листках сої різних ярусів¹

Ю.Л. Разуменко

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 28.02.2021 Отримано після доопрацювання 30.04.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	У статті висвітлено результати визначення вмісту хлорофілу, азоту та фосфору в листках різних ярусів у рослин сої. Показано результати перевірки робочої гіпотези про наявність зв'язку між вмістом хлорофілу й поживних речовин та продемонстровано дані щодо динаміки їх вмісту в листках сої у фазах утворення бобів, наливу зерна й початку фізіологічної стиглості. Дослідження виконано впродовж 2016 та 2017 рр. в умовах польового дрібноділянкового дослідження кафедри агрохімії Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва в Харківській області України. Ґрунт – чорнозем типовий (Haplic Chernozem) середньосуглинковий на лесі з вмістом гумусу 5,5–6,1%, легкогідролізованого азоту – 5 мг / 100 г, рухомого фосфору – 7 мг/100 г ґрунту. Насіння сої перед посівом оброблено бактеріальним препаратом ризогумін. Вміст хлорофілу у листках рослин визначали колориметричним методом після екстрагування етиловим спиртом; загальний вміст у пробах рослин азоту та фосфору також – колориметрично після спалювання наважки у сірчаній кислоті за методом мокрого озолення. Результати показали, що впродовж усіх контрольованих фаз онтогенезу у молодих листках верхнього ярусу містилося найбільше як хлорофілу, так і азоту та фосфору, а в листках нижнього ярусу – найменше. Найвищий вміст хлорофілу, азоту та фосфору зафіксовано у листках верхнього ярусу у фазу утворення бобів, найнижчий – у листках нижнього ярусу на початку фізіологічної стиглості. Між контрольним варіантом та варіантами із застосуванням добрив істотної різниці не виявлено. Спосіб внесення однакової дози мінеральних добрив теж істотно на досліджувані показники не вплинув. Це дало змогу констатувати наявність характерної особливості щодо накопичення і реутилізації поживних речовин у листях різного віку, що розміщені на різних частинах стебел рослин сої. Виявлено тісний прямий кореляційний зв'язок між вмістом у листках сої хлорофілу та вмістом азоту ($r = 0,85$) і фосфору ($r = 0,76$). Також констатовано прямий зв'язок між вмістом у листках усіх ярусів азоту і фосфору ($r = 0,80$).

* E-mail: juliaruzland@gmail.com

Форма цитування: Разуменко Ю.Л. Диференціація вмісту хлорофілу, загального азоту та фосфору в листках сої різних ярусів. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 91. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2021. С. 72-78.
<https://doi.org/10.31073/acss91-09>

1. Вступ

Фотосинтез – основний процес утворення органічних речовин у рослинній клітині з вуглекислого газу і води під дією сонячного світла. Енергія сонячних променів переходить в енергію рослинної біомаси. Безпосереднім учасником процесу фотосинтезу є хлорофіл, який і визначає зелений колір листків рослин. Біомаса рослин утворюється на 75 % з продуктів фотосинтезу і лише на 25 % – з поглинутих мінеральних речовин [1]. Фотосинтез здійснюється в хлоропластах, відособлених двомембранних органелах клітини. Хлоропласти можуть бути в клітинах плодів, стебел, проте основним органом фотосинтезу, анатомічно пристосованим до його здійснення, є листя. Лист являє собою ефективну систему для поглинання і перетворення енергії світла в ході фотосинтезу. Структура листа забезпечує найбільш повне поглинання квантів світла, надходження вуглекислого газу із атмосфери до хлоропластів, а також можливість відтоку асимілятів із автотрофних клітин [2].

Ґрунтове й повітряне живлення дуже тісно пов'язані в метаболізмі рослин і один процес без другого не відбувається. Виявлено, що у процесі фотосинтезу бере участь низка елементів мінерального живлення, причому найсильніший взаємозв'язок спостерігається між вмістом хлорофілу та забезпеченістю рослин азотом. Азотне живлення суттєво впливає на формування та активність фотосинтетичного апарату рослин [3]. Азот є особливо важливим для живлення сої. Він входить до складу білків, нуклеїнових кислот, нуклеопротейдів, хлорофілу, фосфатидів та інших органічних речовин рослинних клітин. Його вміст у білках становить 16–18 % від маси [4].

Важливість фосфору також безперечна. Характерним є те, що більша частина цього елемента, яка у подальшому використовується для формування бобів, засвоюється

¹ Науковий керівник: Г. Ф. Ольховський, канд. біол. наук, професор кафедри агрохімії ХНАУ ім. В.В. Докучаєва

на ранньому етапі та тимчасово нагромаджується (про запас) у вегетативних органах рослин, а згодом переміщується з листя, стебел і черешків у насіння. У фазі повної стиглості 82–85 % засвоєного фосфору знаходиться у насінні, причому 40–80 % цієї кількості можна віднести на рахунок переміщення із ступок бобів, листя і стебел. Особливо швидкими темпами фосфор переміщується за низького його вмісту у ґрунті [5].

З літератури відомо про величезну важливість здатності культурних рослин до реутилізації запасних речовин, тобто до повторного використання накопичених у процесі розвитку метаболітів. Загальна продуктивність рослин залежить не лише від спромоги акумулювати пластичні речовини, але й від ефективності використання накопичених продуктів фотосинтезу [6].

Чим більшою є листо-стеблова маса рослин, тим більший в ній запас пластичних речовин для утворення репродуктивних органів і формування урожаю. Виявлено, наприклад, що за рахунок реутилізації запасних речовин у гороху може забезпечуватися 1/3 урожаю насіння [7,8].

Поряд з реутилізацією пластичних речовин (у вигляді гідролізованих білків та вуглеводів) у рослинах відбувається реутилізація елементів живлення, яка є частиною загальної системи кореневого живлення рослин, яке називають мінеральним [9]. Повторне використання рослиною раніше поглинутих нею поживних елементів є часткою процесу кругообігу всередині рослинного організму [10]. При цьому різні види рослин різною мірою здатні до реутилізації [11]. Цей процес може відбуватися під час вегетативного росту, коли складаються несприятливі умови для кореневого живлення (недостатня кількість доступних поживних речовин) і зрілі листки стають джерелами (донорами) для підтримки зростання нових органів [12,13]. Реутилізація часто асоціюється із старінням листків та стебел під час стадії дозрівання насіння, що робить поживні речовини доступними для нових точок росту рослин і сприяє підвищенню ефективності використання поживних речовин [14,15]. Листок на початку вегетації є гетеротрофним органом, що експортує асиміляти з інших листків, потім стає постачальником асимілятів і, зрештою, джерелом низькомолекулярних сполук азоту, фосфору, іонів калію та ін., коли падає його фотосинтетична функція і активізуються процеси гідролізу. Крім того, важливою адаптивною функцією старіння органів (зокрема, листків) є саме використання їх компонентів під час старіння на потреби рослини як відповідь на дію зовнішніх і внутрішніх факторів (особливо в умовах стресу). Програма включається у відповідь на той чи інший дефіцит, що потребує перерозподілу сполук між органами. Тому рослина використовує індуковане старіння як важливий компонент гомеостазу організму. Процес старіння листа закінчується його опаданням [16].

Отже, вегетативні органи рослин (листки та стебла) виконують дуже важливі функції у формуванні врожаю. Тому дослідження вмісту в них фотосинтетичних пігментів та поживних елементів є актуальними.

Метою статті є висвітлення результатів визначення вмісту хлорофілу та азоту і фосфору в листках сої різних ярусів для підтвердження робочої гіпотези про наявність зв'язку між вмістом хлорофілу й поживних речовин та про наявність закономірної динаміки вмісту поживних речовин у листках сої у фазах утворення бобів, наливу зерна і початку фізіологічної стиглості.

2. Методика досліджень

Дослідження проводили на дослідному полі кафедри агрохімії Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва (с. Докучаєвське, Харківський район, Харківська область) протягом 2016 і 2017 рр. у межах дрібноділянкового досліду. Ґрунт – чорнозем типовий (Haplic Chernozem) середньосуглинковий на лесі, характеризується такими агрохімічними показниками: вміст гумусу – 5,5–6,1 %; легкогідролізованого азоту – 5 мг / 100 г ґрунту; рухомого фосфору – 7 мг/100 г ґрунту (за Чириковим); калію – 31 мг / 100 г ґрунту; рН водної витяжки 7,2; у складі поглинутих катіонів переважають Ca^{2+} та Mg^{2+} . Вирощували ранньостиглий сорт сої Естафета. Схема досліду включала 3 варіанти: 1 – Контроль (без мінеральних добрив, без ризогуміну), 2 – $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ врозкид + ризогумін, 3. $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ локально у формі стрічки на глибині 10 см + ризогумін. Добрива, у формах аміачної селітри, суперфосфату простого та сульфату калію, вносили під передпосівну культивування. Доза добрив у 2 і 3 варіантах була однаковою, а спосіб внесення – різним. Повторність варіантів триразова. Облікова площа ділянки – 8 м². Всі роботи виконували вручну.

Насіння перед посівом оброблено препаратом ризогумін, що містить бактерії, з метою поліпшення азотфіксації рослинами сої. Обробку виконували у день сівби в місці,

захищеному від попадання прямих сонячних променів, із розрахунку 200 г препарату на гектарну норму насіння.

Проби листків сої відбирали кожного року три рази за вегетаційний період, на початку таких фаз онтогенезу: утворення бобів; налив зерна; фізіологічна стиглість. Відбирання проб здійснювали умовно поділивши рослину на три однакові частини: верхній ярус – починається з верхівки рослини, за ним середній, далі нижній.

Вміст хлорофілу у листях рослин визначали колориметричним методом: після екстрагування наважки сирого рослинного матеріалу етиловим спиртом (96 %) вимірювали оптичну густину розчину за допомогою фотоелектроколориметра (ФЕК) і визначали концентрацію в ньому хлорофілу за калібрувальним графіком. Загальний вміст у пробах рослин азоту та фосфору визначали також колориметричним методом після спалювання наважки у сірчаній кислоті за методом мокрого озолення (МВВ 31-497058-019-2005 Рослини).

3. Результати й обговорення

Енергетичною основою фотосинтезу є поглинання фотосинтетичними пігментами сонячної радіації, яка використовується для утворення органічних речовин. Продуктивність фотосинтетичного апарату визначається вмістом пігментів у фотосинтетичних органах. За даними дослідників, кореляція врожаю з вмістом суми пігментів є більш тісною, ніж з площею поверхні надземних органів рослин [17]. Вміст хлорофілу в тканинах рослин є також головною характеристикою адаптації фотосинтетичного апарату до умов довкілля [18].

Результати визначення вмісту хлорофілу в листках сої на різних ярусах у різні фази розвитку рослин наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Динаміка вмісту хлорофілу в листках сої різних ярусів (2016 і 2017 рр.)

Варіант досліджу	Ярус листків	Вміст хлорофілу (мг/100 мл) на початку фаз онтогенезу								
		утворення бобів			налив зерна			початок фізіологічної стиглості		
		2016	2017	Середній	2016	2017	Середній	2016	2017	Середній
1. Контроль	Нижній	2,32	3,80	3,06	3,56	2,65	3,10	0,34	0,81	0,57
	Середній	4,42	4,80	4,61	3,67	4,33	3,97	1,05	1,61	1,33
	Верхній	4,91	5,00	4,95	3,71	4,63	4,17	1,56	1,94	1,75
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ врозкид + ризогумін.	Нижній	2,83	3,71	3,26	3,34	2,30	2,82	0,48	0,85	0,66
	Середній	4,51	4,82	4,65	3,65	4,75	4,20	1,57	2,00	1,78
	Верхній	4,92	4,05	4,93	4,17	5,00	4,58	2,71	2,44	2,57
3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ локально на глибину 10 см + ризогумін	Нижній	2,25	3,85	3,05	3,38	4,47	3,92	0,52	0,93	0,72
	Середній	4,44	4,71	4,57	3,65	2,58	3,11	1,43	2,05	1,74
	Верхній	4,93	5,05	4,99	3,86	4,65	4,25	2,72	2,97	2,84

Уміст хлорофілу у 2016 році по всіх варіантах досліджу був найбільшим у фазу утворення бобів (перший строк відбирання проб) у листках верхнього ярусу. У листках нижнього ярусу параметри цього показника були удвічі нижчими. У фазу наливу зерна вміст хлорофілу у листках верхнього ярусу дещо зменшився, натомість помітним є його підвищення у листках нижнього ярусу. На початку фази фізіологічної стиглості, на фоні загального зниження, вміст хлорофілу у листках нижнього ярусу був найнижчим. У 2017 році спостерігалось деяке підвищення вмісту хлорофілу по всіх варіантах досліджу, однак розподіл по ярусах мав таку саму тенденцію, як і у 2016 році. З порівняння варіантів з удобренням не встановлено суттєвого впливу способу внесення мінеральних добрив на динаміку вмісту хлорофілу в листках сої.

Загалом за два роки досліджень виявлено, що вміст хлорофілу в листках сої у період досліджуваних фаз розвитку рослин коливався у межах 0,34–4,47 мг/100 мл у листках нижнього ярусу, 1,33–4,82 мг/100мл — середнього і 1,56–5,00 мг/100 мл – верхнього.

Дуже важливим для всіх рослин, а особливо сої, є азот. Він є невід'ємною складовою протеїнів, хлорофілу, ферментів та багатьох інших компонентів, зокрема необхідних для росту і розвитку рослин. Жоден інший поживний елемент не лімітує так

запаси продуктів живлення, як азот. Адже він формує врожай і біохімічні показники його якості [18, 19].

Багато азоту в молодих проростках сої та в сім'ядолях, частка азоту в сухій речовині досягає 10 %. На початку сходів із сім'ядолей витрачається 30 % азоту, на дев'ятий день після появи сходів – 75 %, і через три-чотири тижні в них залишається ще близько 7 % початкового вмісту азоту. Добове поглинання азоту (ґрунтове та симбіотичне) відбувається із зростаючою швидкістю, яка досягає максимуму (4,9 кг/га за добу) на третій місяць після сівби, а далі поглинання швидко зменшується [5]. У фазу повного цвітіння загальний вміст азоту в рослинах становить 1,2–3,5 %. На різних фазах стиглості насіння містить 6,2–6,3 % азоту, ступки бобів — 2,45–0,88, стебла з листками — 2,42–0,44 %. У процесі формування насіння вміст азоту у вегетативних частинах рослин зменшується у три-чотири рази. У насіння, що досягає, азот перерозподіляється із вегетативних частин рослини (листя, стебла, ступки бобів та корені) [5].

Результати визначення загального вмісту азоту в листках сої наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Динаміка загального вмісту азоту в листках сої різних ярусів (2016 і 2017 рр.)

Варіант досліджу	Ярус листків	Вміст азоту (%) на початку фаз онтогенезу								
		Утворення бобів			Налив зерна			Початок фізіологічної стиглості		
		2016	2017	Серед-ній	2016	2017	Серед-ній	2016	2017	Серед-ній
1. Контроль	Нижній	1,63	2,06	1,84	1,68	1,95	1,81	0,90	1,05	0,97
	Середній	1,68	3,05	2,36	1,95	2,51	2,23	1,26	1,95	1,60
	Верхній	2,77	3,25	3,01	2,45	2,85	2,65	1,50	2,40	1,95
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ врозкид + ризогумін	Нижній	1,78	1,95	1,86	1,75	2,05	1,90	0,91	1,20	2,03
	Середній	2,17	3,17	2,67	2,32	2,73	2,52	1,32	2,15	1,73
	Верхній	2,81	3,45	3,13	2,42	3,10	2,76	1,75	2,41	2,08
3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ локально на глибину 10 см + ризогумін	Нижній	1,85	2,10	1,97	1,81	2,20	2,00	1,08	1,17	1,12
	Середній	2,19	3,11	2,65	2,30	2,48	2,39	1,31	2,15	1,73
	Верхній	2,80	3,72	3,26	2,47	3,05	2,76	1,75	2,23	1,99

Згідно з даними таблиці 2, щодо розподілу загального вмісту азоту в листках сої спостерігалася та сама тенденція, як і щодо вмісту хлорофілу. У 2016 р. у фазу утворення бобів найбільше азоту містили проби листків верхнього ярусу без помітної різниці між варіантами досліджу. У пробах останнього відбору (початок фази фізіологічної стиглості) виявлено значне зниження вмісту азоту в листках всіх ярусів, що було особливо помітним у листках нижнього ярусу на всіх варіантах. У 2017 р. значення вмісту азоту були вищими, ніж у 2016 р., а розподіл по ярусах мав таку саму характеристику. У середньому за 2016 і 2017 рр. на початок фази утворення бобів вміст азоту був найвищим у молодих листках верхнього ярусу і в наступні фази – зменшувався по всіх варіантах досліджу.

Отже, загальний вміст азоту в листках сої по всіх варіантах у всіх ярусах зменшувався з проходженням часу. При цьому найбільші значення вмісту в листках сої цього елемента були у верхньому ярусі, а найменші – у нижньому. Не помічено суттєвих відмінностей як за вмістом, так і за розподілом азоту в листках різних ярусів у варіантах 2 і 3, де спосіб внесення добрив був різним.

Уміст фосфору в рослинах становить близько 0,2 % на суху масу. Фосфор поглинається кореневою системою рослин у вигляді окиснених сполук, головним чином, залишку ортофосфорної кислоти (H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻, PO₄³⁻). Фізіологічна значущість фосфору визначається тим, що він входить до складу ряду органічних сполук, таких, як нуклеїнові кислоти (ДРК і РНК), нуклеотиди, фосфоліпіди, вітаміни та багато інших, яким належить вирішальна роль в обміні речовин. Багато фосфоровмісних вітамінів та їх похідних є коферментами, які беруть безпосередню участь у каталітичному акті, що прискорює протікання найважливіших процесів обміну (фотосинтез, дихання та ін.) [20]. Фосфор є надто важливим у житті сої; і хоч вона засвоює його значно менше ніж азоту і калію, але потребує відносно велику кількість порівняно з озимою пшеницею, кукурудзою і ячменем. Соя не демонструє будь-яких чітких симптомів нестачі фосфору, за винятком затримки в рості та можливої появи червонувато-фіолетового відтінку листя [4], тому надійним показником дефіциту фосфору є аналіз проби ґрунту.

Фосфорне живлення сої з ґрунту починається вже через три-п'ять днів після проростання насіння. Першоджерелом фосфору для проростків сої є сім'ядолі. У період сходів із сім'ядолей переміщується у проростки 40 % фосфору, на 15-й день – 75 %, на 38-й день – 92 %. На початку утворення корінців, тобто через три-п'ять днів після появи проростків на поверхні ґрунту, вони вже починають поглинати ґрунтовий фосфор. Протягом 40–50 днів, швидкість поглинання фосфору безперервно збільшується, і в подальшому залишається досить постійною аж до пожовтіння листків (як за низького, так і за високого рівня вмісту фосфору у ґрунті). Максимальний рівень засвоєння фосфору зафіксовано у фазі формування бобів, а закінчення процесу засвоєння – за 10 днів до повної стиглості [4].

Вивчення особливостей фосфорного живлення рослин у процесі онтогенезу має велику теоретичну і практичну значущість. Знання потреб рослин у фосфорі в кожну із фаз розвитку дозволяє повніше мобілізувати можливості самих рослин у створенні врожаю, розробити раціональні прийоми застосування фосфорних добрив.

Значна потреба молодих рослин у фосфорі пояснюється високою напруженістю синергічних процесів, що відбуваються у цей час у рослинному організмі, і одночасно, слабким розвитком кореневої системи; з віком вміст фосфору в рослинах знижується [20].

За загальним вмістом фосфору в листках сої (Табл. 3) спостерігалася така сама тенденція, як і щодо вмісту хлорофілу та азоту (Табл. 1 і 2). Тобто, найбільший вміст констатовано на початку фази утворення бобів, а найменший – на початку фізіологічної стиглості. У листках верхнього ярусу (по всіх варіантах і ярусах) містилося найбільше як азоту, так і фосфору. У верхньому ярусі листки молоді, в них багато хлорофілу, азоту та фосфору. А у нижньому ярусі листки старіші, листкові пластинки майже пожовтіли, досліджуваних елементів у них мало.

Таблиця 3

Динаміка загального вмісту фосфору в листках сої різних ярусів (2016 і 2017 рр.)

Варіант досліджу	Ярус листків	Вміст фосфору (%) на початку фаз онтогенезу								
		Утворення бобів			Налив зерна			Початок фізіологічної стиглості		
		2016	2017	Середній	2016	2017	Середній	2016	2017	Середній
1. Контроль	Нижній	0,27	0,40	0,33	0,25	0,34	0,29	0,23	0,30	0,26
	Середній	0,36	0,48	0,42	0,32	0,46	0,39	0,27	0,32	0,29
	Верхній	0,50	0,69	0,59	0,36	0,64	0,50	0,32	0,34	0,33
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ врозкид + ризогумін.	Нижній	0,30	0,34	0,32	0,30	0,27	0,28	0,30	0,23	0,26
	Середній	0,43	0,41	0,42	0,34	0,46	0,40	0,32	0,40	0,36
	Верхній	0,54	0,69	0,61	0,40	0,59	0,49	0,34	0,41	0,37
3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ локально на глибину 10 см + ризогумін	Нижній	0,30	0,40	0,35	0,32	0,32	0,32	0,27	0,23	0,25
	Середній	0,41	0,57	0,49	0,34	0,40	0,37	0,32	0,32	0,32
	Верхній	0,53	0,78	0,65	0,41	0,50	0,45	0,36	0,41	0,38

З аналізу усереднених даних витікає, що найвищий вміст загального фосфору по всіх варіантах досліджу спостерігався у фазі утворення бобів (0,32–0,65 %), дещо менше – у фазі наливу зерна (0,28–0,50 %), і найнижчий – на початку фізіологічної стиглості (0,25–0,38 %). Спосіб розміщення добрив не впливав на загальний вміст і розподіл фосфору у листках сої у будь-який час впродовж досліджуваного періоду.

Результати статистичних розрахунків з використанням середніх дворічних даних (n=27) показали наявність тісного кореляційного зв'язку між вмістом у листках хлорофілу та загальним вмістом азоту ($r = 0,89$) і вмістом хлорофілу та фосфору ($r = 0,78$). А також виявлено існування зв'язку між загальним вмістом у листках азоту та фосфору ($r = 0,86$).

4. Заключення

Виявлено, що впродовж усіх досліджуваних фаз онтогенезу у молодих листках сої верхнього ярусу містилося найбільше як хлорофілу, так і азоту та фосфору, а в листках нижнього ярусу – найменше. Найвищий середній вміст хлорофілу, азоту та фосфору зафіксовано у листках верхнього ярусу у фазу утворення бобів, найнижчий – у листках нижнього ярусу на початку фізіологічної стиглості. Між контрольним варіантом та

варіантами із застосуванням добрив (N60P60K60) істотної різниці не виявлено. Спосіб внесення мінеральних добрив на чорноземі типовому теж істотно на досліджувані показники не вплинув. Виявлено тісний прямий кореляційний зв'язок між вмістом у листках сої хлорофілу та вмістом азоту ($r = 0,85$) і фосфору ($r = 0,76$). Також констатовано прямий зв'язок між вмістом у листках усіх ярусів азоту та вмістом фосфору ($r = 0,80$).

Список використаних джерел

1. Кефели В.И. Фотоморфогенез, фотосинтез и рост как основа продуктивности растений. Путино, 1991. 134 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/010003_000061_b25646aa97ec10af971df23feefa8cde/.
2. Храменкова О.М. Лист как орган фотосинтеза: практ.рук-во по теме УСП. Мин-во образования РБ, Гомельский гос.ун-т им. Ф.Скорины. Чернигов: Десна Полиграф. 2016. 32 с. URL: <http://old.gsu.by/biglib>GSU>.
3. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. Москва: Наука, 2000. 135 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/1081076/>.
4. Бабич А.О. Сучасне виробництво і використання сої. Київ: Урожай, 1993. 432 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/1296555/>.
5. Лещенко А.К. Культура сои. Киев: Наукова думка, 1978. 236 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/174102/>.
6. Ковалев М.В. О применении физиологических методов в селекции и растениеводстве. *Сельскохозяйственная биология*. 1986. № 3. С. 19–27.
7. Новикова Н.Е., Лаханов А.П. О семяобразующей способности сортов гороха. Селекция и семеноводство. 1995. №3. С. 8–10.
8. Новикова Н.Е. Физиологические факторы в повышении продуктивности сортов гороха. *Сельскохозяйственная биология*. 2000. № 3. С. 55–59.
9. Crafts-Brandner S.J. Significance of remobilization of vegetative phosphorus on biomass and yield production in soybean (*Glycine max* [L.] Merr.). *Crop Sci*. 1991. V. 32. P. 419–425. URL: <https://www.jstor.org/stable/4274217>
10. Брей С.М. Азотный обмен в растениях [Пер. с английского Э.Е. Хавкина]. Москва: Агропромиздат, 1986. 200 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/1350789/>.
11. Moreira N.K.F. Yield. Uptake, and retranslocation of nutrients in banana plants cultivated in upland soil of central Amazonian. *J. Plant Nutr*. 2009. V. 32. P. 443–457. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160802660750>.
12. Malagoli P., Laine P., Rossato L. Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus*) from stem extension to harvest: I. Global N flows between vegetative and reproductive tissues in relation to leaf fall and their residual. *N. Ann. Bot*. 2005. V.95. P.853–861. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15701662/>.
13. Abdallah M., Dubousset L., Meuriot F. Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus* L. *J. Exp. Bot.*, 2010. V. 61. P. 2635–2646. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2882259/>.
14. Fischer A.M. Nutrient remobilization during leaf senescence. *Annual Plant Reviews, Senescence Processes in Plants*, ed S. Gan (Oxford: Blackwell Publishing Ltd.), 2007, V. 26. P. 87–107. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4429656/>.
15. Avise J.C., Etienne P. Leaf senescence and nitrogen remobilization efficiency in oilseed rape (*Brassica napus* L.), *J. Exp. Bot.*, 2014, V.65, P. 3813–3824. URL: <https://academic.oup.com/jxb/article/65/14/3813/2877515>.
16. Полевой В.В., Саламатова Т.С. Физиология роста и развития растений [Учебное пособие]. Ленинград, изд-во ленинградского университета, 1991. 241 с. URL: https://www.studmed.ru/polevoy-v-v-salamatova-t-s-fiziologiya-rosta-i-razvitiya-rasteniy_dc5e06d191c.html.
17. Таран Н.Ю. Каротиноиды фотосинтетических тканей в условиях засухи. Физиология и биохимия культурных растений. 1999. №6. С. 414–422.
18. Физиология растений / М.М. Макрушин, Є.М. Макрушина, Н.В. Петерсон, М.М. Мельников. За ред. професора М.М. Макрушина. Підручник. Вінниця: Нова книга, 2006. 416 с. URL: https://snvk.at.ua/_ld/0/2_Fiziologi_m.pdf.
19. Ягодин Б.А. Агрохимия. Москва: Колос, 1982. 574 с. URL: https://catalog.orenlib.ru/cgi/irbis64r_01/cgiirbis.
20. Якушкина Н.И. Физиология растений. Москва: Просвещение, 1993. 335 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/599200/>.

UDC 633.8:581.8

Differentiation of the content of chlorophyll, nitrogen and phosphorus in soybean leaves of different tiers

J. L. Razumenko

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine
E-mail: juliaruzland@gmail.com

The article presents the results of determining the content of chlorophyll, nitrogen and phosphorus in the leaves of different tiers in soybean plants. The results of testing the working hypothesis about the relationship between chlorophyll content and nutrients are shown and data on the dynamics of their content in soybean leaves in the phases of bean formation, grain filling and the beginning of physiological maturity are demonstrated. The study performed during 2016 and 2017 in the field small-scale experiment of the Department of Agrochemistry of Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev in the Kharkiv region of Ukraine. The soil is typical medium loam chernozem (Haplic Chernozem) with a humus content of 5.5–6.1 %, easily hydrolyzed nitrogen – 5 mg / 100 g, mobile phosphorus – 7 mg / 100 g of soil. Soybean seeds treated with the bacterial preparation rhizohumina before sowing. The content of chlorophyll in the leaves of plants determined by colorimetric method after extraction with ethyl alcohol; the total content of nitrogen

and phosphorus in the plant samples is also colorimetric after burning the sample in sulfuric acid by the method of wet ashing. The results showed that during all the controlled phases of ontogenesis, the young leaves of the upper tier contained the most chlorophyll, nitrogen and phosphorus, and the leaves of the lower tier contained the least. The highest content of chlorophyll, nitrogen and phosphorus recorded in the leaves of the upper tier in the phase of bean formation, the lowest - in the leaves of the lower tier at the beginning of physiological maturity. No significant difference found between the control variant and the variants with the use of fertilizers. The method of applying the same dose of mineral fertilizers also did not significantly affect the studied indicators. This stated the presence of a characteristic feature of the accumulation and reutilization of nutrients in the leaves of different ages, located on different parts of soybean stems. A close direct correlation was found between the content of chlorophyll in soybean leaves and the content of nitrogen ($r = 0.85$) and phosphorus ($r = 0.76$). There is also a direct relationship between the content of nitrogen in the leaves of all tiers and the phosphorus content ($r = 0.80$).

Keywords: chlorophyll; nitrogen; phosphorus; soybean leaves, tiers.

Citing: Razumenko J. L. 2021 Differentiation of the content of chlorophyll, nitrogen and phosphorus in soybean leaves of different tiers. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 72-78. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-09>.

ДАЙДЖЕСТ СУЧАСНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ПРО ҐРУНТ DIGEST of MODERN SOIL PUBLICATIONS

Роздуми з книгою і про книгу

Ю. М. Дмитрук

Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича, Чернівці, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 23.02.2021 Отримано після доопрацювання 15.05.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	Рецензія на сучасну наукову публікацію – книгу Бориса Боінчана і Давида Дента «Землеробство на чорноземах. Адаптивний менеджмент ґрунтів» видавництва «Прут», Кишинів, 2020. Книгу видано російською мовою і вона є перекладом з англійського видання «Farming the Black Earth», Boris Boincean, David Dent. Springer, 2019 (https://www.springer.com/gp/book/9783030225322). Автор статті не називає свою роботу рецензією, а робить приписку – «замість рецензії». І це дійсно є не лише характеристикою нової наукової публікації іноземних авторів про ґрунт, виданої в одному з найвідоміших європейських видавництв, та її перекладу, а є відгуком самого автора, його роздумами про стан і статус ґрунту в світі й ті проблеми, які так чітко окреслені у рекомендованій книзі. Головним завданням і книги, і рецензії на неї є привернути увагу суспільства до проблем ґрунту та націлити на їх розв'язання, з розумінням того, що жодне явище чи подія в природі і суспільстві не можуть виникнути, якщо вони не підготовлені попереднім розвитком інших явищ і подій.

Ключові слова:

рецензія;
чорнозем;
менеджмент ґрунту

* E-mail: y.dmytruk@chnu.edu.ua

Форма цитування: Дмитрук Ю.М. Роздуми з книгою і про книгу. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 79-81.

Замість рецензії на книгу Бориса Боінчана і Давида Дента «Землеробство на чорноземах. Адаптивний менеджмент ґрунтів» видавництва «Прут», Кишинів, 2020. Мова видання – російська; переклад з англійського видання «Farming the Black Earth», Boris Boincean, David Dent. Springer, 2019 (<https://www.springer.com/gp/book/9783030225322>).

Чому раптом мова про іншомовне закордонне видання? Адаптація агровиробництва до сучасних умов глобальних кліматичних змін потребує переоцінки парадигми сучасного землекористування і землеробства насамперед. В книзі, базуючись на багаторічному досвіді та з реальними прикладами, автори не тільки узагальнюють результати конкретного виробництва в природно-кліматичних близьких до українських умовах (науково-дослідний інститут польових культур «Селекція», Бельці, Молдова), але й доводять, що нова парадигма землеробства та й агровиробництва загалом можлива і необхідна. Або навіть необхідна та можлива.

В цьому новому баченні загалом уже відомі дії: збережувальна (conservation) система землеробства з мінімальним обробітком ґрунту й зберіганням на його поверхні рослинних решток; достатнє різноманіття сівозмін; системне керування елементами живлення з увагою не тільки до традиційного NPK, а й до Карбону – рушія всіх біогеохімічних циклів у біосфері; інтеграція землеробства і тваринництва; а ще – врахування природних особливостей місцевості з доречним поєднанням екосистем з агроекосистемами; запровадження наукових досягнень в цілях гармонії людини й природи.

Є й розуміння того, що зміни вже відбулися і що глобальний характер, наприклад, трансформації клімату, потребує не окремих заходів, а тривалої цілеспрямованої роботи з урахуванням можливостей сільського господарства, яке перше ж і реагує на кліматичні умови (в Європі вже працюють реальні ініціативи – Green deal, Circular та Bioeconomy, From-Farm-to-Fork, які дозволяють будувати низькокарбоневе кліматичне майбутнє сталого виробництва). Тому наскрізною у книзі проходить оцінка ролі Карбону і як компонента, найперше органічної речовини ґрунтів, а значить – родючості, і як елемента живлення та однієї з причин наростання концентрації парникових газів. Звісно, цілісність ґрунтам не повернути, але керувати секвестрацією Карбону – ще одна необхідність, без якої землеробство унеможливить свою сталу кліматично нейтральну перспективу.

Книга насичена як цитатами людей, відомих своїм баченням світу, так і посиланнями на наукові досягнення вчених, життя яких було присвячене ґрунтам і їхнім можливостям забезпечувати людину продовольством, не втрачаючи при цьому своєї функціональності та біосферної ролі. Причому, ці наукові життя не були марними, інакше

людство вже не мало б перспектив просто через відсутність їжі. Але час, як і здобутки в науці постають динамічнішими з трендами до прискорення, і тому населення планети матиме майбутнє, якщо тільки навчиться орієнтуватися в «інформаційному шумі», вибираючи правильні шляхи до сталого майбутнього. В цьому є велика місія книги.

Не хотілось би звертати до простого наукового аналізу (рецензії) цього видання, бо, по-перше, рецензія – це переважно суб'єктивізм, а, по-друге, для дійсно зацікавлених, залишається потреба самостійно перечитати і тільки тоді вступати в дискусію як з авторами, так і з іншими читачами. Отож, нижче є загальні міркування, звісно ж в розумних обсягах, з цією книгою в руках.

Якось у людей так, що лише коли втрачаємо, знаходимо в собі слова й силу, щоб повертати, говорити і, найважливіше, оберігати. Мова тут про ґрунт, його особливості як «четвертого царства природи», і, як не прикро, про його деградацію та цілковите зникнення, загроза якого є очевидною, якщо не буде змінено підходи до використання ґрунтів. З цих позицій, книга актуальна як для всього світу, так і для українських реалій з різних причин.

Може не в порядку їх значущості, але перелічимо аргументи. По-перше, про підтвердження незамінності та невідновлюваності ґрунтів, на що, на жаль, закривають очі більшість агровиробників. Людство не матиме сотні років часу для відродження вже не придатних для вирощування врожаїв ґрунтів, площі яких нарастають щорічно. По-друге, про традиційні системи землеробства, в яких ґрунтам відводиться роль «постачальника» родючості, і в цьому приречена необхідність аграріїв все більше вкладати в добрива, машини, пестициди для здобування прибутку тут і зараз. Причому «білка в колесі» не має шансів зійти з дистанції, бо їжа потрібна негайно і якомога дешевша, на чому власне тримається світова політика (чи назве хтось діяча, який ідучи до влади, обіцяє подорожчання продуктів харчування?). Аграрії при цьому часто є тільки виконавцями у схемі, звісно ж зі своїми інтересами. Навчання нових, по-сучасному «думаючих» агрономів також не можливе в системі, яка очікує від них прибутку та продовольства: ініціативний, націлений на адаптивний менеджмент ґрунтів вчорашній студент стане гвинтиком існуючої системи, або, як вибір – залишить її. По-третє, крім окремих країн, де ґрунти серйозно, з усіма сучасними можливостями науки вивчають, розширюючи базу даних, якими треба оперувати для розуміння цього найскладнішого біобезживного тіла та управління ним, у більшості держав, серед яких на сьогодні й Україна, відношення до ґрунту не змінюється. Воно очевидно не може змінитися, бо це відношення перекидається прибутками агрофірм, соціально-економічними проблемами та й власне байдужістю пересічної людини, яка не має часу зрозуміти, що втрачає, доки не втратить.

Демонструючи альтернативу конкретного досвіду, книга дає надію. Чому автори пишуть саме про чорноземи? Хочу допустити не тільки суто науковий підтекст, він зрозумілий апіорі. Але й тому, що чорнозем та ґрунт в очах пересічних громадян є синонімами, а ще тому, що якщо чорноземи втрачають свої функції і стають не родючими, то, очевидно, що не чорноземи (інші ґрунти) мають ще менше шансів забезпечити продовольством людину у 21 столітті та зберегтися як частина біосфери. Мова не йде про теоретичні питання генезису, еволюції, деградації ґрунтів та інших власне наукових колізій. Авторі чітко говорять про землеробство, пам'ятаючи, що 95 % продовольства для людини забезпечують суходільні системи, в основі яких ґрунтовий покрив. При цьому важливим інноваційним аспектом книги є не менеджмент землеробства як зазвичай, а ґрунтів, і менеджмент адаптивний, бо якщо зрозуміло, що маховик історії (мова про землекористування і власне сільськогосподарське виробництво) не зупиниш, то може хоча б розвернути його?

В анотаціях завжди пишуть для кого може бути необхідною ця книга. Відповідь коротка: для всіх – від президентів до, знову ж таки, пересічних громадян, для тих, хто бачить необхідність змін. Хотів би розпочати з президентів, але більше надії маю на політиків взагалі. За умови уважного прочитання саме політиками (в т.ч. радниками президентів), а також менеджерами (управлінцями) всіх рівнів від найвищого до голови об'єднаної територіальної громади, ця книга може сприяти їхньому новому баченню світу з біосферно-соціальним підходом до розуміння ґрунту. Звісно для дотичних до сільського господарства управлінців тут знайдеться чимало відкриттів як щодо простих речей («...годуй ґрунти, а не рослини...»), так і глобального (голод, клімат) характеру («...ми долаємо наслідки, а не причини...»).

Ця книга може стати настільною і керівництвом до дій суб'єктів середньої ланки агровиробництва, агронома найперше, який у вічній круговерті життя на підприємстві, загубив час для міркування над процесами в системі «ґрунт – рослина – урожай». І саме це найбільший його збиток, а не недобір урожаю та втрата цьогоорічних премій. Але найважливішою ця книга, незважаючи на її безсумнівну науковість, мала б стати для

пересічних громадян, в житті яких ніколи не було роздумів про долю ґрунту і щось змінити не може ніхто та ніщо, без надійної освіти і масового поширення знань (Отто фон Бісмарк: «...війни виграють вчителі та священники...»). Тут поєднуються як найвища надія, так і найбільша проблема: освіта має свої траєкторії, визначені програмами і спеціалізаціями, а поширення знань, не тільки важке та невдячне завдання, але й, як завжди, не дає одномоментних переваг.

Топ-менеджери в агросфері націлені на прибуток, вони уникають способів виробництва, за яких дохід стане меншим, ніж той, що вже було досягнуто. При цьому топ-менеджери намагаються не говорити про одну вельми важливу сторону виробництва: безмірно експлуатуючи ґрунти (відбираючи майбутнє вже в онуків, а не тільки в дітей), вони сьогодні не платять за екосистемні послуги, залишаючи прибутки собі та перекладаючи ці витрати на всіх інших.

На моє переконання книга вселяє оптимізм. Він у простоті та доступності пропозицій, запровадження яких вже змінило життя багатьох агрономів, фермерів і агровиробників світу. Оптимізм і у відсутності альтернативи, тому, що найпотужніший трактор чи робот, гербіцид чи добриво не зупиняють деградації ґрунтів, забруднення довкілля, глобального потепління. Ми бачимо все більше прикладів адаптивного керування сільськогосподарським виробництвом, яке не тільки нагодує людей, але й забезпечить гідне життя в гармонії з природою. Ці зміни очікують і на нас, але вони не можливі без активної підтримки громадян.

Thinking with the book and about the book

Y. Dmytruk

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

E-mail: y.dmytruk@chnu.edu.ua

You see a review of a modern scientific publication - the book by Boris Boincean and David Dent «Farming the Black Earth. Adaptive Soil Management». Prut Publishing House, Chisinau, 2020. The book is published in Russian and is a translation from the English edition «Farming the Black Earth», by Boris Boincean, David Dent. Springer, 2019 (<https://www.springer.com/gp/book/9783030225322>).

The author of the article does not call his work a review, but makes a postscript - "instead of a review." And this is really not only a characteristic of a new scientific publication by famous foreign authors about the soil, published in one of the most famous European edition and its translation, but is a response of author himself, his thoughts on the state and status of soil in the world and the problems so clearly outlined in recommended book. The main goal of both book and review is to draw public attention to soil problems and push society to their soil solution, with the understanding that no phenomenon of nature and society can't occur if it is not prepared by the previous development of other things.

Keywords: chernozem; soil management; review.

Citing: Dmytruk Y. M. 2021. Thinking with the book and about the book. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 79-81. [in Ukrainian].

З ІСТОРІЇ ІНСТИТУТУ ҐРУНТОЗНАВСТВА та АГРОХІМІЇ ON THE HISTORY of INSTITUTE for SOIL SCIENCE and AGROCHEMISTRY RESEARCH

До 100-річчя від дня народження Бориса Олексійовича Соколовського: спогади

Ю.Л. Цапко, Т.М. Лактіонова

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна
E-mail: tsapkoul@i.ua

Борис Олексійович Соколовський, син відомого вченого Олексія Никаноровича Соколовського, народився 31 березня 1920 р. Будучи військовим пенсіонером багато років працював перекладачем у науковій бібліотеці Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Його зусиллями з перекладу наукових статей з іноземних журналів і книг німецькою та англійською у бібліотеці значно розширено фонд перекладів наукових публікацій. Крім того він володів також чеською та фінською мовами.



Маємо відмітити високу перекладацьку професійність Бориса Олексійовича. У ті часи, коли ще не було комп'ютерів та Інтернету, він, перекладаючи статтю, одразу друкував текст перекладу на друкарській машинці, спрощуючи, таким чином, подальшу роботу з рукописом. Один з авторів статті згадує, що будучи тоді ще зовсім молодим дослідником, був цим здивований і, беручи приклад з Бориса Олексійовича, також навчився друкувати свої тексти, що дуже допомогло у підготовці кандидатської дисертації. Переклади статей німецьких вчених, зроблені Борисом Олексійовичем, були надзвичайно професійними і стали в нагоді багатьом науковим співробітникам і аспірантам у дослідницькій діяльності та контактуванні з зарубіжними науковцями.

Ерудиція. Навіть з першої хвилини спілкування з Борисом Олексійовичем будь-кому одразу було зрозуміло, що ця людина багато знає і охоче ділиться своїми знаннями з іншими. Говорив він лаконічно, спокійно, чітко, зрозуміло як і належить справжньому ерудиту. Він завжди брав активну участь у житті Інституту, наприклад, був одним із найкращих політінформаторів, викликаючи інтерес до своїх лекцій і повагу слухачів.

А коли співробітникам Інституту довелося виконувати завдання, пов'язані з дослідженнями, спрямованими на розробку шляхів ліквідації наслідків Чорнобильської трагедії, Борис Олексійович і сам виявляв живий інтерес і завжди докладно розпитував тих, хто повертався з експедиції, про ситуацію у зоні ЧАЕС.

Скромність. Підполковник у відставці, бойовий командир, Борис Олексійович був відзначений багатьма бойовими нагородами, але ніколи не хизувався фронтовими успіхами, хоча розказати було про що. Із особової справи Бориса Олексійовича відомо, що війну з фашистською Німеччиною він починав на бронепоезді №2 імені Хрушова, і потім воював заступником командира взводу ПВО. Далі його бойовий шлях продовжувався на різних посадах, пов'язаних з його лінгвістичними здібностями.

У 1943 році він вступив у лави КПРС, і це багато про що говорить, адже з історії відомо, що гітлерівці найжорстокіше поводитись з полоненими комуністами. З квітня до серпня 1945 року він служив у розпорядженні начальника 1-го Українського фронту, що свідчить про його знання і заслуги.

В Інституті не було секретом, що під час війни Борис Олексійович служив у розвідці, що було зрозумілим, адже він досконало знав німецьку мову. І це не було лише штабною роботою. Відомі деякі епізоди з його фронтових буднів і зокрема той, коли йому вдалося полонити «фашистського язика». Він розповів, що з юнацьких літ захоплювався спортивною боротьбою, а потім закінчив інститут фізкультури, отже був добре підготовлений фізично, що й допомогло на фронті.

Його важку фронтову роботу і бойові заслуги відзначено двома орденами Вітчизняної війни (1-го та 2-го ступеню), двома орденами Червоної зірки, а також багатьма медалями: «За боевые заслуги», «За взятие Берлина», «За освобождение Праги», «За Победу над Германией».

У спогадах про передвоєнні роки Борис Олексійович вважав, що деякі сторінки його долі були перекреслені через несправедливі гоніння (сталінські репресії) на його батька, академіка Олексія Никаноровича Соколовського. Так, після успішного закінчення першого курсу артилерійського училища (1938 р.) його звільнили за рішенням Військової ради Київського військового округу.

Коли святкували ювілей його батька, засновника нашого Інституту і відомого у світі вченого, ґрунтознавця – Олексія Никаноровича Соколовського, Борис Олексійович розповідав багато цікавого. Академік Соколовський був надто суворим вчителем, який вимагав від своїх учнів самовіддачі і самовідданості в науці. Сім'я Соколовських жила в той час на вулиці Митроносицькій, напроти Інституту, і з вікон їхньої квартири добре було видно вікна аспірантської аудиторії, де працювали аспіранти Олексій Михайлович Можейко, Олександр Маркович Грінченко, Микола Костянтинівич Крупський та інші. Так от, якщо після 20-ї години в аспірантській не «кипіла» дослідницька діяльність, то це вже розглядалося як «ЧП» і наступного дня винуватцям діставалося «на горіхи».

Борис Олексійович любляв шахи, добре знав стратегію і тактику шахматних баталій, любив красиві комбінації. Тому дуже часто приходив за пів години до початку роботи, щоб зіграти блиц-партію в шахи або повболівати за товаришів, місцем зібрання яких була кімната №23 у корпусі на вул. Чайковській. До команди шахістів входили Р.С. Трускавецький, В.Я. Ладних, М.М. Зінченко, Ю.Л. Цапко, І.А. Чернов і багато інших. Такі вранішні зустрічі об'єднували людей, налаштовували на серйозну роботу.

Отже, Борис Олексійович Соколовський запам'ятався нам, певно й усім колегам, що близько його знали і працювали поруч, як висока статна людина з доброю військовою виправкою, високої ерудиції і водночас, великої скромності і людяності.

To the 100th anniversary of the birth of Borys Oleksiyovych Sokolovsky: memoirs

Yu.L. Tsapko, T.M. Laktionova

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine
E-mail: tsapkoul@i.ua

Borys Oleksiyovych Sokolovsky, the son of the famous soil scientist Academician Oleksiy Nikanorovich Sokolovsky, was born on March 31, 1920. As a military retiree, he worked for many years as a translator in the staff of the scientific library of the National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky". Thanks to his efforts to translate books and articles in foreign journals from German and English, the library established a fund for translations of scientific publications, which were a solid support for the research activities of scientists and graduate students of the Institute.

Keywords: Borys Oleksiyovych Sokolovsky; translator; NSC ISSAR.

Citing: Tsapko Yu.L., Laktionova T.M. 2021. To the 100th anniversary of the birth of Borys Oleksiyovych Sokolovsky: memoirs. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 82-83. [in Ukrainian].