НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

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

АГРОХІМІЯ і ҐРУНТОЗНАВСТВО

МІЖВІДОМЧИЙ ТЕМАТИЧНИЙ НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

96

ХАРКІВ – 2024

Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Випуск 96. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2024. 74 с.

AGROCHEMISTRY and SOIL SCIENCE. Collected papers. No. 96. Kharkiv: NSC ISSAR, 2024. 74 p.

Збірник публікує наукові статті за результатами теоретичних, експериментальних та методичних досліджень з актуальних напрямів ґрунтознавства, агрохімії, агроекології, 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 сільськогосподарські та біологічні науки за спеціальностями: 201 – Агрономія і 091 – Біологія та включено до категорії «Б»

Мови видання: українська, англійська

***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.О. Ачасова к.б.н.; *Науково-досл. Ін-т меліорації та охорони ґрунтів (Чеська Республіка)*
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.; *ЗВО "Подільський державний університет"*
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»*
Т.Г. Лях д.с-г.н.; *Ін-т педології, агрохімії та захисту ґрунтів "Н. Дімо" (Республіка Молдова)*
М.М. Мірошниченко д.б.н. *(заст. відп. редактора); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»*
О.Ю. Найдьонова к.б.н.; *ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»*
І.Д. Пачев д.с-г.н.; *Інститут виноградарства та виноробства (Республіка Болгарія)*
Є.В. Скрильник д.с-г.н.; *ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»*
Р.С. Трускавецький 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.; *Університет Павла Йозефа Шафарика в Кошицях (Словацька Республіка)*
С.Г. Чорний д.с.-г.н.; *Чорноморський національний університет імені Петра Могили*

Склад редакційної колегії затверджено Вченою радою ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського», протокол № 7 від 05.04.2019 р. і доповнено згідно з рішенням Вченої ради, протокол № 10 від 07.06.2023 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

Вебсайт: 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»;
УРЖ «Джерело» Інституту проблем реєстрації інформації НАН України (ІПРІ);
Пошукова система і база даних наукових цитувань «Open Ukrainian Citation Index (OUCI)»;
CiteFactor; Research Bible; WorldCat; ICI World of Journals database (Index Copernicus); Directory of Research Journal Indexing (DRJI)

Рекомендовано до видання Вченою радою ННЦ ІГА, протокол № 11 від 30.07.2024 р.

ISSN 0587-2596
e-ISSN 2616-6852
DOI: https://doi.org/10.31073/acss96

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

ЗМІСТ / CONTENT

ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЬ ҐРУНТІВ В АГРОЛАНДШАФТАХ
SOIL MOISTURE SUPPLY IN AGROLANDSCAPES

Шевченко М. В., Круглов О. В., Коляда В. П., Доля С. М. , Журавель О. М.
Просторовий розподіл ґрунтової вологи навесні в схиловому агроландшафті
Shevchenko M. V., Kruglov O. V., Kolyada V. P., Dolya S. M., Zhuravel O. M. *Spatial distribution of soil moisture in spring in a slope agro-landscape* …… **4**

Зубковська В. В.
Оцінка фосфатного стану орних та перелогових ґрунтів різного ґенезису за показниками фосфат-буферності.
Zubkovska V. V. *Estimation of the phosphate state of arable and fallow soils of different genesis according to indicators of phosphate buffering …..…….. .* **12**

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ДОБРИВ
FERTILIZER QUALITY CONTROL

Мірошниченко М. М., Гладкіх Є. Ю., Ревтьє-Уварова А. В., Гетманенко В. А.
Напрями удосконалення нормативно-правової бази щодо регулювання безпечності та якості добрив в Україні
Miroshnychenko M., Hladkikh Ye., Revtye-Uvarova A., Hetmanenko V. *Directions for improving the regulatory and legal base regarding the regulation of fertilizers safety and quality in Ukraine* …….. **20**

ВІДНОВЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ
RESTORATION OF SOIL PROPERTIES

Воротинцева Л. І., Панарін Р. В.
Структурно-агрегатний склад зрошуваного чорнозему типового за використання в овочево-кормовій сівозміні
Vorotyntseva L. I., Panarin R. V*. Structural and aggregate composition of irrigated typical chernozem for use in vegetable and fodder crop rotation* …… **30**

Ревтьє-Уварова А. В.
Вплив продуктів розкладання тіла людини на ґрунт
Revtie-Uvarova A. V. *The impact of the products of human body decomposition on the soil.* …. **41**

Кателевський В. М., Цапко Ю. Л.
Міскантус – універсальна культура сьогодення
Katelevskij V. M., Tsapko Yu. L.*. Miscanthus is a universal culture today* …… **52**

ІСТОРІЯ НАУКИ
HISTORY OF SCIENCE

Кунець В. В., Лактіонова Т. М., Парасочка І. Ф.
Професор М. К. Крупський (1903–1986): життєвий шлях та головні віхи наукової творчості
Kunets V. V., Laktionova T. M., Parasochka I. F. *Professor M. K. Krupskyi (1903–1986): life path and main milestones of scientific creativity* ……... **58**

ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЬ ҐРУНТІВ В АГРОЛАНДШАФТАХ
SOIL MOISTURE SUPPLY IN AGROLANDSCAPES

УДК 631.421:57.087

Просторовий розподіл ґрунтової вологи навесні в схиловому агроландшафті

М. В. Шевченко[1a], О. В. Круглов[2*b], В. П. Коляда[2c], С. М. Доля[1d], О. М. Журавель[1e]

[1] **Державний біотехнологічний університет,** *Харків, Україна*
[2] **Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»,** *Харків, Україна*

ІНФОРМАЦІЯ

Отримано 29.02.2024
Отримано після доопрацювання 14.07.2024
Затверджено до видання 30.07.2024
Доступно онлайн 31.07.2024

Ключові слова:

волога;
ґрунт;
ерозія;
обробіток;
рельєф

АНОТАЦІЯ

Досліджено закономірності просторового розподілу ґрунтової вологи в ґрунтах ерозійно небезпечних земель для оптимізації їх використання. Такі закономірності зокрема є необхідною частиною наукового обґрунтування для впровадження у сільськогосподарську практику технології «точного землеробства» й енергозаощадження. Дослідження виконано у межах ерозійно небезпечної ділянки схилових орних земель на території Харківської області. Ґрунт – чорнозем типовий (Haplic Chernozem) важкосуглинковий. Для характеристики схилових процесів використано значення топографічного фактора провідних математичних моделей ерозії, який було обчислено як добуток параметрів крутості схилу S та довжини схилу L на цифровій карті масштабу 1 : 10 000. Дослідження показало, що вміст вологи в ґрунті навесні повністю залежить від динаміки схилових процесів. Встановлено закономірності просторового розподілу елементів родючості в ґрунтах ерозійно небезпечних земель за результатами польових досліджень та математичного моделювання. Показано, що за допомогою сучасних моделей ерозії можна прогнозувати режим польової вологості ґрунту та запасів вологи на схилових ділянках. Виявлено, що тип основного обробітку не чинить суттєвого впливу на накопичення ґрунтом вологи, рівень вологозабезпеченості чорнозему типового у найбільш важливий — посівний період залежить, перш за все, від глибини основного обробітку ґрунту. Тенденцію до підвищення умісту вологи помічено у варіанті з традиційною оранкою плугом. Отримані матеріали, результати і висновки досліджень можуть бути використані для удосконалення методик створення сучасних сталих землекористувань, наукового обґрунтування раціонального використання земель з агрономічно несприятливими властивостями у сільськогосподарському виробництві та для складання землевпорядними організаціями плану протиерозійних заходів.

* *E-mail*: alex_kruglov@ukr.net

ORCID: [a]0000-0003-4915-1435; [b]0000-0003-2663-0935; [c]0000-0003-2682-5687; [d]0009-0003-8503-8795; [e]0000-0002-9368-8187

Форма цитування: Шевченко М. В., Круглов О. В., Коляда В. П., Доля С. М. , Журавель О. М. Просторовий розподіл ґрунтової вологи навесні в схиловому агроландшафті. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІҐА ім. О. Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 96. С. 4–11. https://doi.org/10.31073/acss96-01

1. Вступ

Параметри гідрофізичних показників схилових ґрунтів вважаються визначальним фактором їх родючості [1, 2]. Насамперед це стосується ранніх весняних фаз розвитку рослин — періодів сходів та кущення [3, 4] і набуло особливої актуальності у час глобальних кліматичних змін, коли неможливо ефективно прогнозувати хронологію розподілу кліматичних складових родючості. За таких умов для інтенсифікації сільськогосподарського виробництва необхідним є підвищення результативності прогнозування щодо розподілу та перерозподілу, насамперед, вологи атмосферного походження у ландшафті (агроландшафті).

Методика такого прогнозування включає моніторингові й ландшафтознавчі етапи та порівняння продуктивності біогеоценозів [5]. Інколи ці роботи поєднуються з вивченням температурного режиму педосфери [6]. Однак такі дослідження часто виконувались у відносно грубій диференціації: змиті, незмиті та намиті відміни ґрунтів, що дислоковані на відповідних елементах схилу, тобто, без урахування форматів вимог сучасних технологій у концепції «точного землеробства». Та, навіть за такого підходу, було встановлено суттєвий рівень дисперсії значень умісту ґрунтової вологи, зумовлений ландшафтним фактором, достатній для обґрунтування проведення подальших, більш детальних досліджень [5, 6].

У класичному досліді китайських учених [7] (тривалістю 31 рік), які досліджували перерозподіл дощової вологи під впливом рельєфного чинника, використовується

градація «верхня», «середня» та «нижня» частини схилу. Було показано різницю параметрів водно-фізичних властивостей ґрунтів на різних локаціях, що й зумовлює суттєві відмінності між режимами міграції водних потоків на різних елементах схилу. Так, вищий ступінь насиченості порового простору водою притаманний елювіальним ділянкам плакору, трохи нижчий — акумулятивним частинам катени, найнижчий — середній частині схилів [7].

Ще один методичний підхід до визначення закономірностей розподілу та перерозподілу вологи у схилових ґрунтах пов'язаний з визначенням особливостей розташування еродованих земель (на зразок вирішення «зворотної» задачі геофізики). Інші дослідники [8] запропонували власну номенклатуру протиерозійного зонування території визначаючи ступінь еродованості за формою профілю схилу.

Таким чином відбувається закономірне ускладнення чисто ландшафтних методів, що може привести до підвищення точності прогнозування. Такий підхід базується на можливості прогнозувати розподіл складових, що впливають на водно-фізичні та екологічні властивості ґрунтового покриву [9], на базі яких проводиться прогноз умісту вологи в ґрунті.

На наш погляд, подальший розвиток таких досліджень має бути пов'язаним з максимальним урахуванням рельєфного чинника, що реалізується через застосування топографічних складових математичних моделей ерозії ґрунтів.

Мета даного дослідження — визначити закономірності розподілу ґрунтової вологи залежно від значень топографічного фактора моделі ерозії USLE (Universal Soil Loss Equation) на схилових землях.

2. Об'єкти та методи

Дослідження проводили на — частині землекористування Національного біотехнологічного університету (колишній ХНАУ) у межах Харківського району у Харківській області. Площа дослідної ділянки, на якій проведено дослідження становить близько 0,2 км^2, вона включає різні елементи ландшафту. На досліджуваній території, внаслідок процесів ерозії, відбувався тривалий ерозійний змив ґрунту, через що сформувався просторовий комплекс змито-намитих ґрунтів, що є типовим для еродованих схилів Лісостепу. На неєродованих вододілах залягає чорнозем типовий, як правило, важкосуглинковий. Середнє значення вмісту в ґрунті органічного вуглецю — 1,96 %, діапазон значень — 1,35–2,63 %. Мінімальні значення вмісту органічного вуглецю спостерігаються по улоговинах стоку, де ґрунт найбільш еродований. Гранулометричний склад ґрунту ділянки важкосуглинковий; pH водний, залежно від положення на схилі, — 6,52–8,52.

Відбирання проб ґрунту здійснювали за нерегулярною мережею, намагаючись охопити всі основні елементи ландшафту в межах дослідної ділянки, в шарах 0–30, 30–50 та 50–100 см з трикратним повторюванням у кожній точці відбору. Уміст вологи в пробах ґрунту визначали термостатно-ваговим методом з висушуванням у сушильній шафі при 105 ºС.

Розрахунки в рамках моделі USLE проводили за методикою, викладеною американськими дослідниками [10]. Додатково було враховано фактор опору ґрунту *K* моделі USLE, як такий, що суттєво змінюється залежно від ландшафтного розташування, значення якого розраховано на підставі власних досліджень [11].

Вихідними даними для обчислення топографічного фактора математичних моделей ерозії, як основного параметру схилових процесів, є інформація про довжину та крутість схилу [6]. Однією з найбільш розроблених технологій вважається математичне забезпечення Універсального рівняння втрат ґрунту (USLE). Вихідними даними для цього є оцифрована топографічна карта масштабу 1 : 10 000. Оцифрування карти здійснено у програмному середовищі Quantum GIS з залученням, у деяких випадках, SAGA.

Згідно з цією технологією топографічний фактор є добутком факторів крутості схилу S та довжини схилу L. На основі фактичних значень довжини схилу та його крутості на цифровій карті масштабу 1 : 10 000 було обчислено значення факторів S (формула 1) і L (формула 2):

$$S = 0{,}065 + 0{,}0454I + 0{,}006I^2 \quad , \qquad (1)$$

де I — крутість схилу, %.

$$L = \left(\frac{x}{22{,}13}\right)^m \quad , \qquad (2)$$

де x — довжина схилу, м; m — коефіцієнт, що залежить від крутості схилу:
m = 0,5 при I ≥ 5 %; m = 0,4 при 3 < I < 5 %; m = 0,3 при 1 < I < 3 %; m = 0,2 при I < 1%.

При складній формі схилу його ділять на елементарні ділянки. Тоді добуток LS набуває вигляду [12] (формула 3):

$$LS = \frac{\sum_{j=1}^{n}(x_j^{m+1}s_j - x_{j-1}^{m+1}s_j)}{22.13\,x^2}, \quad (3)$$

де S_j — фактор крутості j-ої ділянки схилу; x_j — відстань від вершини схилу до кінця j-ої ділянки схилу; x_{j-1} — відстань від вершини схилу до початку j-ої ділянки схилу; m — коефіцієнт, що залежить від крутості схилу (2).

Картограму розподілу розрахованих значень топографічного індексу (LSK) на території дослідної ділянки подано на рис.1.

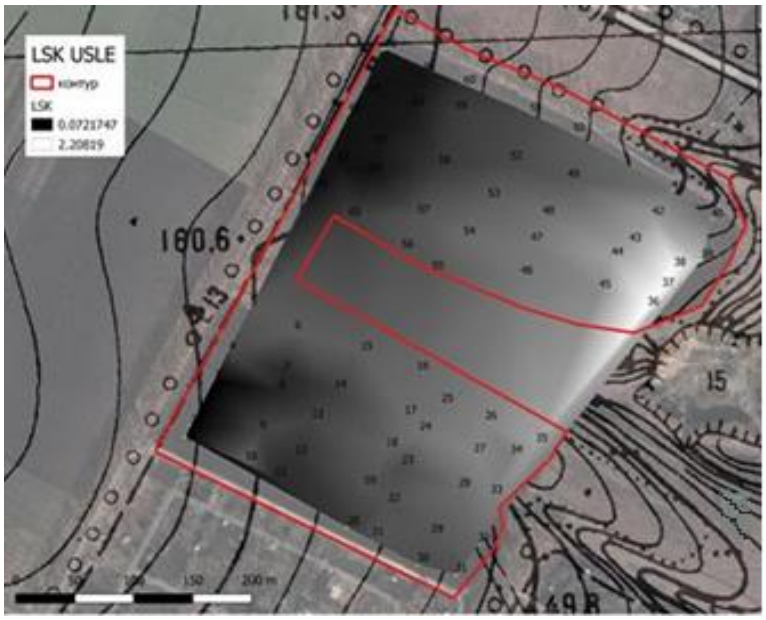


Рис. 1. *Картограма просторового розподілу значень топографічного фактора моделі USLE (LSK) на дослідній ділянці*

Вологість ґрунту визначали в шарах 0–30, 30–50 та 50–100 см з трикратним повторюванням у кожній точці відбору з наступним висушуванням у термостаті (Рис. 2).

Рис. 2. *Схема відбору проб ґрунту для визначення вмісту вологи на території дослідної ділянки*

3. Результати та їх обговорення

Основні статистичні характеристики результатів визначення умісту вологи в різних шарах ґрунту подано в таблиці 1.

Таблиця 1
Основні статистичні характеристики результатів визначення вмісту вологи у ґрунті на території дослідної ділянки (Весняний відбір)

Шар, см	Кількість точок (N)	Вміст вологи, %				
		середнє арифметичне значення	медіана	мінімум	максимум	СКВ
0–30	20	15,23	15,12	12,86	17,86	1,432
30–50	20	17,33	17,84	13,13	19,26	1,683
50–100	20	18,17	18,43	15,41	19,40	1,082

Примітка: СКВ – середньоквадратичне відхилення

Просторовий розподіл значень вмісту вологи в ґрунті характеризується низьким та середнім значеннями варіативності, яка змінюється у низхідному напрямку, тоді як значення вологості, навпаки, підвищуються.

Методами дисперсійного аналізу було оцінено зв'язок між значеннями вологості ґрунту та топографічного фактора. Результати показали середній ступінь зв’язку між досліджуваними показниками для шарів 30–50 та 50–100 см (R = 0,6) та слабкий — для шару 0–30 см (R = 0,3) (Рис. 3). Для наочності всі три графіки показано на одному координатному полі.

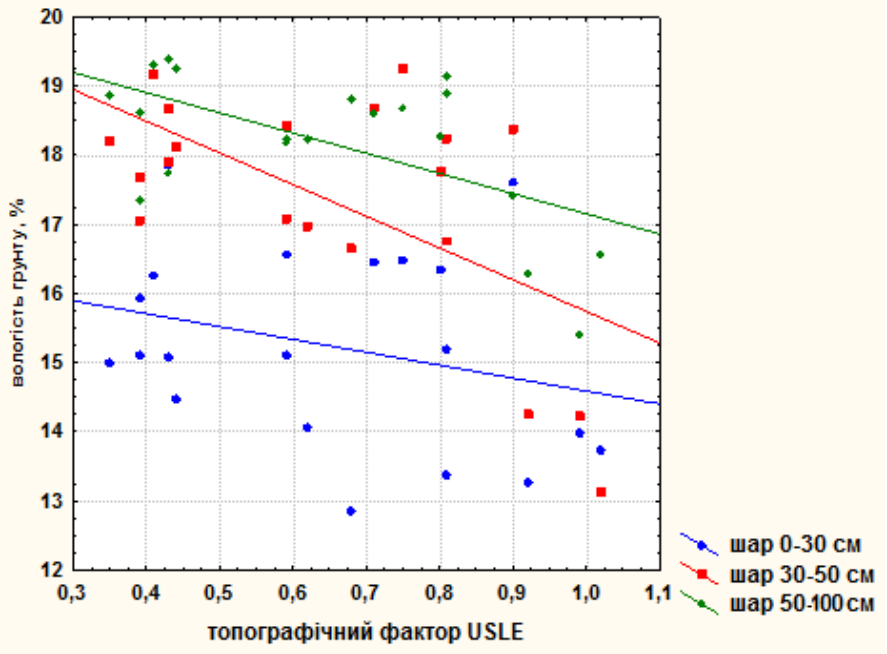


Рис. 3. *Залежність вологості ґрунту в різних шарах від значень топографічного фактора моделі USLE у точках відбору*

Результати, представлені на рис. 3, свідчать, що значення умісту ґрунтової вологи по вертикалі розподілені відповідно до загальної тенденції, описаної китайськими вченими [7]. Лінії тренду мають нахил у бік вищих значень топографічного фактора, тобто попередньо можна стверджувати, що значення умісту вологи знижуються з ростом потенційного стоку (втрат ґрунту). Варіативність значень вмісту вологи по окремих шарах становить 9,4, 9,7 та 5,9 % відповідно, тобто є відносно невисокою [13].

Більш детальні дослідження закономірностей розподілу було проведено шляхом кластерного аналізу за допомогою модуля ANOVA програми Statistica. Для цього значення керуючого фактора – а саме, топографічного фактора математичної моделі ерозії, було розбито на 4 класи (1 — ≤ 0,4; 2 — 0,4–0,6; 3 — 0,6–0,8; 4 — ≥ 0,8).

Проведеним аналізом визначено середнє арифметичне значення вологості ґрунту та середньоквадратичне відхилення (СКВ) як у межах окремих класів так і для всієї вибірки у цілому. Результати дослідження подано у таблиці 2.

Таблиця 2

Вологість ґрунту залежно від значень топографічного фактора

Клас і значення топографічного фактора	Кількість точок відбору проб (N)	Вологість ґрунту (%) у шарах (см)					
		0-30		30-50		50-100	
		середня	СКВ	середня	СКВ	середня	СКВ
1 (≤ 0,4)	3	15,35	0,51	17,65	0,57	18,28	0,82
2 (0,4–0,6)	6	15,89	1,24	18,23	0,71	18,69	0,72
3 (0,6–0,8)	4	14,97	1,80	17,89	1,27	18,59	0,24
4 (≥ 0,8)	7	14,78	1,66	16,11	2,19	17,43	1,40
—	Всього 20	15,24	1,43	17,34	1,68	18,17	1,08

Примітка: СКВ – середньоквадратичне відхилення

Як вказують дані таблиці 2, для всіх класів характерним є підвищення вологості ґрунту з глибиною. Найбільш вологими є ділянки поля зі значеннями топографічного фактора 0,4–0,6 (2 клас), найменший вміст ґрунтової вологи — на еродованих частинах поля, де значення топографічного фактора відносяться до четвертого класу. Відхилення вмісту вологи від середніх значень можуть досягати 1,2 % (абсолютних), що еквівалентно понад 10 т/га вологи в шарі 0–100 см. Слід відзначити різкий ріст варіативності значень умісту вологи на ділянках з четвертим класом значень топографічного фактора математичної моделі ерозії.

Однак безпосередньо вологість ґрунту не є його прямою агрономічною характеристикою. Більш поширеною оцінкою є перерахунок на запаси продуктивної вологи в орному шарі ґрунту та у шарі 0–100 см. У ході проведення даного дослідження було визначено вміст продуктивної вологи в орному та метровому шарах ґрунту, у пробах, відібраних навесні до посіву основної культури. Вміст продуктивної вологи визначали як різницю між фактичною польовою вологістю і гідрологічною константою «вологість стійкого в’янення». Кореляція Спірмена між умістом продуктивної вологи у дослідженому шарі ґрунту та топографічним фактором зафіксована на рівні ρ = 0,7 (Рис. 4). При цьому найбільші відхилення від передбачених значень спостерігаються у діапазоні запасів вологи 16–17 см, та, відповідно, близьких до медіанного значень топографічного фактора Універсального рівняння.

Як свідчать дані, наведені на рис. 4, у цілому підтверджується висновок китайських науковців [7] стосовно основних тенденцій розподілу вологи ґрунту у ландшафті, хоча й виникають деякі сумніви щодо коректності гомоскедастичності (незалежності дисперсії випадкових складових від номера спостереження) самої вибірки у нашому випадку. Однак тут можна розширити їх висновок з гіпсометричних відміток точок відбору на більш широке та універсальне значення топографічного фактора, застосоване для виконання даного дослідження. У цілому, можна зробити висновок, що процес накопичення ґрунтової вологи в осінньо-зимовий період може бути прогнозованим на основі параметрів схилу, які, своєю чергою, описуються за допомогою математичних моделей ерозії.

Відомо, що перерозподіл ґрунтової вологи залежить від типу основного обробітку ґрунту. На рівнинній частині ділянки досліджень було закладено польовий дослід, з метою виявлення впливу найбільш поширених типів основного обробітку на вміст вологи в ґрунті. Основні результати подано в таблиці 3. Запаси вологи на час сівби кукурудзи в середньому за три роки досліджень мало залежали від способів основного обробітку ґрунту. Однак, певні зменшення запасів у метровому шарі відбувалися у разі зменшення глибини обробітку. За нашими даними використання дискового мілкого обробітку в сівозміні і під кукурудзу безпосередньо, позначило тенденцію до зниження запасів вологи в кореневмісному шарі, але мало змінюючи їх в орному, порівняно з оранкою.

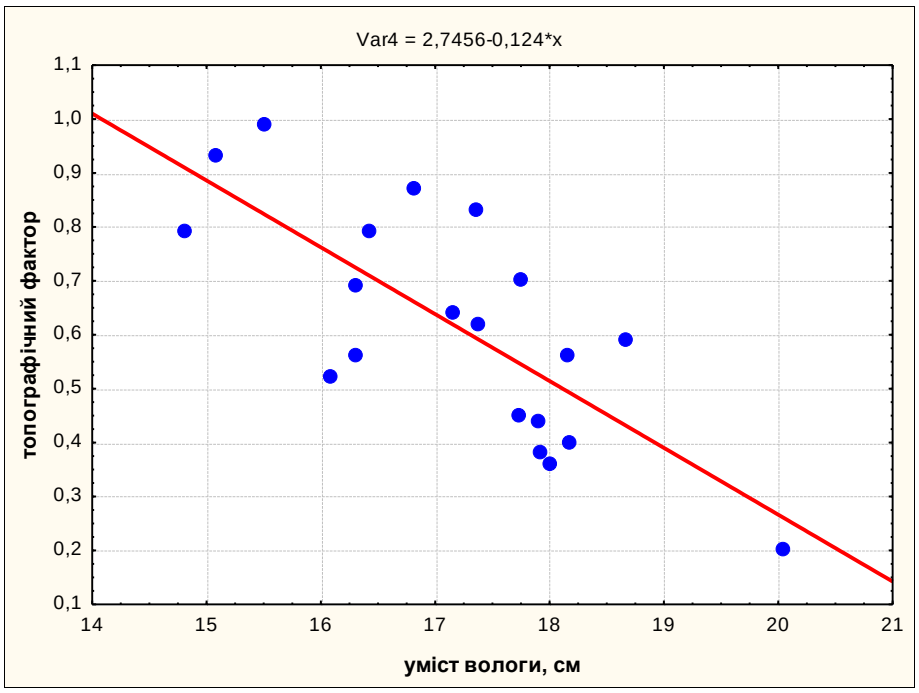


Рис. 4. *Варіограма розподілу значень запасів продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–100 см залежно від значень топографічного фактора*

Фактично вплив глибокого обробітку пристроєм розпушувальним ПРН 31 000 не відрізняється від впливу локального обробітку чизельним плугом ПЧ–2,5 на умови накопичення вологи в ґрунті за холодний період року і початок весняних польових робіт. Після таких обробітків забезпеченість вологою в метровому шарі виявилася на рівні з оранкою, зокрема, завдяки поглибленню обробітку до 33–35 см. В орному шарі (0–30 см) встановлено певну тенденцію до підвищення вмісту вологи у цих варіантах порівняно з контролем.

Таблиця 3
Запаси вологи у шарах ґрунту залежно від типу основного обробітку

Спосіб основного обробітку ґрунту, знаряддя, глибина	Шар ґрунту, см	Запаси вологи (мм) на час сівби кукурудзи за роками			
		2021	2022	2023	2021–2023
Оранка, ПЛН-4-35, 25–27 см (контроль)	0–10	24,3	25,3	27,8	25,8
	0–30	81,1	83,2	82,9	82,4
	0–100	302,0	310,0	306,0	306,0
Чизельний локальний, ПЧ-2,5, 33–35 см	0–10	25,4	26,1	26,8	26,1
	0–30	85,7	86,4	84,5	85,5
	0–100	301,0	307,0	305,0	304,0
Розпушення, ПРН-31 000 33–35 см	0–10	24,4	25,9	27,2	25,8
	0–30	85,0	85,7	83,2	84,6
	0–100	298,0	309,0	320,0	309,0
Дискування, БДМ-2,5, 10–12 см	0–10	24,8	25,6	25,2	25,2
	0–30	84,2	86,0	82,8	84,4
	0–100	292,0	300,0	298,0	297,0

На нашу думку, певні зміни умов накопичення вологи в ґрунті залежали від впливу способів обробітку на фізичні показники чорнозему типового. Мілкий обробіток дисковою бороною традиційно розпушує тільки верхній, посівний шар, а необроблений шар піддається додатковому ущільненню від тиску сільськогосподарських машин та знарядь. У результаті цього, безумовно, істотно більшою є щільність і твердість ґрунту, зокрема у необроблених шарах, що погіршує умови фільтрації вологи до глибоких горизонтів.

Безвідвальний обробіток ґрунту, порівняно з оранкою, також частково погіршує фізичний стан ґрунту. Особливо це стосується локального (смугового) обробітку, коли на полі залишаються необроблені смуги шириною 50–70 см. Однак, збільшення глибини обробітку і мінімальний вплив на створення негативного ущільнення в нижніх шарах, очевидно є позитивним явищем для накопичення вологи.

Протягом літнього періоду запаси вологи мало залежать від способів обробітку ґрунту, знижуючись у всіх варіантах незалежно від тимчасово наявних решток на поверхні після безвідвальних обробітків. Традиційно недостатня кількість опадів у цей період частково використовується рослинами або непродуктивно втрачається. Такі дані підтверджуються багаторічними результатами наших попередніх досліджень [14, 15].

4. Висновки

Встановлено достовірний статистичний зв'язок між результатами математичного моделювання водної ерозії та вмістом продуктивної вологи в шарі 0–100 см ґрунтів ерозійно небезпечних земель. Це дозволяє прогнозувати його просторовий розподіл і, на цій основі, оптимізувати набір і характеристики агрохімічних та агротехнічних заходів, пов’язаних із водоспоживанням рослин.

Вологість ґрунту у межах орного шару не можна надійно прогнозувати засобами математичного моделювання водної ерозії.

Рівень вологозабезпеченості чорнозему типового на схилах у найбільш важливий посівний період залежить, у першу чергу, від глибини основного обробітку ґрунту. Обробіток безвідвальними знаряддями може ефективно впливати на накопичення вологи в орному шарі на рівні з оранкою за умови збільшення глибини обробітку.

Підтвердження Публікація містить результати досліджень, проведених у рамках проєкту 0124U000457 «Розроблення заходів для забезпечення сталої продуктивності агрофітоценозів та впливу абіотичних і біотичних стресових факторів» та НДР 0121U108053 «Дослідження закономірностей просторового розподілу елементів родючості в ґрунтах ерозійно небезпечних земель та розроблення методичних рекомендацій для оптимізації їх використання».

Список використаних джерел

1. Медведев В. В., Лактионова Т. Н., Донцова Л. В. *Водные свойства почв Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур*. Харьков: Апостроф, 2011. 224 с. Доступно на https://issar.com.ua/shop/vodnye-svojstva-pochv-ukrainy-i-vlagoobespechennost-selskohozyajstvennyh-kultur/

2. Letey J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science.* 1958. №1. P. 277–294. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5046-3_8

3. Sabri N. S. A., Zakaria Z., Mohamad S. E., Jaafar A. B., Hara H. Importance of soil temperature for the growth of temperate crops under a tropical climate and functional role of soil microbial diversity. *Microbes Environ*. 2018. № 33. P. 144–150. https://doi.org/10.1264/jsme2.me17181

4. Wang Z., Xu W., Chen Z., Jia Z., Huang J., Wen Z., Chen Y., Xu B. Soil moisture availability at early growth stages strongly affected root growth of Bothriochloa ischaemum when mixed with Lespedeza davurica. *Frontiers in Plant Science.* 2018. № 9. 1050. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01050

5. Анциферова О. А., Самарина Е. Д. Оценка запасов продуктивной влаги под озимой пшеницей в условиях неоднородного рельефа. *Известия КГТУ*. 2018. № 50. С.127–137.

6. Tang M., Gao X., Zhang C., Zhao X., Wu P. Sloping land use affects soil moisture and temperature in the loess Hilly Region of China. *Agronomy.* 2020. № 10(6). 774. https://doi.org/10.3390/agronomy10060774

7. Wen G., Deng W., Wen F. Numerical analysis of characteristics of moisture migration in soil slope under rainfall. *Applied Mechanics and Materials.* 2014. № 501–504. P. 1927–1931. https://doi.org/10.1007/s12303-008-0039-0

8. Кузнецов М. С., Демидов В. В., Абдулханова Д. Р. Закономерности распространения смытых и намытых дерново-подзолистых почв на склонах. *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение*. 2009. № 1. С. 34–37.

9. Tonkha O., Nurek T., Kravchenko Y., et al. Spatial Heterogeneity of Soil Parameters in Different Forest-Steppe Landscapes of Ukraine. Warszawa; 2021. 118 p. https://katalogi.bn.org.pl/permalink/48OMNIS_NLOP/1aot9i7/alma991052884019205066

10. Wischmeier, W. H., Smith D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USA: United States Department of Agriculture, Agriculture. Handbook. 1978. № 537. Washington, D.C

11. Круглов О. В.. Особливості розподілу магнітної сприйнятливості чорнозему типового на схилах. *Вісник Харківського нац. аграрного ун-ту. Сер. Ґрунтознавство.* 2012. №4, С. 66-69.

12. Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. *Эрозия и охрана почв*. М.: Колосс, 2004. 352 с.

13. Лакин Г. Ф. *Биометрия*. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

14. *Сучасна система обробітку ґрунту в польових сівозмінах господарств Харківської області*. Рекомендації. За ред. Ю. В. Будьонного. Харків, 2004. 34 с.

15. Шевченко М. В. *Наукові основи систем обробітку ґрунту в умовах нестійкого та недостатнього зволоження:* Монографія. Харків: Майдан, 2019. 210 с.

UDC 631.421:57.087

Spatial distribution of soil moisture in spring in a slope agro-landscape

M. V. Shevchenko[1], O. V. Kruglov[2], V. P. Kolyada[2], S. M. Dolya[1], O. M. Zhuravel[1]

[1] **State Biotechnological University**, *Kharkiv, Ukraine*
[2] **National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky",** *Kharkiv, Ukraine*

The regularities of the spatial distribution of soil moisture in the soils of erosion-prone lands studied in order to optimize their use. Such regularities, in particular, are a necessary part of the scientific justification for the introduction of the technology of "precision farming" and energy saving into agricultural practice. The study carried out within the erosion-dangerous area of sloping arable land in the territory of the Kharkiv region. The soil is a chernozem typical heavy loamy. To characterize slope processes, the value of the topographic factor of the leading mathematical models of erosion was used, which was calculated as the product of the parameters of slope steepness S and slope length L on a digital map on a scale of 1: 10,000. The study showed that the moisture content in the soil in the spring completely depends on the dynamics of erosion processes. The regularities of the spatial distribution of fertility elements in the soils of erosion-prone lands established based on the results of field research and mathematical modeling. It shown that with the help of modern erosion models, it is possible to predict the regime of field soil moisture and moisture reserves on erosion-dangerous slope areas. It found that the type of main tillage does not have a significant effect on soil moisture accumulation, the level of moisture availability of typical chernozem in the most important period — the sowing period — depends, first, on the depth of main tillage. A tendency to increase the moisture content observed in the variant with traditional plowing with a shelf plow. The obtained materials, results and research conclusions can be used to improve the methods of creating modern sustainable land uses, scientific substantiation of the rational use of lands with agronomically unfavorable properties in agricultural production, and for the preparation of a plan of anti-erosion measures by land management organizations.

Keywords: moisture; soil; erosion; cultivation; relief

***Citing*:** Shevchenko, M. V., Kruglov, O. V., Kolyada, V. P., Dolya, S. M., & Zhuravel O. M. (2024). Spatial distribution of soil moisture in spring in a slope agro-landscape. *AgroChemistry and Soil Science,* 96, 4-11. https://doi.org/10.31073/acss96-01 [in Ukrainian]

References

1. Medvedev V. V., Laktionova T. N., & Dontsova L. V. (2011). Water properties of soils of Ukraine and moisture supply of agricultural crops. Kharkiv: Apostrophe. Available from https://issar.com.ua/shop/vodnye-svojstva-pochv-ukrainy-i-vlagoobespechennost-selskohozyajstvennyh-kultur/ [in Russian].

2. Letey, J. (1958). Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science*, 1, 277-294. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5046-3_8

3. Sabri, N. S. A., Zakaria, Z., Mohamad, S. E., Jaafar, A. B., & Hara, H. (2018). Importance of soil temperature for the growth of temperate crops under a tropical climate and functional role of soil microbial diversity. *Microbes and Environments*, 33, 144-150. https://doi.org/10.1264/jsme2.me17181

4. Wang, Z., Xu, W., Chen, Z., Jia, Z., Huang, J., Wen, Z., … Xu, B. (2018). Soil moisture availability at early growth stages strongly affected root growth of Bothriochloa ischaemum when mixed with Lespedeza davurica. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1050. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01050

5. Antsiferova, O. A., & Samarina, E. D. (2018). Estimation of productive moisture reserves under winter wheat in conditions of heterogeneous terrain. *Izvestiya KGTU*, 50, 127-137. [in Russian].

6. Tang, M., Gao, X., Zhang, C., Zhao, X., & Wu, P. (2020). Sloping land use affects soil moisture and temperature in the Loess Hilly Region of China. *Agronomy*, 10(6), 774. https://doi.org/10.3390/agronomy10060774

7. Wen, G., Deng, W., & Wen, F. (2014). Numerical analysis of characteristics of moisture migration in soil slope under rainfall. *Applied Mechanics and Materials*, 501-504, 1927-1931. https://doi.org/10.1007/s12303-008-0039-0

8. Kuznetsov, M. S., Demidov, V. V., & Abdulkhanova, D. R. (2009). Patterns of distribution of washed and washed sod-podzolic soils on slopes. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*, 1, 34-37. [in Russian].

9. Tonkha, O., Nurek, T., Kravchenko, Y., Sychevs'kyy S., Bykova, O., Menshov, O., … Glowacki, S. (2021). *Spatial Heterogeneity of Soil Parameters in Different Forest-Steppe Landscapes of Ukraine*. Warszaw: Wydawnictwo SGGW. Retrieved from https://katalogi.bn.org.pl/permalink/48OMNIS_NLOP/1aot9i7/alma991052884019205066

10. Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agriculture Handbook* No. 537. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture.

11. Kruglov, O. V. (2012). Peculiarities of distribution of magnetic susceptibility of typical chernozem on slopes. *Bulletin of the Kharkiv National Agrarian University*. Ser. Pedology, 4, 66-69. [in Ukrainian].

12. Kuznetsov, M. S., & Glazunov, H. P. (2004). *Erosion and soil protection*. M.: KolosS. [in Russian].

13. Lakin, G. F. (1990). *Biometrics.* (352 p.). M.: Higher School. [in Russian].

14. Budyonny, Yu. V. (Ed.). (2004). *Modern system of soil cultivation in field crop rotations of households in the Kharkiv region*. *Recommendations*. Kharkiv. [in Ukrainian].

15. Shevchenko, M. V. (2019). *Scientific basis of tillage systems in conditions of unstable and insufficient moisture*: monograph. Kharkiv: Maidan. [in Ukrainian].

УДК 631.413

Оцінка фосфатного стану орних та перелогових ґрунтів різного ґенезису за показниками фосфат-буферності

В. В. Зубковська

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

ІНФОРМАЦІЯ

Отримано 01.05.2024
Отримано після доопрацювання 16.07.2024
Затверджено до видання 30.07.2024
Доступно онлайн 31.07.2024

Ключові слова:

акумуляція фосфору;
ґрунт;
залізо;
мобілізація фосфору;
фосфат-буферність;
фосфатний режим

АНОТАЦІЯ

У статті висвітлено результати експериментального оцінювання фосфатного стану ґрунтів різного ґенезису та використання за показниками фосфат-буферних властивостей ґрунту та виявлення характеру впливу заліза на поведінку фосфат-іонів. Об'єктами дослідження були дерново-підзолисті ґрунти супіщані та легкосуглинкові (Sod-podzolic sandy loam and loamy soils) різного зволоження та використання Волинської області України. Застосовано методи польових, лабораторно-модельних і лабораторно-аналітичних досліджень. Польові методи полягали у морфологічному описі досліджуваних ґрунтів; лабораторно-модельні дослідження були спрямовані на вивчення поведінки фосфатів в умовах оптимального та надмірного зволоження; лабораторно-аналітичні методи застосовували для визначення в зразках ґрунту показників фосфат-буферності та вмісту фосфатів. Визначено, що в ґрунтах, у яких протікають відновні процеси, спостерігається погіршення фосфатного режиму, що підтверджується показниками фосфат-буферності. Встановлено, що внесення добрив та меліорантів відіграє значну роль у поліпшенні фосфат-буферної здатності ґрунтів, що підтверджується параметрами показника буферної ємності та коефіцієнта буферної асиметрії. Виявлено, що вміст гранулометричної фракції < 0,01 мм у ґрунті є важливим прямо дійним фактором ефективного функціонування буферних механізмів: у супіщаному ґрунті показник фактору інтенсивності, що виражається від'ємним десятковим логарифмом концентрації фосфатних іонів (pP), становить 5,3 одиниці, а в середньосуглинковому — збільшується до 5,5 одиниць. Підтверджено, що накопичення значної кількості закисного заліза за відновних умов призводить до погіршення фосфатного стану ґрунту. Експериментально встановлено, що у варіанті, де додано препарат заліза, спостерігається зменшення вмісту рухомих форм фосфору з 37,97 до 24,23 мг/кг згідно з рівнем зволоженості ґрунту, підтримуваним упродовж компостування.

E-mail: v.zubkovskya@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8124-8635

Форма цитування: Зубковська В. В. Оцінка фосфатного стану орних та перелогових ґрунтів різного ґенезису за показниками фосфат-буферності. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІҐА ім. О.Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 96. С. 12–19. https://doi.org/10.31073/acss96-02

1. Вступ

Фосфор є необхідним елементом, який регулює глобальне сільськогосподарське виробництво та є одним із сімнадцяти основних поживних речовин, які відіграють важливу роль у живленні рослин та другим за вагомістю макроелементом (після азоту), дефіцит якого обмежує розвиток сільськогосподарських культур [1, 2]. Цей елемент входить до складу орто- і пірофосфорних кислот, а також є складовою нуклеотидів, фосфопротеїдів, фосфоліпідів, фосфорних ефірів, вуглеводів, багатьох коферментів та інших органічних сполук [3–6]. Незважаючи на його важливість для росту та розвитку рослин, фосфор є найменш доступним макроелементом живлення, тому найчастіше стає дефіцитною поживною речовиною у більшості ґрунтів через його низьку доступність.

Зростаючий дефіцит мінеральної сировини для виробництва фосфорних добрив і їх постійне подорожчання змушують шукати нові шляхи оптимізації фосфатного стану ґрунтів. До альтернативних підходів відносяться заходи, спрямовані на максимальне посилення мобілізації внутрішньоґрунтових фосфатних резервів і активне залучення їх до біологічного кругообігу, а також усунення чинників, що обмежують ефективне використання рослинами фосфору ґрунту і внесених добрив. За сучасними дослідженнями глобальні запаси фосфору виснажуються більш високими темпами, і за деякими оцінками, запаси фосфору в ґрунті зникнуть уже до 2050 року [3, 7].

Таким чином, оптимізація фосфорного живлення рослин є одним із найважливіших питань сільськогосподарського виробництва, враховуючи, що, за оцінками ФАО [8], до 2050 року світове виробництво продовольства повинно збільшитись на 70 % через приріст населення у світі на 2,3 млрд осіб. Якщо продуктивність сільськогосподарських земель залишиться на нинішньому рівні, то виникне необхідність у додатковому розширенні площ під сільськогосподарське виробництво. Щонайменше до 2030 року потрібно буде вводити

в сільськогосподарське використання не менше 6 млн гектарів на рік. Крім того, приблизно 80 % доходів від сільського господарства необхідно буде інвестувати у розвиток нових агротехнологій.

Розуміння закономірностей антропогенного (культурного) ґрунтотворного процесу є важливим для передбачення змін, корегування та планування заходів з підвищення ефективної родючості ґрунту.

До найбільш важливих внутрішньоґрунтових факторів, що впливають на фосфатний стан та його динаміку, відносяться параметри кислотно-основної та окисно-відновної рівноваги, насиченості ґрунту основами та півтораоксидами, вмісту гранулометричних фракцій і органо-мінеральних комплексів та рівня біохімічної активності ґрунту. Зазвичай параметри всіх названих показників є генетично зумовленими та характерними для кожного окремого різновиду ґрунтів. Вони відносно постійні, але можуть змінюватися під впливом культури землеробства, кліматичних умов, особливо аномальних, та інших зовнішніх факторів. Крім вищезазначених факторів рівень гідроморфізму (перезволоженості) ґрунту слід вважати одним з найбільш вагомих і ключових, що зумовлюють характер поведінки фосфору у ґрунті та функціонування фосфатного режиму. Саме в умовах перезволоження та розвитку глеєвих процесів відбувається вивільнення заліза з твердої фази ґрунту (знезалізнення) та перехід його в рухомі форми, які здатні зв'язувати фосфат-іони. У той же час, у процесі оглеєння підвищується рухомість алюмінію, який також може утворювати складні сполуки з фосфатами [5, 9–11].

Ґрунти з підвищеною кислотністю та різним рівнем гідроморфізму в Україні найбільш поширені у зоні Полісся, Західному Лісостепу, буроземній області Карпат, а також у заплавах річок у всіх природних зонах. Як відомо, основними ґрунтовими різновидами у перелічених регіонах є дерново-підзолисті, сірі лісові та опідзолені ґрунти. Ці ґрунти формуються у відносно сприятливих кліматичних умовах, але потужними дестабілізувальними факторами для них є, по-перше, надмірна кількість опадів, що зумовлює їх перезволоження, а по-друге, генетично властиві їм недостатньо сприятливі агроекологічні характеристики.

Оглеєність ґрунтів проявляється в умовах поверхневого або підґрунтового типів зволоження, що призводить до (1) оглеєння частини або всього ґрунтового профілю та його диференціації, як правило, за елювіально-ілювіальним типом; (2) сегрегації типоморфних сполук та елементів з виникненням конкреційних новоутворень; (3) торфонакопичення. Про оглеєння ґрунту також судять за наявністю в його профілі іржавих ортзандових і ортштейнових прошарків, за візуально чітко вираженими ознаками забарвлення ґрунтової маси у сизуватих, сизувато-зелених, сизих та інших «холодних» відтінках кольорів. Слід зауважити, що точних кількісних визначень ступеня оглеєності різних за генетичною будовою ґрунтів поки що немає, як і однозначного тлумачення самої природи глею. Натомість, закономірності перебігу відновлювальних (глеєвих) процесів та їх роль у ґрунтоутворенні та профільній диференціації ґрунтів вивчені досить докладно [12, 13]. Рівень оглеєності ґрунту дослідники пропонують встановлювати як візуально — під час морфо-генетичного опису ґрунтового профілю, так і параметрично — за співвідношенням вмісту заліза і марганцю в конкреційних утвореннях [12, 14], за показниками окисно-відновного потенціалу (ОВП), що визначаються в природних умовах [15], за часткою закисних форм заліза, що приходиться на одиницю фізичної глини [16] і за рівнем залягання підґрунтових вод та тривалості періоду перенасиченості кореневмісного шару ґрунту вологою (вище найменшої польової вологоємності) [17].

Формування поживного режиму ґрунту та його агрономічних характеристик багато в чому залежить від буферної здатності, яка зумовлює здатність твердої частини ґрунту поглинати поживні елементи (іммобілізація, адсорбція) та навпаки, поповнювати ними ґрунтовий розчин (мобілізація, десорбція), що забезпечує їх доступність для рослин. Останнім часом у науковій літературі буферним властивостям ґрунту надається пріоритетне значення у діагностиці його поживного режиму [9, 10, 18-20].

В даний час існує цілий ряд методів визначення вмісту фосфатів у ґрунті, заснованих переважно на застосуванні хімічних екстрагентів — нейтральних солей, кислот та лугів. Так, найпоширенішими методиками визначення вмісту рухомого фосфору в ґрунтах є методи Троуга, Кірсанова, Чирикова, Мачигіна, Гінзбург, Карпінського-Зам'ятиної, Скофілда та інші. На кислих і слабо кислих ґрунтах використовують кислотні витяжки та різні буферні суміші з вихідним pH 1–5, а на карбонатних ґрунтах — буферні суміші та лужні витяжки з pH 8,5–9,0. Загальним недоліком відомих способів визначення фосфатного стану є те, що всі вони базуються на результатах діагностування винятково параметрів вмісту доступних для рослин фосфатів (з використанням різних екстрагентів),

без урахування здатності ґрунту відновлювати цей вміст за рахунок прихованих (потенційних) запасів фосфору в ґрунтовій масі.

Фосфатний стан ґрунту об'єктивно діагностується за показниками фосфат-буферної ємності ґрунту, якими описуються закономірності перебігу процесів мобілізації-іммобілізації фосфору в ґрунті та кінетика його вивільнення з твердої фази. Фосфатна буферна здатність ґрунту показує, наскільки його поглинальний комплекс, що включає механічну, фізичну, хімічну, фізико-хімічну, біохімічну, біологічну, літологічну поглинальну ємність, здатний насичуватися фосфором в умовах зростаючих доз добрив і, навпаки, підтримувати його концентрацію у ґрунтовому розчині на оптимальному рівні компенсуючи частину вжитих рослинами фосфатних іонів.

Мета роботи — оцінити фосфатний стан ґрунтів різного ґенезису та типу використання на основі показників фосфат-буферних властивостей ґрунту та встановити вплив внесеного в ґрунт заліза на поведінку фосфат-іонів.

2. Об’єкти (матеріали) і методи досліджень

Для проведення досліджень відібрано зразки з верхнього генетичного горизонту (шар 0–20 см) дерново-підзолистого супіщаного ґрунту у межах Копаївської осушувальної системи (с. Пища, Шацький район, Волинська область) та дерново-підзолистого середньосуглинкового ґрунту на території Колківського вищого професійного училища (смт Колки, Маневицький район, Волинська область). За типом господарського використання: неоглеєний (переліг); оглеєний осушений; інтенсивного використання (рілля).

Для порівняння ґрунтових характеристик відібрано зразки чорнозему опідзоленого важкосуглинкового (ДП ДГ «Граківське», Харківський район, Харківська область).

Для встановлення фосфат-акумуляційної здатності заліза щодо фосфору за різних умов зволоження (оптимальне зволоження та перезволоження) проведено модельний лабораторний дослід. Для експерименту взято ґрунтову масу з верхнього гумусового горизонту дерново-підзолистого легкосуглинкового ґрунту. Доза внесеного заліза (гідроокис заліза FeO) у перерахунку на масу ґрунту в посудині становить 80 мг/100 г ґрунту. Як фосфорне добриво використовували дигідрофосфат калію (KH_2PO_4), доза якого в перерахунку на масу ґрунту становить 10 мг/100 г ґрунту.

Схема досліду включає чотири варіанти: 1. Без добрив; 2. KH_2PO_4; 3. FeO; 4. FeO + KH_2PO_4; на двох рівнях зволоження ґрунтової маси протягом періоду компостування: I — оптимальне зволоження (65 % від повної вологоємності)): II — перезволоження (100 % від повної вологоємності). Склянки містили по 0,2 кг сухого ґрунту. Для посилення анаеробної мікробіологічної діяльності до ґрунтової маси у всі склянки додали чисту глюкозу (по 5 г). Компостування проведено протягом восьми місяців за постійної температури 20–25 °С.

Відбирання проб ґрунту (у шарі 0–20 см), визначення параметрів фосфат-буферності та вмісту рухомих сполук заліза виконано на підставі відповідних нормативних документів, а саме: відбирання проб ґрунту — згідно з ДСТУ 4287:2004[1]; показники фосфат-буферної здатності ґрунту — згідно з ДСТУ 4724:2007[2] та вміст рухомих сполук фосфору — згідно з ДСТУ ДСТУ 4405:2005[3].

3. Результати й обговорення

3.1. Особливості *функціонування фосфат-буферних механізмів у дерново-підзолистих ґрунтах різної ґенези та використання*

Оцінювання фосфат-буферних властивостей ґрунту виконано за допомогою трьох показників фосфат-буферної здатності, а саме: (1) показник pP (від’ємний десятковий логарифм активності фосфору), який характеризує стан рухомого фосфору на момент визначання, при цьому чим більшим є числове значення, тим нижче концентрація рухомого фосфору в ґрунті; (2) буферна ємність ґрунту (БЄ), що характеризує обсяг дії фактору, щодо якого проявляється буферна здатність ґрунту. Вона визначається в акумуляційному (БЄ ак.) та в мобілізаційному (БЄ моб.) інтервалах кривої буферності (у балах); (3) коефіцієнт буферної асиметрії (КБА) визначається рівнянням КБА = БЄ ак. –

[1] ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с.
[2] ДСТУ 4724:2007. Якість ґрунту. Визначання фосфат-буферності ґрунту. [Чинний від 2008-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 13 с.
[3] ДСТУ 4405:2005. Якість ґрунту. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського. [Чинний від 2006-01-07]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 9 с.

БЄ моб. / БЄ ак. + БЄ моб. — співвідношення між додатними і від'ємними значеннями на кривій буферності. Коефіцієнт характеризує рівень перебігу різнонаправлених процесів — акумулятивної або мобілізувальної здатності ґрунту стосовно елемента родючості. Якщо значення КБА наближається до одиниці, то фосфор у такому ґрунті майже повністю акумульований твердою фазою і, навпаки, наближення КБА до нуля свідчить про мобілізацію фосфатів та підвищену рухомість.

У проведених дослідженнях з вивчення фосфат-буферних властивостей ґрунтів різного генезису на основі показників фосфат-буферності (Табл. 1) встановлено, що у всіх досліджених ґрунтах процес акумуляції фосфатів переважає над процесом мобілізації, підтвердженням чого є більш високі параметри буферної ємності в акумуляційному інтервалі (БЄ ак.).

Таблиця 1

Оцінні показники фосфат-буферної здатності ґрунтів різної ґенези

Ґрунт	pH_{H_2O}	pP	Буферна ємність, бали		КБА
			акумуляційний інтервал (БЄ ак.)	мобілізаційний інтервал (БЄ моб.)	
Дерново-підзолистий неоглеєний супіщаний (переліг)	4,3	5,2	3,8	0,22	0,88
Дерново-підзолистий оглеєний супіщаний осушений	5,8	5,6	7,2	0,06	0,98
Дерново-підзолистий середньосуглинковий (переліг)	4,7	5,6	6,7	0,11	0,97
Дерново-підзолистий глейовий середньосуглинковий осушений	6,0	5,8	8,2	0,04	0,99
Чорнозем опідзолений важкосуглинковий	5,9	5,2	15,6	0,98	0,88

Примітка: pP – від'ємний десятковий логарифм активності фосфору; КБА – коефіцієнт буферної асиметрії

Слід зазначити, що в перелоговому дерново-підзолистому супіщаному ґрунті зафіксовано досить високе значення показника буферної ємності в мобілізаційному інтервалі порівняно з іншими ґрунтами, але все ж таки менше значень у чорноземі опідзоленому (0,22 і 0,98 балів відповідно). Слід відмітити, що чим вище значення показника БЄ моб., тим більше ґрунт здатен забезпечити рослини доступним фосфором. На наш погляд, це може свідчити про більш високу мікробіологічну активність перелогового ґрунту, що призводить до збільшення у ґрунтовому розчині лабільних фосфатних іонів та, в цілому, поліпшення фосфатної функції. Вищесказане підтверджується і значенням коефіцієнту буферної асиметрії (КБА), яке для обох ґрунтів (дерново-підзолистого супіщаного і чорнозему опідзоленого важкосуглинкового) становить 0,88, що свідчить про їхню високу фосфат-мобілізаційну здатність.

У чорноземі опідзоленому спостерігається не лише значна здатність щодо мобілізації фосфатів (значення Бє у мобілізаційному інтервалі), але й висока накопичувальна здатність (в акумуляційному інтервалі), що характеризує спроможність ґрунту забезпечувати досить високий потенціал фосфатного живлення рослин. Показники фосфат-буферної здатності інших досліджених ґрунтів свідчать про їх низьку мобілізувальну здатність щодо фосфору.

У цих ґрунтах фосфатна функція працює переважно у бік акумуляції фосфору, про це свідчать як досить низькі параметри буферної ємності в мобілізаційному інтервалі навантажень, так і коефіцієнти буферної асиметрії. Останні переважно наближаються до одиниці, вказуючи на низький рівень рухомості фосфатів у ґрунті.

Найнижчу рухомість фосфору за показниками фосфат-буферності зафіксовано на оглеєних різновидах дерново-підзолистих ґрунтів. Про це свідчить показник pP у вихідній точці, значення якого становить, відповідно, 5,6 одиниць у супіщаному та 5,8 одиниць у середньосуглинковому ґрунтах. Здобуті дані щодо рухомості фосфатів підтверджуються і значенням коефіцієнта буферної асиметрії, яке наближається до одиниці, що свідчить про переважання процесів іммобілізації фосфору в оглеєних дерново-підзолистих ґрунтах. На наш погляд, такі зміни відбуваються в результаті прояву відновлювальних процесів у цих ґрунтах, за рахунок чого підвищується кількість рухомих форм заліза та алюмінію, які взаємодіють із фосфатними сполуками, утворюючи міцно пов'язані сполуки залізо- та алюмофосфатів.

Про посилення мобілізаційних процесів у дерново-підзолистому супіщаному ґрунті перелогу щодо фосфат-іонів свідчить параметр pP, рівний 5,2 одиниць і досить низький коефіцієнт буферної асиметрії (0,88) порівняно із середньосуглинковим ґрунтом перелогу, показники якого становлять відповідно 5,6 та 0,97. Аналогічні зміни концентрації фосфат-іонів відзначаються і в оглеєних ґрунтах, а саме, велика рухомість фосфат-іонів у супіщаних ґрунтах та зменшення у середньосуглинкових. Слід зазначити, що ґрунти, у яких протікають процеси гідроморфізму (оглеєння), відрізняються збільшенням акумуляційної здатності щодо фосфору, про що свідчить показник буферної ємності в акумуляційному (іммобілізаційному) інтервалі порівняно з неоглеєними ґрунтовими різновидами. Таку тенденцію можна пояснити зміною характеристик якості органічної частини ґрунту та наявністю активних форм сполук заліза та алюмінію, що зв'язують фосфат-іони.

Ефективне функціонування фосфат-буферної здатності ґрунтів забезпечується відповідними буферними механізмами, які багато в чому залежать від вмісту тонких гранулометричних фракцій, насамперед, мулистої (у складі фізичної глини), а також від характеру їх використання, тобто інтенсивності антропогенного навантаження. Результати показують, що інтенсивне використання ґрунту (у ріллі) призводить до зміни характеру взаємодії фосфору добрив з ґрунтовою твердою фазою та біотою, в результаті чого формується певний фосфатний режим (Табл. 2).

Таблиця 2
Показники фосфат-буферності дерново-підзолистих окультурених інтенсивно використовуваних ґрунтів різного гранулометричного складу

Гранулометричний склад (вміст фракції < 0,01 мм)	pH_{H2O}	pP	Буферна ємність		КБА
			акумуляційний інтервал (БЄ ак.)	мобілізаційний інтервал (БЄ моб.)	
Супіщаний (13,2 %)	6,7	5,3	6,28	0,31	0,90
Середньосуглинковий (30,0 %)	6,8	5,5	7,09	0,21	0,94

Примітка: pP – від'ємний десятковий логарифм активності фосфору; КБА – коефіцієнт буферної асиметрії

Отримані нами результати (Табл. 2) свідчать про те, що і за умов інтенсивного використання ґрунту гранулометричний склад відіграє ключову роль у формуванні фосфатного стану дерново-підзолистих ґрунтів. Але ж слід зазначити, що ґрунт з більш легким гранулометричним складом має вищу рухомість фосфат-іонів, порівняно з ґрунтом із більшим умістом фізичної глини, що підтверджується параметрами буферної ємності та коефіцієнтом буферної асиметрії.

На наш погляд, менша рухомість фосфат-іонів у дерново-підзолистих середньосуглинкових ґрунтах зумовлена саме переважанням у гранулометричному складі вмісту фракції < 0,01 мм (фізичної глини). Аналогічну закономірність впливу генетичної природи ґрунту на рівень фосфору в ґрунтах України встановлено і для інших ґрунтів [21], у яких також було відзначено вплив гранулометричного складу на утримання рухомих форм фосфору. За даними дослідження, ще раз підтверджено суттєвий вплив вмісту фізичної глини на функціонування фосфатної здатності ґрунту, тобто здатності забезпечувати рослини доступними фосфатами. Отже, можна стверджувати, що гранулометричний склад ґрунту є одним із важливих факторів ефективного функціонування буферних механізмів ґрунту щодо фосфору, поряд із лужно-земельними катіонами, півтораоксидами та гумусом.

3.2. Вплив заліза на акумуляцію фосфатних іонів у дерново-підзолистих ґрунтах за умов різного зволоження

Залізо та його сполуки є обов'язковим компонентом хімічного складу всіх ґрунтових різновидів, але саме для гідроморфних та напівгідроморфних ґрунтів цей елемент виступає типоморфним елементом, який відіграє важливу роль у формуванні їх властивостей та рівня родючості. У разі контрастної зміни відновних і окисних умов у ґрунті, які знаходяться в постійній динамічній рівновазі залежно від зміни чинників ґрунтоутворення, відбувається перегрупування пулу заліза, а саме — зміна співвідношення вмісту закисних (Fe^{2+}) та окисних (Fe^{3+}) сполук заліза. Так, при відновних умовах у ґрунті, що з'являються при значеннях окисно-відновного потенціалу (ОВП) менше 200 мВ, утворюються закисні форми заліза, які є реакційно активними та здатними

до фіксування фосфатних та інших аніонів. Залізо утворює з ними та гумусовими кислотами складні органо-мінеральні комплекси тим самим погіршуючи трофний режим ґрунту. Це підтверджується раніше проведеними нами дослідженнями у дерново-підзолистому легкосуглинковому ґрунті [22], де було виявлено збільшення вмісту закисних форм заліза за умов перезволоження до 97 мг/100 г ґрунту, порівняно з контролем, де вміст становив 3 мг/100 г ґрунту.

Для встановлення характеру впливу заліза на акумуляцію фосфатних іонів було проведено лабораторно-модельне дослідження зі зразками дерново-підзолистого легкосуглинкового ґрунту. З даних на рисунку можна констатувати пріоритетну роль сполук заліза в акумуляції фосфатних іонів.

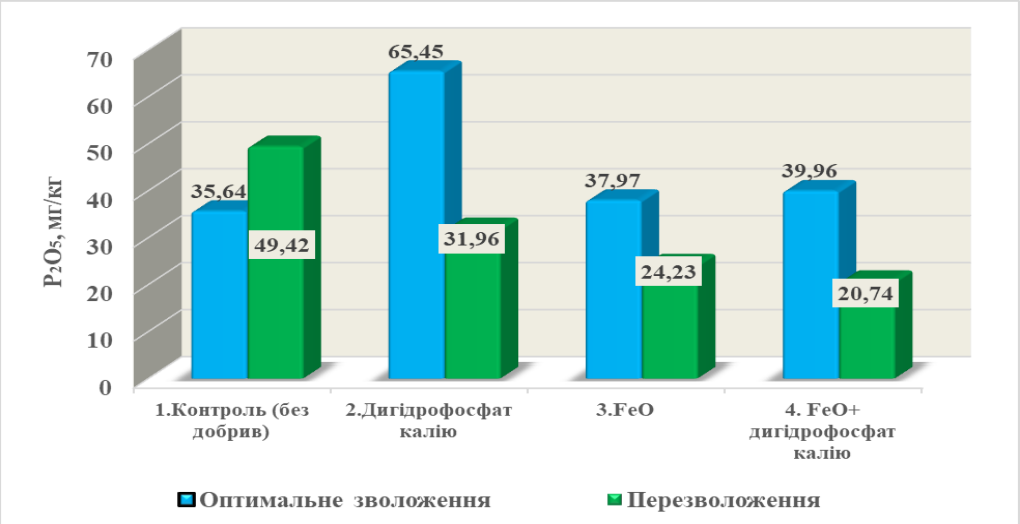


Рис. *Вплив заліза та рівня зволоження на вміст рухомого фосфору (P_2O_5) у дерново-підзолистому легкосуглинковому ґрунті*

На підставі експериментально здобутих даних, відображених на діаграмі, чітко простежується тенденція до зменшення кількості рухомих форм фосфору в умовах перезволоження у варіантах з додатковим внесенням заліза порівняно з варіантами, де його не вносили. Так, у варіанті, де додано препарат заліза без внесення KH_2PO_4, спостерігається зменшення вмісту рухомих форм фосфору з 37,97 до 24,23 мг/кг ґрунту через посилення зволоженості ґрунту впродовж часу компостування. Аналогічна ситуація і у варіанті з додаванням дигідрофосфату калію (KH_2PO_4). Слід зазначити, що навіть при оптимальному зволоженні ґрунту у варіанті із внесенням заліза (FeO) та фосфору відзначається зменшення кількості фосфатних іонів.

Отже, підсумовуючи, можна стверджувати, що за умов перезволоження погіршення фосфатного стану ґрунтів відбувається за рахунок накопичення значної кількості закисного заліза, яке акумулює фосфатні іони та може утворювати важкорозчинні залізо-фосфатні сполуки, знижуючи, таким чином, вміст рухомого фосфору в ґрунті.

4. Висновки

Підтверджено, що в ґрунтах, у яких протікають відновлювальні процеси, спостерігається погіршення фосфатного режиму, що підтверджується показниками фосфат-буферності.

Експериментально встановлено, що у разі додавання до ґрунту заліза, спостерігається тенденція до зменшення вмісту рухомих форм фосфору з 37,97 до 24,23 мг/кг згідно з рівнем зволоженості ґрунту, підтримуваним під час компостування.

Виявлено, що важливим фактором ефективного функціонування буферних механізмів є вміст фізичної глини у ґрунті. У дослідженнях чітко спостерігалася відмінність параметрів показників фосфат-буферності в ґрунтах з різним гранулометричним складом: у супіщаному ґрунті значення фактору інтенсивності, що виражається негативним десятковим логарифмом концентрації фосфатних іонів (pP), становить 5,3 одиниці, а в середньосуглинковому ґрунті — 5,5 одиниць.

Список використаної літератури

1. Du E., Terrer C., Pellegrini A. F. A., Ahlström A., Lissa C. J., Zhao X., Jackson R. B. Global patterns of terrestrial nitrogen and phosphorus limitation *Nature Geoscience*. 2020. 13. P. 221-226. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0530-4.

2. Tiecher T., Fontoura S. M. V., Ambrosini V. G., Araújo E. A., Alves L. A., Bayer C., Gatiboni L. C. Soil phosphorus forms and fertilizer use efficiency are affected by tillage and soil acidity management. *Geoderma*. 2023. 435. P. 1-15. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116495

3. Vance C. P., Uhde-Stone C., Allan D. Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing non-renewable resources. *New Phytologist*. 2003. 157(93). P. 423-447. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x

4. Abel S., Ticconi C. A., Delatorre C. A. Delatorre Phosphate sensing in higher plants. *Physiol Plant*. 2002. 115(1). P. 1-8. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150101.x

5. Носко Б. С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків: ФОП Бровін, 2017. 476 с.

6. Batten G. D. A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant and soil*. 1992. 146. P. 163-168. https://doi.org/10.1007/BF00012009

7. Cordell D., Rosemarin A., Schroder J. J., & Smit A. L. Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere*. 2011. 84. P. 747-758. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.032

8. FAO. Case studies on policies and strategies for sustainable soil fertility and fertilizer management in South Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations regional office for Asia and the Pacific. Bangkok, 2011. URL: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i2308e

9. Трускавецький Р. С. Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції. Харків, 2003. 228 с.

10. Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л. Основи управління родючістю ґрунтів: монографія / за наук. ред. Р. С. Трускавецького. Харків: ФОП Бровін О.В., 2016. 388 с.

11. Balemi T., Negisho K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2012. 12(3). P. 547-562. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000015

12. Зайдельман Ф. Р. Морфоглеегенез, его визуальная и аналитическая диагностика. *Почвоведение*. 2004. № 4. С.389−398.

13. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. *Ґрунтознавство*. Чернівці: Книги – ХХІ, 2008. 400 с.

14. Канивец В. И. О буроземах и дерново-подзолистых почвах. *Почвоведение*. 1978. № 5. С. 150-159.

15. Кауричев И. С., Савич В. И. Генетическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв. *Почвенные режимы и их экологическая оценка*. 2003. С. 87-115.

16. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

17. *Підвищення родючості та охорона осушених земель* / за ред. Б. С. Прістера, Р. С. Трускавецького, М. М. Мостового. Київ: Урожай, 1993. 134 с.

18. Ehlert P., Morel C., Fotyma M., Destain J.-P. Potential role of phosphate buffering capacity of soils in fertilizer management strategies fitted to environmental goals. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 2003. 166(4). 409-415. **https://doi.org/10.1002/jpln.200321182**

19. Helfenstein J., Jegminat J., McLaren T. I., & Frossard E. Soil solution phosphorus turnover: derivation, interpretation, and insights from a global compilation of isotope exchange kinetic studies. *Biogeosciences*. 2018. 15(1). 105-114. https://doi.org/10.5194/bg-15-105-2018

20. Mumbach G. L., Gatiboni L. C., Dall'Orsoletta D. J., Schmitt D. E., Grando D.L., de Souza A. A., … Iochims D. A. Refining phosphorus fertilizer recommendations based on buffering capacity of soils from southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2021. 45:e0200113. doi: 10.36783/18069657rbcs20200113

21. Ковалець Ю. М., Позняк С. П. *Агрогенна трансформація ґрунтів легкого гранулометричного складу Західного Полісся України*. Львів: Український бестселер, 2010. 220 с.

22. Зубковська В. В. Трансформація фосфатів у кислих ґрунтах за різних режимів зволоження. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. № 82. С. 97-100. URL: https://agrochemsoilsci.org/index.php/journal/issue/view/14/12

UDC 631.413

Estimation of the phosphate state of arable and fallow soils of different genesis according to indicators of phosphate buffering

V. V. Zubkovska

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

The purpose of the article is to highlight the results of the experimental assessment of the phosphate state of soils of different genesis and the use of phosphate-buffering properties of the soil as indicators, and to identify the nature of the effect of iron on the behavior of phosphate ions. Sod-podzolic sandy loam and loamy soils with different moisture levels and different uses were the objects of the study. The place of research is the Volyn region of Ukraine. The methods of field, laboratory-model and laboratory-analytical studies are applied. Morphological characteristics of soils investigated in field conditions; laboratory-model studies were aimed at studying the behavior of phosphates under conditions of optimal and excessive moisture; laboratory-analytical methods were used to determine phosphate-buffering indicators and phosphate content in soil samples. It was determined that in soils in which regeneration processes are taking place, there is a deterioration of the phosphate regime, which is confirmed by indicators of phosphate buffering. It established that the application of fertilizers and meliorants contributes to the improvement of the phosphate-buffering capacity of soils, which is

confirmed by the parameters of the buffer capacity and the coefficient of buffer asymmetry. It was found that the content of the granulometric fraction < 0.01 mm in the soil is an important factor in the effective functioning of buffer mechanisms: in sandy soil, the intensity factor, expressed as the negative decimal logarithm of the concentration of phosphate ions (pP), is 5.3 units, and in medium loam — 5.5 units. It has been confirmed that the accumulation of a significant amount of oxidized iron under reducing conditions leads to the deterioration of the phosphate state of the soil. It was experimentally established that in the version where iron is added, a decrease in the content of mobile forms of phosphorus is observed from 37.97 to 24.23 mg/kg according to the level of soil moisture maintained during composting.

Keywords: soils, phosphate regime, phosphate-buffering, fertility, phosphorus accumulation, phosphorus mobilization, iron.

***Citing*:** Zubkovska, V. V. (2024). Estimation of the phosphate state of arable and fallow soils of different genesis according to indicators of phosphate buffering. *AgroChemistry and Soil Science,* 96, 12–19. https://doi.org/10.31073/acss96-02 [in Ukrainian].

References

1. Du, E., Terrer, C., Pellegrini, A. F. A., Ahlström A., Lissa C.J., Zhao X., & Jackson R. B. (2020). Global patterns of terrestrial nitrogen and phosphorus limitation. *Nat. Geosci,* 13, 221-226. doi: 10.1038/s41561-019-0530-4

2. Tiecher, T., Fontoura, S. M. V., Ambrosini, V. G., Araújo, E. A., Alves, L. A., Bayer, C., & Gatiboni, L. C. (2023). Soil phosphorus forms and fertilizer use efficiency are affected by tillage and soil acidity management. *Geoderma,* 2023, 435, 1-15. doi: 10.1016/j.geoderma.2023.116495

3. Vance, C. P., Uhde-Stone, C., & Allan, D. (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing non-renewable resources. *New Phytologist,* 157(93), 423-447. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x

4. Abel, S., Ticconi, C. A., & Delatorre, C. A. (2002). Phosphate sensing in higher plants. *Physiologia Plantarum*, 115, 1-8. doi: 10.1034/j.1399-3054.2002.1150101.x

5. Nosko, B. S. (2017). *Phosphorus in soils and agriculture of Ukraine*. Kharkiv: FOP Brovin. [in Ukrainian].

6. Batten, G. D. (1992). A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant Soil,* 146, 163–168. doi: 10.1007/BF00012009

7. Cordell, D., Rosemarin, A., Schroder, J. J., & Smit, A. L. (2011). Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere,* 84, 747-758. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.02.032

8. FAO. 2011. Case studies on policies and strategies for sustainable soil fertility and fertilizer management in South Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations regional office for Asia and the Pacific. Bangkok. Retrieved from https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i2308e

9. Truskavetskyi, R. S. (2003). *Buffer capacity of soils and their main functions*. Kharkiv. [in Ukrainian].

10. Truskavetskyi, R. S., & Tsapko, Yu. L. (2016) *Fundamentals of soil fertility management* / R. S. Truskavetskyi (Ed.). [in Ukrainian].

11. Balemi T., Negisho K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2012. 12(3). P. 547-562. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000015

11. Balemi, T., & Negisho, K. (2012). Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition,* 12(3), 547-562. doi: 10.4067/S0718-95162012005000015

12. Zaeidelman, F. R. (2004). Morphogleegenesis, its visual and analytical diagnostics. *Soil Science,* 4, 389-398. [in Russian].

13. Nazarenko, I. I., Polchyna, S. M., & Nikorych, V. A. (2008). *Soil science*. Chernivtsi. [in Ukrainian].

14. Kanivets V. I. (1978). About burozems and sod-podzolic soils. *Soil Science,* 5, 150-159. [in Russian].

15. Kaurichev, I. S., & Savich, V. I. (2003). Genetic assessment of the redox state of soils. In: *Soil regimes and their environmental assessment* (pp. 87-115).

16. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. Retrieved from https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bcdecec7-f45f-4dc5-beb1-97022d29fab4/content

17. Priester, B. S., Truskavetskyi, R. S., & Mostovyi, M. M. (Eds.). (1993). *Increasing fertility and protection of drained lands*. Kyiv: Urojai. [in Ukrainian].

18. Ehlert, P., Morel, C., Fotyma, M. & Destain, J.-P. (2003). Potential role of phosphate buffering capacity of soils in fertilizer management strategies fitted to environmental goals. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science,* 166(4), 409-415. doi: 10.1002/jpln.200321182

19. Helfenstein, J., Jegminat, J., McLaren, T. I., & Frossard, E. (2018). Soil solution phosphorus turnover: derivation, interpretation, and insights from a global compilation of isotope exchange kinetic studies. *Biogeosciences,* 15(1), 105-114. doi: 10.5194/bg-15-105-2018

20. Mumbach, G. L., Gatiboni, L. C., Dall'Orsoletta, D. J., Schmitt, D.E., Grando, D.L., de Souza, A. A., … Iochims, D. A. (2021). Refining phosphorus fertilizer recommendations based on buffering capacity of soils from southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo,* 45:e0200113. **doi:** 10.36783/18069657rbcs20200113

21. Kovalets, Yu. M., & Pozniak ,S. P. (2010). *Agrogenic transformation of soils of light granulometric composition of the Western Polissia of Ukraine*. Lviv: Ukrainian bestseller [in Ukrainian].

22. Zubkovska, V. V. (2015). Transformation of phosphate in acidic soils by different modes hydration. *Agrochemistry and Soil Science,* 82, 97-100. Retrieved from: https://agrochemsoilsci.org/index.php/journal/issue/view/14/12 [in Ukrainian].

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ДОБРИВ
FERTILIZERS QUALITY CONTROL

УДК 631.8

Напрями удосконалення нормативно-правової бази щодо регулювання безпечності та якості добрив в Україні

М. М. Мірошниченко[1a], Є. Ю. Гладкіх[1*b], А. В. Ревтьє-Уварова[1c], В. А. Гетманенко[2d]

[1]Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», *Харків, Україна*
[2]Natural Resources Institute, *Helsinki, Finland*

ІНФОРМАЦІЯ

Отримано 06.06.2024
Отримано після доопрацювання 12.07.2024
Затверджено до видання 30.07.2024
Доступно онлайн 31.07.2024

Ключові слова:

збереження довкілля;
елемент живлення;
нормативна база;
якість ґрунту;
якість та безпечність добрив;

АНОТАЦІЯ

У кожній інтенсивній технології вирощування сільськогосподарських культур передбачено застосування мінеральних добрив для компенсації виносу поживних елементів з ґрунту та бездефіцитного живлення рослин. Висока якість та безпечність добрив є гарантією сталого розвитку агросфери та збереження довкілля, зокрема непогіршення якості ґрунту та інших компонентів навколишнього середовища, неспричинення потенційної шкоди для здоров'я людей і тварин та сприяння зеленим інноваціям. Саме тому, важливим напрямом стрімкого розвитку землеробства у повоєнний період і перетворення його на високорозвинений сектор економіки агропромислового комплексу на етапі надання Україні статусу кандидата на вступ до Європейського Союзу (ЄС) є удосконалення нормативної бази країни у сфері державного регулювання якості добрив з урахуванням досвіду розвинених країн світу у сфері поводження із агрохімікатами. В оглядовій статті піднято важливі проблемні питання щодо регламентування якості добрив та безпеки довкілля за їх використання; виявлено прогалини у чинній нормативній базі з важливих технічних аспектів стосовно якості добрив. Розглянуто та узагальнено офіційні нормативні документи, регламенти, директиви та постанови Європейського Союзу, США та Канади у сфері поводження із добривами. Проаналізовано досвід країн ЄС та інших країн світу щодо регламентування мінімальної частки елементів живлення у складних мінеральних добривах, ліміту вмісту в добривах важких металів та інших токсичних елементів, а також досвід застосування правил безпеки використання та контролю якості інших удобрювальних матеріалів, зокрема органічних. Визначено перспективні напрями удосконалення вітчизняної нормативної бази для охоплення неврахованих аспектів якості добрив та безпечності для довкілля і гармонізації Української нормативної бази з технічним законодавством ЄС.

* *E-mail*: ye.hladkikh@ukr.net

ORCID: [1]0000-0003-2830-5933; [b]0000-0002-4852-0502; [c]0000-0002-6838-5440; [d]0000-0001-9021-3373

Форма цитування: Мірошниченко М. М., Гладкіх Є. Ю., Ревтьє-Уварова А. В., Гетманенко В. А. Напрями удосконалення нормативно-правової бази щодо регулювання безпечності та якості добрив в Україні. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІҐА ім. О.Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 96. С. 20–29. https://doi.org/10.31073/acss96-03

1. Вступ

Добрива, регулятори росту рослин, інокулянти, та інші хімічні речовини вже давно широко ввійшли у практику агровиробництва. Адже одним із найважливіших завдань сьогодення є удосконалення та прискорення темпів розвитку землеробства, перетворення його на високорозвинений сектор економіки агропромислового комплексу. У вирішенні цих завдань велику роль відіграє, зокрема, науково обґрунтоване і кваліфіковане застосування засобів хімізації, насамперед добрив. Добрива істотно збільшують доступність поживних речовин для сільськогосподарських культур і, таким чином, можуть поліпшити екосистемні послуги ґрунту, які прямо чи опосередковано сприяють формуванню 95 % світового виробництва продуктів харчування [1]. Належне використання поживних речовин може також сприяти збільшенню виробництва біомаси рослин та вмісту органічної речовини ґрунту й поліпшенню його здоров'я. Втім вплив добрив, якщо вони використовуються не належним чином, включає негативний внесок у наслідки глобальної зміни клімату, деградацію ґрунту та забруднення водних об’єктів і якість повітря, потенційну шкоду для здоров'я людей, тварин і ґрунту [1].

Крім того, на етапі надання Україні статусу кандидата на вступ до Європейського Союзу (ЄС) актуалізується питання щодо переходу на технічні регламенти і стандарти ЄС у сфері поводження із агрохімікатами. У рамках стратегії «From Farm to Fork» (в українській інтерпретації "Від лану до столу"), як одного з центральних стовпів Європейської зеленої угоди, Європейська комісія прагне скоротити втрати поживних

речовин принаймні на 50 % до 2030 року, забезпечуючи при цьому відсутність погіршення родючості ґрунту. Очікується, що це призведе до скорочення використання добрив щонайменше на 20 %. Враховуючи всі потенційні ризики, застосування добрив, як чинник істотного впливу на стан якості ґрунтів та невід'ємний елемент технологій вирощування сільськогосподарських культур, обов'язково має регулюватися державними нормативно-правовими документами.

Слід зауважити, що Україна імпортує велику частку добрив, а це додатково актуалізує розробку подібних регламентів. У 2021 р. імпорт комплексних добрив становив 1,9 млн тонн, при цьому найбільшим імпортером була Білорусь (617 тис. т або 32,1 % від загального імпорту), а частка інших країн така: Литва (18 %), Польща (9 %), Марокко (7 %), Болгарія (6 %), Казахстан (4 %) та Сербія (4 %).

Питанню якості та безпечності добрив, у першу чергу, приділяють велику увагу виробники добрив, адже це має гарантувати їх конкурентоздатність в умовах активно зростаючого ринку агрохімікатів. Особливого контролю підлягає вміст токсичних домішок у складі добрив (включаючи важкі метали — кадмій, свинець та інші), які є чинниками фітотоксичності та можуть впливати не тільки на обсяг врожаю, а й на якість і безпечність вирощеної продукції [2, 3]. Втім, регулювання частки токсичних домішок неможливе без порівняння із нормативами їх граничного вмісту, які наразі відсутні.

Впродовж останніх років питанню ефективного й екологобезпечного використання добрив було присвячено дослідження багатьох вчених: Бондарева О. [4], Мельник В. І. [5], Макаренко Н. А. [6], Дайнеко Л. В. [7], Патика В. П. [8], Городній М. М. [9] та ін. Проте усі ці дослідження, головним чином, спрямовані на аналіз стану екологічної безпеки та екологічної оцінки за використання мінеральних добрив і розроблення стратегії мінімізації їх негативного впливу на довкілля, не торкаються сфери регулювання безпечності та якості добрив.

Метою роботи є визначення напрямів удосконалення нормативної бази України у сфері державного регулювання безпечності та якості добрив на основі огляду та аналізу нормативно-правових документів, що діють на території України, у країнах ЄС та в інших країнах світу.

2. Виклад основного матеріалу

2.1. Чинна нормативно-правова база України у сфері поводження з добривами

В національному законодавстві основні вимоги до виробництва, транспортування, реалізації, зберігання, застосування, утилізації, знищення та знешкодження пестицидів і агрохімікатів встановлені Законом України «Про пестициди та агрохімікати». Головними нормативно-правовими документами для реалізації державної політики у сфері охорони земель є Земельний кодекс України, у якому згадування про застосування добрив зустрічається лише у статті 61, а також Закон України «Про охорону земель», який містить правові, економічні та соціальні основи охорони земель з метою забезпечення їх раціонального використання, відтворення та підвищення родючості ґрунтів, збереження екологічних функцій ґрунтового покриву й охорони довкілля та регламентує допустиме забруднення ґрунтів, в тому числі й залишковими кількостями пестицидів та агрохімікатів. Щодо заходів нормативно-правового характеру у сфері екологічної безпеки, то регулювання безпечності застосування добрив відбувається згідно з такими документами: Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" (ст. 52); Закон України "Про управління відходами" (ст. 23); ДБН В 2.2-7-98 «Будівлі і споруди для зберігання мінеральних добрив та засобів захисту рослин». Окрім цього, в напрямі організації поводження з добривами, у чинному законодавстві України передбачено вимоги щодо безпеки та здоров'я працівників та правила охорони праці на об'єктах з виробництва мінеральних добрив, що викладені у ряді наказів Мінекономрозвитку та Міністерства надзвичайних ситуацій України.

Крім цього, в Україні розроблено та надано чинності низці нормативно-методичних документів (національні та гармонізовані державні стандарти), у яких закріплено вимоги до окремих аспектів виробництва, застосування та випробування добрив, але обов'язковість їх використання не передбачено чинними нормативно-правовими актами.

У зв'язку з тим, що внесення агрохімікатів може створювати екологічні ризики, стандартизація та нормування передусім мають бути спрямовані на їх запобігання.

Прикладом такого чинного регуляторного документу є нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК) небезпечних речовин у ґрунті, а також перелік цих речовин, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 р. за № 1325. Зокрема, цим документом регламентується валовий вміст у ґрунті таких речовин

удобрювальної дії: нітрати (за NO_3) – 130,0 мг/кг з урахуванням фону; сульфати (за SO_4) – 160,0 мг/кг з урахуванням фону; фосфор (за P_2O_5) – 200,0 мг/кг з урахуванням фону; хлорид калію (за K_2O)– 560,0 мг/кг з урахуванням фону. Також, цим регламентом для рухомих форм мікроелементів з урахуванням їхнього фону (кларку), передбачено ГДК (мг/кг ґрунту): кобальту — 5, мангану — 140, міді — 3; молібдену — 10; нікелю — 4; хрому — 6; цинку — 23.

Втім, враховуючи, що жодним нормативним документом в Україні не передбачено порядок встановлення фонового валового вмісту вищевказаних речовин удобрювальної дії, для забезпечення правомірного та об'єктивного застосування нормативів ГДК необхідно опрацювання цих питань та розроблення відповідних методик. Поряд із цим складність полягає у тому, що валовий вміст P_2O_5 у ґрунтах може змінюватися від 100 до 1350 мг/кг [10, 11], K_2O – від 0,1 до 3–4 % [12, 13], SO_4 – може сягати 1 % за масою та вище.

Окрім вищезазначених обмежень, «Гігієнічними регламентами допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті», затвердженими наказом Міністерства охорони здоров'я України від 14 липня 2020 р. № 1595, передбачено ГДК для таких добрив: *комплексні гранульовані добрива* (КГД) – 120,0 мг/кг з урахуванням фону (кларку), ГДК КГД складу $N_{64}P_0K_{15}$ контролюється за вмістом нітратів у ґрунті, який не повинен перевищувати 76,8 мг/кг абсолютно сухої маси ґрунту; *комплексні рідкі добрива* (КРД) – 80,0 мг/кг з урахуванням фону. Домішки мангану в КРД складу $N_{10}P_{34}K_0$ (за ТУ 6-08-290-74) повинні становити не більше 0,6 % від загальної маси. В цьому блоці ставиться під сумнів коректність визначення вмісту власне КГД та КРД з урахуванням фону (кларку), оскільки добриво після внесення в ґрунт дисоціює на відповідні іони, що вступають в інші ґрунтові реакції, а не знаходяться у вигляді незмінної речовини.

Граничні нормативи внесення азотних добрив в Україні мають рекомендаційний характер з урахуванням різноманіття ґрунтово-кліматичних умов (ДСТУ 7925:2015 «Якість ґрунту. Максимально допустимі норми внесення азотних добрив під сільськогосподарські культури залежно від ґрунтів та природних зон»). Натомість у доробку країн ЄС ще у 1991 році запроваджено Директиву Ради 91/676/ЄЕС (від 12 грудня 1991 р.) щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел (Нітратна директива), де визначено чіткі положення щодо обмеження застосування азотних добрив у зонах, вразливих до нітратного забруднення водних об'єктів. До речі, у рамках міжнародного співробітництва та в контексті міжнародних інтеграційних процесів у 2021 році в межах імплементації Нітратної директиви у національне законодавство впроваджено такі її основні складові як: Методика визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів, затверджена Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 квітня 2021 року № 244 [14]; Правила щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів, затверджені Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 24 листопада 2021 року № 382 [15].

Проте, наявні в Україні нормативи не повною мірою охоплюють усі аспекти якості добрив та безпеки довкілля за їх використання. Насамперед, прогалини у чинній нормативній базі стосуються таких важливих технічних питань щодо якості добрив: *а) регламентації мінімальної частки елементів живлення, які входять до складних мінеральних добрив та мають удобрювальний ефект і не є домішками; б) регламентації максимально допустимого вмісту важких металів та інших токсичних елементів у складі мінеральних добрив; в) правил щодо безпечності застосування та якості органічних удобрювальних матеріалів.*

Нормативні документи щодо допустимого вмісту елементів живлення та шкідливих домішок у добривах в Україні на цей час відсутні, хоча у ЄС, США та Канаді подібні регламенти і директиви існують вже давно.

2.2. Регламентування мінімальної частки елементів живлення, які входять до складних мінеральних добрив та мають удобрювальний ефект і не є домішками

В Україні на сьогодні відсутні будь-які чинні регламенти, що регулюють такий показник. Хоча, згідно з існуючим міжнародним стандартом, гармонізованим в Україні у жовтні 2017 р. (ДСТУ ISO 7851:2017 (ISO 7851:1983, IDT) Класифікація. Добрива та ґрунтополіпшувальні речовини) визначено, що, наприклад, складні фосфорно-калійні (РК) добрива – це добрива, які містять фосфор і калій у гарантованій кількості, а також інші елементи, але азот (N) у негарантованій кількості. Таке визначення прямо вказує, що, наприклад, у складному фосфорно-калійному добриві може міститися азот у вигляді домішки. Однак, при цьому немає чіткого визначення скільки (у відсотках) має міститися максимум азоту у складному добриві, щоб можна було називати його домішкою.

У Канаді добрива та харчові добавки, що продаються та/або імпортуються, регулюються *Законом про добрива [16]* та правилами, які підпадають під юрисдикцію

Канадського агентства інспекції харчових продуктів (CFIA). Закон встановлює, що основні поживні речовини для рослин, присутні у змішаному добриві (NPK), у сумі мають містити не менше 24 % від загального складу добрива і окремо для кожного елементу живлення має гарантуватися такий мінімальний вміст: N – 3 %, P_2O_5 – 3 %; K_2O – 3 %.

У Європейському Союзі у 2003 р. було прийнято Регламент (ЄС) №2003/2003 [17], яким встановлено вимоги щодо мінімальної концентрації поживного елемента (у відсотках до маси) у складі комплексного добрива (NPK). У 2012 р. у сусідній з нами Молдові цей регламент було адаптовано та введено в дію Постановою Уряду Молдови № 268 від 26.04.2012 р.

У червні 2019 року Постановою Європейського парламенту та Ради прийнято новий Регламент ЄС 2019/1009 про удобрювальні матеріали (опублікований в Офіційному журналі Європейського Союзу № L 170 від 25 червня 2019 р.) [18]. Цей Регламент є офіційним юридичним документом, який застосовується одночасно на всій території Співтовариства, що безпосередньо покладає на виробників чіткі вимоги до типу добрив, їх якості, складу добрив, що містять кілька компонентів. У додатку I частина 2 (PFC 1(C)(I)(a)(ii)) цього Регламенту чітко вказано мінімальний вміст поживних речовин (у відсотках за масою) у комплексних мінеральних добривах, що загалом для суми (N + P_2O_5 + K_2O) мають становити близько 18 % і окремо для кожного елементу мінімум — N – 3 %, P_2O_5 – 3 % і K_2O – 3 %. Якщо комплексні добрива містять другорядні елементи (Ca, Mg, Na, S), то згідно з Регламентом, їх вміст (%) має бути не менше, ніж: CaO – 1,5; MgO – 1,5; Na_2O – 1; SO_3 – 1,5.

2.3. Регламентування ліміту (обмеження) вмісту важких металів та інших токсичних елементів, які входять до складу мінеральних добрив

Мінеральні добрива можуть містити певну кількість шкідливих домішок, зокрема важких металів (Cd, Cu, Pb, Ni, Zn, Mo, Co, Cr) та інших токсичних елементів (As, F, B), вміст яких визначається якістю сировини та технологією виробництва добрива і може коливатися у значних межах. Найбільш небезпечними у цьому плані є фосфорні та калійні добрива, в яких важких металів та інших токсичних речовин міститься значно більше ніж в азотних добривах [19]. У документі, розробленому FAO – International Code of Conduct for the Sustainable Use and Management of Fertilizers [1] вказано, що уряди країн повинні, на основі останнього наукового аналізу, доказів і досліджень, а також на основі глобального співробітництва, міжнародних стандартів і передового досвіду, а також у партнерстві з індустрією добрив та іншими зацікавленими сторонами нести відповідальність за: (а) регулювання складу та якості добрив з огляду на: вміст поживних речовин; вміст важких металів, пов'язаний з виробничим процесом і джерелом сировини; наявність шкідливих мікробів та інших небезпечних або токсичних матеріалів; (б) встановлення та регулювання стандартних лімітів (обмежень) стосовно безпеки у сфері поводження з добривами.

Країни ЄС у цій сфері мають декілька офіційних документів, що регламентують граничний вміст забруднювальних речовин у мінеральних, органо-мінеральних та органічних добривах і осадах стічних вод / каналізаційних установок. Зокрема, у Регламенті ЄС 2019/1009 [18] із встановлення правил щодо випуску на ринок ЄС добрив наведено гранично допустимі значення вмісту забруднювальних речовин у складі таких добрив, які не повинні бути перевищені (Табл. 1, 2).

Ще у 1986 році ухвалено Директиву ради ЄС від (12 червня 1986 року) про захист навколишнього середовища, і зокрема ґрунту, коли осад стічних вод використовується у сільському господарстві (86/278/EEC) [20]. Оскільки метою цієї Директиви є регулювання використання осаду стічних вод у сільському господарстві таким чином, щоб запобігти шкідливому впливу на ґрунт, рослинність, тварин і людину, заохочуючи при цьому його правильне використання, у її додатку 1 B наведено граничні значення концентрацій важких металів в осаді для використання в сільському господарстві. Варто зауважити, що багато європейських країн встановили більш суворі національні стандарти не лише щодо вмісту забруднювачів в осаді стічних вод, але й щодо вимог до переробки, максимально допустимої кількості внесення та періодичності внесення в ґрунт.

У жовтні 2020 року урядом Канади прийнято оновлений T-4-93 – Стандарт безпеки для добрив і добавок [21]. Цей документ є єдиним джерелом для всіх стандартів, які використовуються CFIA (Канадське агентство з інспекції харчових продуктів) для оцінки безпеки добрив і добавок. Це стосується продуктів, які потребують реєстрації відповідно до Закону про добрива, а також тих, які звільнені від попередньої оцінки на ринку. Документ визначає, окрім іншого, верхні межі та пороги для забруднювальних речовин (металів, діоксинів і фуранів), що містяться у добривах. Стандарт на метали використовується для оцінки всіх продуктів, що підпадають під дію Закону про добрива, щодо яких були висловлені побоювання через накопичення металів (наприклад,

перероблені матеріали або матеріали з природно підвищеним вмістом металів). Стандарт застосовується до загального (невилученого) вмісту металів і є консервативним для врахування довгострокового кумулятивного впливу металів на здоров'я рослин, тварин та людини. Крім того, він враховує концентрації металів у ґрунтах та фактори поглинання рослинами, такі як кислотність ґрунту та ємність ґрунтового катіонного обміну.

Таблиця 1
Гранично-допустимі концентрації забрудників у неорганічних добривах [18]

Забрудник (важкі метали)	Значення ГДК, мг/кг сухої речовини
Кадмій **(Cd)**, де неорганічне добриво з макроелементами має загальний вміст фосфору (P) менше ніж 5 %, оксиду фосфору (P_2O_5) – еквівалент за масою	3
Кадмій **(Cd)**, де неорганічне добриво з макроелементами має загальний вміст фосфору (P) 5 %, оксиду фосфору (P_2O_5) – еквівалент або більше за масою (фосфатні добрива)	60 мг/кг оксиду фосфору (P_2O_5)
Хром шестивалентний (**Cr**VI)	2
Ртуть (**Hg**)	1
Нікель (**Ni**)	100
Свинець (**Pb**)	120
Миш'як (**As**)	40
Мідь (**Cu**)	600
Цинк (**Zn**)	1500

Таблиця 2
Гранично-допустимі концентрації забрудників в органічних удобрювальних матеріалах [18]

Забрудник	Органічне добриво	Органічний ґрунтополіпшувач
	ГДК, мг/кг сухої речовини	
Кадмій (**Cd**)	1,5	2
Хром шестивалентний (**Cr VI**)	2/-	2/-
Ртуть (**Hg**)	1	1
Нікель (**Ni**)	50	50
Свинець (**Pb**)	120	120
Мідь (**Cu**)	300	300
Цинк (**Zn**)	800	800
Миш'як (**As**)	40	40
$C_2H_5N_3O_2$	0	-
Сальмонела spp	0	0
E. Coli/ Энтерококк, КОЕ/г	≤1000	≤1000

У цьому документі представлено дещо інший підхід до регламентування вмісту небезпечних речовин у складі добрив. Межі вмісту металів ґрунтуються на максимально допустимій кумулятивній добавці до ґрунтів за 45-річний період часу (Табл. 3). Підхід кумулятивного застосування призначений для врахування стійкості металів у довкіллі, яка зрештою визначає рівень забруднення та довгострокові впливи.

Багато країн на сьогодні зосередили увагу на регламентуванні вмісту кадмію у добривах, особливо у фосфорних (Табл. 4). Найчастіше це обмеження на кількість кадмію на одиницю фосфору (мг Cd/кг P) або оксиду фосфору (мг Cd/кг P_2O_5), якими забороняється продаж і застосування добрив, що не відповідають цій межі в даній юрисдикції. Обмеження загального вмісту кадмію, який можна вносити на сільськогосподарському угідді щороку, виражене у фунтах Cd на акр або кілограмах на гектар (кг Cd/га), є більш гнучким і дозволяє фермеру регулювати кількість внесених фосфорних добрив, залежно від потреб рослин і вмісту кадмію у добриві.

Таблиця 3
Стандарти добрив і добавок CFIA на метали та приклади максимально допустимих концентрацій металів на основі річних норм внесення [21]

Забрудник	Максимально допустима сукупна добавка в ґрунт за 45 років, кг/га	Приклади максимально допустимої концентрації металу на основі річної норми внесення добрив, мг металу / кг продукту		
		4400 кг/га на рік	2000 кг/га на рік	500 кг/га на рік
Миш'як **(As)**	15	75	166	666
Кадмій **(Cd)**	4	20	44	177
Хром **(Cr)**	210	1060	2333	9333
Кобальт **(Co)**	30	151	333	1333
Мідь (**Cu**)	150	757	1666	6666
Меркурій **(Hg)**	1	5	11	44
Молібден **(Mo)**	4	20	44	177
Нікель **(Ni)**	36	181	400	1600
Свинець **(Pb)**	100	505	1111	4444
Селен **(Se)**	2,8	14	31	124
Талій **(Tl)**	1	5	11	44
Ванадій **(V)**	130	656	1444	5777
Цинк **(Zn)**	370	1868	4111	16444

Таблиця 4
Обмеження за вмістом кадмію у фосфорних добривах [22]

Країна		Граничні обмеження на вміст Cd у добривах
США-Вашингтон		0,0889 кг Cd / га у рік
США-Орегон		7,5 мг Cd / (% P_2O_5)
США-Каліфорнія		4 мгCd / (% P_2O_5)
Австралія		131 мг Cd / (кг P_2O_5)
Канада		0,0889 кг Cd / га у рік
Японія		148 мг Cd / (кг P_2O_5)
Австрія		120 мг Cd / (кг P_2O_5)
Бельгія		90 мг Cd / (кг P_2O_5)
Данія		48 мг Cd / (кг P_2O_5)
Нідерланди		17,5 мг Cd / (кг P_2O_5)
Фінляндія		21,5 мг Cd / (кг P_2O_5)
Швеція		43 мг Cd / (кг P_2O_5)
Пропозиція ЄС	до 2036 року	20 мг Cd / (кг P_2O_5)
	до 2026 року	40 мг Cd / (кг P_2O_5)
	до 2020 року	60 мг Cd / (кг P_2O_5)

2.4. Розроблення правил безпеки та якості удобрювальних матеріалів, зокрема органічних

Такий документ сприятиме збільшеному використанню перероблених матеріалів для виробництва добрив, тим самим сприяючи розвитку кругової економіки, водночас зменшуючи залежність від імпортованих поживних речовин, та сприятиме зеленим інноваціям. Наразі чинним є Закон “Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною” [23], яким регулюються питання поводження із гноєм та розміщення на ринку і використання органічних добрив (гною) та поліпшувачів гумусу, що утворені в результаті оброблення/переробки побічних продуктів тваринного походження, за умов, що вони (1) вироблені на зареєстрованих в установленому порядку потужностях (об’єктах) з оброблення і переробки побічних продуктів тваринного походження; (2) утворені в процесі виготовлення з побічних продуктів тваринного походження біогазу або компостів. Однак, якість таких добрив не регламентована ні цим

документом, ні нещодавно ухваленими за Наказом Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України — «Правилами компостування біовідходів їх утворювачами на присадибних, дачних і садових ділянках» [24].

Тим часом, згідно з Регламентом ЄС про удобрювальні матеріали 2019/1009 [18], тверде органічне добриво чи ґрунтополіпшувач повинні містити 40 % і більше сухої речовини. Органічне добриво із маркою CE повинно містити принаймні одне з заявлених поживних речовин у мінімальних зазначених кількостях: 2,5 мас. % загального азоту (N), 2 мас. % загального фосфору (P_2O_5) або 2 мас. % загального калію (K_2O). Мінімальний вміст елементів живлення рослин у ґрунтополіпшувачах не регламентується. Зазначено, що органічні добрива та ґрунтополіпшувачі повинні містити щонайменше 15 % та 7,5 % органічного вуглецю (C) відповідно. Максимальна межа вмісту кадмію < 1,5 мг/кг в органічних удобрювальних матеріалах та < 20 мг/кг в органо-мінеральних матеріалах повністю гарантуватиме високий рівень захисту ґрунтів та зменшуватиме ризики для здоров'я людей та довкілля. Розробка таких правил можлива шляхом гармонізації в Україні вимог Регламенту ЄС про удобрювальні матеріали 2019/1009, який охоплює 7 функціональних категорій продукту (PFC), а саме: добрива (мінеральні, органо-мінеральні, органічні), поліпшувачі ґрунту, вапняні матеріали, інгібітори нітрифікації, рослинні біостимулятори та суміші продуктів. У межах цих категорій виділяють окремі підкатегорії. Наприклад, у категорії добрив, виділяють рідкі та тверді добрива, а також добрив з макро- та мікроелементами. Кожна категорія має власні вимоги щодо вмісту поживних речовин, типу поживних речовин, забруднювальних речовин і маркування. Іноді існує кілька варіантів вибору функціональної категорії продукту, і будь-який з них можна вибрати, якщо продукт відповідає вимогам конкретної категорії.

У регулюванні якості добрив важливу роль відіграють також категорії компонентів (CMC — *categories of material components*). Ними класифікують різні матеріали, що використовуються для виробництва добрив, гарантуючи, що кожен компонент відповідає визначеним стандартам безпеки та якості. На даний момент існує 15 категорій CMC, які описані в Додатку II Регламенту [18]. Категорії охоплюють речовини та суміші первинних матеріалів (CMC 1), а також рослинні або інші оброблені біологічні матеріали (CMC 2-6) і матеріали, отримані з відходів (CMC 12-15):

CMC 1: Первинні речовини та суміші
CMC 2: Рослини, частини рослин або рослинні екстракти
CMC 3: Компост
CMC 4: Дигестат зі свіжої рослинної сировини
CMC 5: Дигестат, відмінний від дигестату зі свіжої рослинної сировини
CMC 6: Побічні продукти харчової промисловості
CMC 7: Мікроорганізми
CMC 8: Поживні полімери
CMC 9: Полімери, крім поживних полімерів
CMC 10: Похідні продукти у значенні Регламенту (ЄС) № 1069/2009
CMC 11: Побічні продукти у значенні Директиви 2008/98/ЕС
CMC 12: Осаджені фосфатні солі та похідні
CMC 13: Матеріали та похідні термічного окиснення
CMC 14: Матеріали піролізу та газифікації
CMC 15: Відновлені матеріали високої чистоти

Виробники всіх цих груп товарів повинні продемонструвати, що їх продукція відповідає екологічним вимогам та є безпечною для здоров'я і підготувати письмову декларацію ЄС про відповідність продукту добрива ЄС. Процедури оцінювання відповідності розділені на чотири модулі, які мають особливі вимоги. Оцінка відповідності залежить від категорій CMC і PFC продукту і може мати вигляд внутрішнього контролю продукції (модуль A), перевірки типу ЄС (модуль B), підтвердження на основі внутрішнього контролю процесу (модуль C) або гарантії якості виробничого процесу (Модуль D). Загалом, продукт має відповідати всім вимогам, зазначеним у нормативних актах щодо добрив, зокрема щодо обраної категорії PFC та категорій CMC сировини. Крім того, існують вимоги до маркування, документації, тестування та системи якості.

Вищенаведене підтверджує істотний доробок нормативних документів у сфері безпеки довкілля за використання добрив, зокрема у регламентуванні вмісту важких металів у добривах на міжнародному рівні.

3. Висновки

За результатами узагальнення та аналізування чинної нормативно-правої бази України визначено головні нормативні документи, де окреслено основні вимоги щодо

виробництва, транспортування, реалізації, зберігання, застосування, утилізації, знищення та знешкодження агрохімікатів; регулювання безпечності застосування добрив; вимоги щодо безпеки та здоров'я працівників та правила охорони праці на об'єктах з виробництва мінеральних добрив. Поряд з цим виявлено, що низка нормативно-методичних документів не передбачає обов'язковість використання у сфері поводження з добривами.

На підставі аналізу нормативної бази країн ЄС і інших країн світу визначено напрями удосконалення вітчизняної нормативної бази, що охоплюють невраховані аспекти якості добрив та безпеки довкілля за їх використання, гармонізацію Української нормативної бази з технічним законодавством ЄС та включають такі питання:

- розроблення методики щодо порядку встановлення фонового валового вмісту речовин удобрювальної дії (фосфору, калію, сульфатів, нітратів) у ґрунті задля забезпечення правомірного та об'єктивного застосування нормативів ГДК;
- розроблення регламенту мінімальної частки елементів живлення, які входять до складних мінеральних добрив та мають удобрювальний ефект і не є домішками;
- розроблення регламенту максимально допустимого вмісту важких металів та інших токсичних елементів у складі мінеральних добрив;
- розроблення правил щодо безпечності та якості органічних удобрювальних матеріалів.

Запропоновані напрями можуть бути представлені у форматі декількох нормативних документів, які би відтворили прогалини у чинній нормативній базі і створили передумови до більш стрімкого процесу інтегрування у Європейський простір у сфері регулювання безпечності та якості добрив.

Список використаних джерел

1. The International Code of Conduct for the Sustainable Use and Management of Fertilizers. FAO, 2019. Rome. 56 p. URL: https://openknowledge.fao.org/items/16560e80-23b1-47e1-ba70-da5dc1c577fd

2. Полянчиков С., Капітанська О. Якість, безпечність і ефективність – пріоритети при виробництві добрив Квантум-Діафан. *Агроном*. 2021. № 4(74). 23/04/2021. URL: https://www.agronom.com.ua/yakist-bezpechnist-i-efektyvnist-priorytety-pry-vyrobnytstvi-dobryv-kvantum-diafan/

3. Вожик Ю. Безпечні добрива для покращення якості ґрунтів. *Агробізнес сьогодні*. 2020. № 7(422). С. 39-42. URL: https://agro-business.com.ua/ahrarni-kultury/item/16483-bezpechni-dobryva-dlia-pokrashchennia-iakosti-gruntiv.html

4. Бондарева О., Вінюков О., Коноваленко Л. Вплив добрив на вміст важких металів у ґрунті в індустріальному регіоні. *Scientific Collection «InterConf» : international forum: problems and scientific solutions (April 25-26, 2021).* 2021. № 53. С. 624-627. URL: https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/12044

5. Мельник В. І., Романашенко О. А., Циганенко М. О., Качанов В. В., Романашенко І. О. Екологічно безпечне використання мінеральних добрив. *Інженерія природокористування*. 2022. №1(23). С. 12–17. https://doi.org/10.5281/zenodo.6807501

6. Макаренко Н. А., Бондарь В. І., Макаренко В. В., Паращенко І. В., Тогачинська О. В., Харченко І. В. *Методичні рекомендації зі встановлення допустимих концентрацій шкідливих речовин в агрохімікатах*. Київ: Інститут агроекології і природокористування, 2007. 16 с.

7. Дейнеко Л. В., Хлобистов Є. В. Екологічно чиста продукція у системі стратегічних орієнтирів сталого розвитку агропромислового комплексу. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія „Економіка та менеджмент"*. 2005. Вип. 3–4 (16–17). С. 84–86.

8. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів: монографія / За ред. В. П. Патики. Київ: Основа, 2005. 300 с.

9. Городній М. М., Олійниченко В. Г. Наукові концепції оптимального використання відходів сільськогосподарського виробництва, їх обґрунтування та виробництва нових видів добрив. *Науковий вісник НАУ*. 1998. № 5. С. 269-274.

10. Полупан М. І., Величко В. А. *Номенклатура та діагностика еколого-генетичного статусу ґрунтів України для їх великомасштабного дослідження*. Київ: Аграрна наука, 2014. 494 с.

11. Носко Б. С. *Фосфор у ґрунтах і землеробстві України*. Харків: ФОП Бровін О. В., 2017. 476 с.

12. Христенко А. А. *Калийное состояние почв и эффективность удобрений*. Харьков: ФОП Бровин А. В., 2017. 120 с. Available from https://issar.com.ua/shop/tovar-143/

13. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. *Агрохімія калію*.За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ: ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с. URL: https://lib.udau.edu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/f84e3ce6-19a0-452f-921d-755b1767d509/content

14. Методика визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів: *Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України* від 15 квітня 2021 року № 244. URL: https://ips.ligazakon.net/document/RE36398?an=24

15. Правила щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів: *Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України* 24 листопада 2021 року № 382. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text

16. *Fertilizers Regulations*. C.R.C., c. 666. Published by the Minister of Justice at the following address: http://laws-lois.justice.gc.ca. 2024. 31 p. URL:https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/C.R.C._c._666.pdf

17. Regulation (EC) no 2003/2003 of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003relating to fertilizers. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32003R2003

18. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003.(OJ L 170, 25.6.2019). URL: https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC187729/

19. Овчаренко М. М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрения.*Химия в сельском хозяйстве*. 1995. № 4. С. 8-9.

20. Council Directive 86/278/EEC on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. 12 June 1986. URL: https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC019147/

21. T-4-93 – Safety standards for fertilizers and supplements, Date modified 09.02.2021. URL:https://inspection.canada.ca/en/plant-health/fertilizers/trade-memoranda/t-4-93

22. Rufus L. Chaney Food Safety Issues for Mineral and Organic Fertilizers. *Advancesin Agronomy*. 2012. Vol. 117. P. 51-116. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394278-4.00002-7

23. Закон України Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною. Від 07.04.2015 № 287-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/287-19#Text

24. Наказ Про затвердження Правил компостування біовідходів їх утворювачами на присадибних, дачних і садових ділянках.*Офіційний вісник України*.Офіційне видання від 01.09.2023. 2023 р., № 73, стор. 106, стаття 4198, код акта 119720/2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1271-23#Text

UDC 631.8

Directions for improving the regulatory and legal base regarding the regulation of fertilizers safety and quality in Ukraine

M. Miroshnychenko[1], Ye. Hladkikh[1], A. Revtye-Uvarova[1], V. Hetmanenko[2]

[1]National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky", *Kharkiv, Ukraine*
[2]Natural Resources Institute, *Helsinki, Finland*
*E-mail: ye.hladkikh@ukr.net

Each intensive technology of growing agricultural crops involves the use of mineral fertilizers, which is aimed at compensating the removal of nutrients in the soils of agrocenoses and providing plant nutrition without deficit. Along with this, the quality and safety of fertilizers should guarantee the sustainable development and preservation of the environment, in particular not to deteriorate the quality of soils and other environmental components, not to cause potential harm to human and animal health, and to promote green innovation. That is why, an important direction of the rapid development of agriculture in the post-war period, its transformation into a highly developed sector of the economy of the agro-industrial complex at the stage of granting Ukraine the status of a candidate for accession to the European Union (EU) is the improvement of the country's regulatory framework in the field of state regulation of fertilizer quality, taking into account the experience of developed countries of the world in the field of handling agrochemicals. The article raises important problematic issues of regulation of fertilizer quality and environmental safety during their use; gaps in the current regulatory framework were identified, which relate to important technical issues regarding the qualitative component of fertilizers. The official regulatory documents, Regulations, directives and resolutions of the European Union, the USA and Canada in the field of fertilizer management are summarized and reviewed. The experience of the EU countries and other countries of the world regarding the regulation of the minimum share of nutrients that are part of complex mineral fertilizers and have a fertilizing effect, as well as the regulation of the limit of the content of heavy metals and other toxic elements that are part of mineral fertilizers was analyzed; regarding the rules of safety and quality of fertilizing materials, in particular organic ones. The areas of improvement of the national regulatory framework, covering unaccounted for aspects of fertilizer quality and environmental safety during their use, harmonization of the Ukrainian regulatory framework with EU technical legislation have been determined.

***Keywords**:* quality and safety of fertilizers; regulatory framework; preservation of the environment; soil quality; nutrients.

***Citing*:** Miroshnychenko M., Hladkikh Ye., Revtye-Uvarova A., Hetmanenko V. (2024). Directions for improving the regulatory and legal base regarding the regulation of fertilizers safety and quality in Ukraine. *AgroChemistry and Soil Science,* 96, 20–29. https://doi.org/10.31073/acss96-03 [in Ukrainian]

References

1. FAO. (2019). *The International Code of Conduct for the Sustainable Use and Management of Fertilizers*. Rome. Retrieved from: https://openknowledge.fao.org/items/16560e80-23b1-47e1-ba70-da5dc1c577fd

2. Polyanchikov, S., & Kapitanska, O. (2021). Quality, safety and efficiency – priorities in the production of Kvantum-Diaphan fertilizers. *Agronomist,* 4(74), 23/04/2021. Retrieved from: https://www.agronom.com.ua/yakist-bezpechnist-i-efektyvnist-priorytety-pry-vyrobnytstvi-dobryv-kvantum-diafan/ [in Ukrainian]

3. Vozhyk, Yu. (2020). Safe fertilizers for improving soil quality. *Agribusiness today*, 7(422), 39-42. Retrieved from: https://agro-business.com.ua/ahrarni-kultury/item/16483-bezpechni-dobryva-dlia-pokrashchennia-iakosti-gruntiv.html [in Ukrainian]

4. Bondareva, O., Vinyukov, O., & Konovalenko, L. (2021). Effect of fertilizers on the content of heavy metals in the soil in an industrial region. *Scientific Collection «InterConf» : International forum: problems and scientific solutions (April 25-26, 2021)*, 53, 624-627. Retrieved from https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/12044 [in Ukrainian]

5. Melnik, V. I., Romanashenko, O. A., Tsyganenko, M. O., Kachanov, V. V., & Romanashenko, I. O. (2022). Environmentally safe use of mineral fertilizers. *Engineering of nature management*, 1(23), 12-17. https://doi.org/10.5281/zenodo.6807501 [in Ukrainian]

6. Makarenko, N. A., Bondar, V. I., Makarenko, V. V., Parashchenko, I. V., Togachynska, O. V., & Kharchenko, I. V. (2007). *Methodological recommendations for establishing permissible concentrations of harmful substances in agrochemicals*. Kyiv: Institute of Agroecology and Nature Management. [in Ukrainian].

7. Deineko, L. V.,& Khlobystov, E. V. (2005). Ecologically clean products in the system of strategic guidelines for the sustainable development of the agro-industrial complex. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series "Economics and Management"*, 3–4(16–17), 84–86. [in Ukrainian].

8. Patyka V. P. (Ed.). (2005). *Agroecological assessment of mineral fertilizers and pesticides*: monograph. Kyiv: Osnova. [in Ukrainian].

9. Horodniy, M. M., & Oliinychenko, V. G. (1998). Scientific concepts of optimal use of agricultural production waste, their substantiation and production of new types of fertilizers. *Scientific Bulletin of NAU*, 5, 269-274. [in Ukrainian]

10. Polupan, M. I., & Velychko, V. A. (2014). *Nomenclature and diagnostics of ecological and genetic status of soils of Ukraine for their large-scale research*. Kyiv: Agrarian Science. [in Ukrainian].

11. Nosko, B. S. (2017). *Phosphorus in soils and agriculture of Ukraine*. Kharkiv. [in Ukrainian].

12. Khrystenko, A. A. (2017). *Potassium status of soils and fertilizer efficiency*. Kharkiv. Available from https://issar.com.ua/shop/tovar-143/ [in Russian].

13. Hospodarenko, H. M., Cherno, O. D., & Nikitina, O. V. (2021). *Agrochemistry of potassium*. Kyiv. Retrieved from https://lib.udau.edu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/f84e3ce6-19a0-452f-921d-755b1767d509/content [in Ukrainian].

14. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2021). Methodology for determining zones vulnerable to (accumulation of) nitrates: *Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine* dated April 15, No. 244. Retrieved from https://ips.ligazakon.net/document/RE36398?an=24 [in Ukrainian]

15. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2021). Rules for ensuring soil fertility and the use of certain agrochemicals: *Order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine* of November 24, No. 382. URL:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text [in Ukrainian]

16. *Fertilizers Regulations*. C.R.C., c. 666. (2024). Published by the Minister of Justice at the following address: http://laws-lois.justice.gc.ca. 2024. 31 p. Retrieved from https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/C.R.C._c._666.pdf

17. Regulation (EC) no 2003/2003 of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 relating to fertilizers. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32003R2003

18. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003.(OJ L 170, 25.6.2019). Retrieved from https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC187729/

19. Ovcharenko, M. M. (1995). Heavy metals in the soil-plant-fertilizer system. *Chemistry in Agriculture*, 4, 8-9. [in Russian]

20. Council Directive 86/278/EEC on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. 12 June 1986. Retrieved from https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC019147/

21. T-4-93 – Safety standards for fertilizers and supplements, Date modified 09.02.2021. URL:https://inspection.canada.ca/en/plant-health/fertilizers/trade-memoranda/t-4-93

22. Rufus, L. (2012). Chaney Food Safety Issues for Mineral and Organic Fertilizers. *Advancesin Agronomy*, 117, 51-116. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394278-4.00002-7

23. Law of Ukraine "On by-products of animal origin, not intended for human consumption". From 04/07/2015 No. 287-VIII. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/287-19#Text [in Ukrainian]

24. Order "On approval of the Rules for composting bio-waste by its generators on homestead, country and garden plots". Official Gazette of Ukraine. Official publication from 01.09.2023. 2023, No. 73, p. 106, article 4198, act code 119720/2023. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1271-23#Text [in Ukrainian]

ВІДНОВЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ
RESTORATION OF SOIL PROPERTIES

УДК 631.4:631.67

Структурно-агрегатний склад чорнозему типового за багаторічного зрошення й удобрення в овочево-кормовій сівозміні

Л. І. Воротинцева*[a], Р. В. Панарін[b]

Національний науковий центр "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського", *Харків, Україна*

ІНФОРМАЦІЯ

Отримано 26.06.2024
Отримано після доопрацювання 22.07.2024
Затверджено до видання 30.07.2024
Доступно онлайн 31.07.2024

Ключові слова:

макроструктура ґрунту;
зрошення;
система удобрення;
польовий дослід

АНОТАЦІЯ

Структурно-агрегатний склад ґрунту є одним із важливих показників, що визначають його якість та впливають на врожайність сільськогосподарських культур. Метою досліджень є визначення впливу на структуру чорнозему типового (Haplic Chernozem) тривалого (з 1967 р.) зрошення придатною водою за використання в овочево-кормовій сівозміні за різних систем удобрення. Дослідження проведено у стаціонарному польовому досліді Інституту овочівництва і баштанництва НААН у Харківській області в межах Лівобережного Лісостепу України. Зрошення останні 20 років ведуть краплинним способом. Зміни параметрів структурно-агрегатного складу ґрунту оцінювали шляхом порівняння сучасного стану зі станом у першу ротацію після реконструкції схеми досліду. Реконструкція включала трансформацію сівозміни з овочевої на овочево-кормову та насичення її багаторічними травами, застосування різних систем удобрення, а також ресурсозбережувального способу поливу. Встановлено, що за період після реконструкції відбулися позитивні зміни щодо параметрів структурно-агрегатного складу зрошуваного чорнозему типового. У ґрунті помітно підвищення вмісту макроагрегатів агрономічно корисного розміру (0,25–10,0 мм) — в орному шарі (0–30 см) контрольного (не удобрюваного) варіанту з 67,5 до 81,2 %, за рахунок зменшення вмісту брилистої фракції (> 10,0 мм) відповідно з 24,8 до 13,1 %. На варіантах із різними системами удобрення параметри структурно-агрегатного складу позитивно відрізнялися від неудобрюваного варіанту, про що свідчать дані вмісту макроструктурних агрегатів і коефіцієнтів структурності та водостійкості. На час досліджень вміст агрегатів розміром 0,25–10,0 мм у ґрунті на всіх варіантах досліду був у межах оптимуму, і стан структури ґрунту оцінювався як відмінний.

* *E-mail*: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

ORCID: [a] 0000-0003-0643-8823; [b] 0000-0003-4266-721X

Форма цитування: Воротинцева Л. І., Панарін Р. В. Структурно-агрегатний склад чорнозему типового за багаторічного зрошення й удобрення в овочево-кормовій сівозміні. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІҐА ім. О. Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 96. С. 30–40. https://doi.org/10.31073/acss96-04

1. Вступ

Важливим агрофізичним показником ґрунту є структурно-агрегатний склад, який визначає його якість та рівень урожайності сільськогосподарських культур. Трансформацію структурного стану орного ґрунту В. В. Медведєв [1] розглядає як перше та явне підтвердження еволюції ґрунтів в умовах сільськогосподарського використання. Структура ґрунту є одним із ключових факторів його родючості та продуктивності аграрного виробництва. Параметри структурного стану зумовлюють особливості руху води та повітря у ґрунті, ефективність використання рослинами вологи та елементів живлення, їх доступність [2], що особливо важливим є на зрошуваних сільськогосподарських полях.

Основні екосистемні функції та послуги ґрунту, такі як зберігання та транспортування води, кругообіг поживних речовин, зберігання вуглецю, зростання рослин та підтримання біорізноманіття, значною мірою визначаються структурою ґрунту [2]. Структура ґрунту опосередковано впливає на кругообіг вуглецю через регуляцію водоутримання та аерації ґрунту, і чинить прямий вплив на стабілізацію вуглецю, коли органічні сполуки розташовуються в порах, недоступних для мікроорганізмів.

Власне, структуру ґрунту можна розглядати як інтегрований індикатор екологічного стану ґрунту, тобто здатність підтримувати виробництво біомаси та відновлюватися після зовнішніх впливів [3]. Багато процесів, які відбуваються у ґрунті, залежать саме від його структури.

Стабільність агрегатів розглядається як здатність ґрунту підтримувати структуру, що базується на її твердих компонентах та поровому просторі, при взаємодії руйнівного

силового поля, що виникає із природних та штучних джерел [4]. Кількістю та розподілом водостійких агрегатів характеризують стабільність структури, водоутримувальну здатність і водопроникність ґрунту та стійкість до ерозії [5]. Стабільність агрегатів значною мірою залежить від умісту органічної речовини [6].

Розмір агрегату та стабільність є взаємопов'язаними поняттями. За механічного впливу відбувається руйнування ґрунту на окремості. При застосуванні низьких енергетичних навантажень вони за розміром будуть подібні до природних часточок. Зі збільшенням енергії фрагментації швидкість зменшення розміру часточок буде пов'язана із структурною стабільністю (енергією зв'язку) між агрегатами [7]. Утворення та стійкість агрегатів залежать від ґрунтових чинників — вмісту мулу, складу обмінних катіонів, вмісту органічного вуглецю та якості гумусу [8].

В умовах антропогенного навантаження на орні ґрунти за впливу сільськогосподарської техніки відбувається деформація та руйнація мікро- та макроагрегатів, що впливає на агрофізичні показники [9]. Застосування різних агротехнологій та систем удобрення по-різному впливає на структурно-агрегатний склад ґрунту, фрагментацію ґрунту та стійкість агрегатів [10, 11].

Дослідженнями Ciric V. et al. [12], установлено, що тип землекористування значно впливає на параметри структури ґрунту. Тривалий обробіток ґрунту призводить до погіршення структури та утворення агрегатів розміром більше 10 мм.

Стійкість агрегатів орних ґрунтів покращується за внесення органічних добрив разом зі збільшенням вмісту агрегатів, корисних в агрономічному розумінні. Внесення гною є одним із основних методів формування водостійких ґрунтових агрегатів та поліпшення структури ґрунту [13]. Переваги органічних добрив полягають також у збільшенні вмісту поживних речовин, органічних речовин у ґрунті та концентрації основних іонів ґрунту, що сприятиме створенню водостійких ґрунтових агрегатів [14, 15]. Іони кальцію і магнію також сприяли утворенню водостійких агрегатів через сольовий місток [16]. Внесення органічних добрив розглядається як спосіб підвищення активності мікробіоти через збільшення вмісту органічної речовини, що сприяє поліпшенню структури ґрунту [17] і здоров'я ґрунту.

В роботі В. В. Медведєва [1] показано, що в чорноземах, які в цілому характеризуються генетично високим вмістом макроструктурних агрегатів, покращення структури ґрунту за внесення органічних добрив відмічається не завжди або кількісно слабо виражено.

Дослідженнями [6] встановлено більш високий ефект щодо утворення агрегованої структури ґрунту за застосування органо-мінеральних добрив порівняно з внесенням лише органічних добрив.

Дослідженнями Tuo D. et al. [17] визначено позитивний вплив тривалого застосування добрив (впродовж 19 років) на стійкість агрегатів та структуру ґрунту. Вивчали вплив мінеральних (азотних, фосфорних і азотно-фосфорних) та органічних і органо-мінеральних добрив (гною, гною в комбінації з азотними й азотно-фосфорними добривами). Встановлено, що лише на варіантах із застосуванням органічних добрив відбувалося значне поліпшення структури ґрунту.

Використання функціональних добрив (наприклад, добриво на основі кальцинованого доломіту) сприяє утворенню стабільних агрегатів. При цьому збільшується кількість еластичних і водостійких агрегатів та знижується швидкість їх диспергації [18].

Одним із способів поліпшення структури ґрунту є вирощування рослин з глибокою кореневою системою, наприклад, люцерни. Дослідженнями [19] встановлено позитивний вплив фітомеліорантів на структурний стан чорнозему опідзоленого. Найвищі значення коефіцієнта структурності ґрунту на варіантах з люцерною та еспарцетом.

Зрошення, як потужний антропогенний фактор регулювання водного режиму та підвищення врожайності, впливає на фізичний стан і структуру ґрунту, про що свідчать дослідження як вітчизняних, так і закордонних вчених [7, 12, 20, 21, 22, 23]. Було встановлено, що високоінтенсивне зрошення сприяє руйнуванню ґрунтових агрегатів через дію краплин води [24]. Причинами погіршення структурно-агрегатного складу за зрошення дослідники називають наявність колоїдного кремнезему, карбонатів натрію та магнію, хлористих та сірчанокислих солей, що викликають диспергацію та осолонцювання ґрунту [1, 20, 21, 25]. Ступінь змін визначається не лише якістю зрошувальної води, але й культурою землеробства, рівнем застосування меліоративних заходів, способом подачі води, механічною деформацією ґрунту, яка в умовах зрошення вище, ніж у незрошуваних умовах [1, 26].

Дослідженнями [27] встановлено, що використання мульчі за краплинного зрошення сприяє підвищенню стабільності ґрунтових агрегатів завдяки підвищенню запасів органічного вуглецю.

Слід зауважити, що наявні в літературі дані стосуються переважно того періоду, коли проводилося інтенсивне зрошення, а сучасний етап іригації є мало вивченим в аспекті впливу ресурсоощадних способів поливу на структурно-агрегатний склад ґрунту, особливо чорноземів, за використання води різної якості, в різних сівозмінах та за різних систем удобрення в сучасних умовах кліматичних змін [28, 29]. Тому актуальність та практична значущість досліджень з оцінювання структурно-агрегатного складу зрошуваних ґрунтів та розроблення заходів з його оптимізації зростає.

Метою написання статті було представлення результатів наукових досліджень з визначення змін у структурно-агрегатному складі чорнозему типового під впливом тривалого зрошення та використання в овочево-кормовій сівозміні за різних систем удобрення.

2. Об’єкти та методи досліджень

Дослідження проводили у тривалому стаціонарному польовому досліді, закладеному на виробничому полі Інституту овочівництва і баштанництва НААН, у Харківській області у межах зони Лісостепу. Ґрунт дослідної ділянки представлено чорноземом типовим (Haplic Chernozem). Гранулометричний склад ґрунту, визначений за класифікацією Н. А. Качинського (ДСТУ 4730:2007), є важкосуглинковим з умістом фракції < 0,01 мм (фізичної глини) у шарі 0-30 см від 50 до 57 %.

Дослід закладено у 1967 році з інтенсивною 4-пільною зрошуваною овочевою сівозміною. Але після четвертої ротації (у 1984 році) було проведено реконструкцію схеми досліду через погіршення властивостей ґрунту та розвиток деградаційних процесів. До сівозміни було додано багаторічні трави, ячмінь і пшеницю. Зараз дослід включає 9 культур овочево-кормової сівозміни з таким чергуванням: ячмінь з підсівом люцерни – люцерна першого та другого років використання – огірок – озима пшениця – цибуля ріпчаста – томат – капуста білоголова – буряк столовий. На період відбору проб ґрунту тривалість ведення досліду та зрошення становила 56 років.

Загальна площа дослідної ділянки — 58,3 м^2 (8,33×7,0 м), облікова — 36,4 м^2 (5,6×6,5 м); повторність — 4-разова; розміщення ділянок — систематичне у два яруси.

Ґрунт досліду тривалий час зрошується прісною водою із річки Мжа. Спочатку застосовували дощування, а впродовж останніх 20 років для поливу овочевих культур сівозміни застосовують краплинний спосіб. Схемою досліду передбачено полив лише овочевих культур.

Дослідження проводили у 2023 році на 8 ключових варіантах (Табл. 1) 9-пільного польового досліду з різними системами удобрення: сидеральною, органо-мінеральною, органічною, мінеральною, інтенсивною та біологічною. Вирощувана культура — ячмінь з підсівом люцерни, тобто, цього року зрошення не проводили. Для порівняння ми включили ще один додатковий варіант «0», за який взято незрошувану ділянку ріллі у безпосередній близькості до дослідного поля.

Таблиця 1
Схема досліду за краплинного зрошення (2023 р., ячмінь з підсівом люцерни)

Варі-ант	Система удобрення	Мінеральні добрива	Гній[1] (післядія)	Біопрепарат, спосіб і доза внесення
0	Без добрив, без зрошення			
1	Без добрив	—	—	—
2	Сидеральна	—	—	Органік-баланс, обробка насіння, 1 л/т
3	Органо-мінеральна	$N_{60}P_{60}K_{60}$	14 т/га	—
4	Органічна	—	21 т/га	—
5	Мінеральна	$N_{60}P_{60}K_{60}$	—	—
6	Органічна	—	14 т/га	—
9	Інтенсивна	$N_{110}P_{130}K_{60}$	—	—
12	Біологічна	—	9 т/га	Органік-баланс, обробка насіння, 1 л/т

[1] На 1 га сівозмінної площі

Проби ґрунту на визначення структурно-агрегатного складу відбирали у вересні 2023 року з шарів 0–15, 15–25, 30–40 см у міжряддях культури.

Розподіл агрегатів за розміром визначали в лабораторних умовах методом сухого просіювання (на колонці сит з чарунками 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0; 10,0 мм) у модифікації Н. І. Саввінова згідно з ДСТУ 4744:2007[1]. Водостійкість агрегатів — методом просіювання у воді після попереднього замочування (за цією ж методикою на колонці сит з чарунками 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0 мм).

На підставі результатів просіювання розраховували, згідно з ДСТУ 4744:2007, значення коефіцієнтів структурності ($К_{стр}$) та водостійкості ($К_{вод}$). Коефіцієнт структурності обчислювали як відношення суми фракцій 0,25–10 мм до суми фракцій розміром менше 0,25 мм та більше 10 мм за сухого просіювання, а коефіцієнт водостійкості — як відношення суми агрегатів розміром більше 0,25 мм за просіювання у воді до суми агрегатів розміром більше 0,25 мм за сухого просіювання.

Для аналізу змін, які відбулися в структурному стані ґрунту під впливом багаторічного зрошення й удобрення, скористалися деякими даними досліджень, виконаних лабораторією родючості зрошуваних ґрунтів ІҐА ім. О. Н. Соколовського у 1994 р. (С. А. Балюк [20]).

Обробку результатів аналізування проводили з використанням методів математичної статистики (кореляційно-регресійний аналіз) за допомогою програм Statistica та Microsoft Excel.

3. Результати досліджень

Зрошення ґрунту дослідної ділянки проводиться 56 років, з моменту закладки досліду. Внаслідок тривалого використання чорнозему типового в інтенсивній овочевій сівозміні, обробітку ґрунту, механічного навантаження та зрошення (дощуванням) відбулися зміни структурно-агрегатного складу. Дослідженнями С. А. Балюка [20] на цьому стаціонарі (до реконструкції досліду) в період інтенсивного зрошення та вирощування овочевих культур у сівозміні встановлено підвищення вмісту брилистої фракції (> 10 мм) з 19–20 до 20–44 % та зниження вмісту суми агрономічно корисних (за розміром) фракцій (0,25–10,0 мм) з 76–77 до 75–42 % порівняно з незрошуваним ґрунтом. Коефіцієнт структурності при цьому знизився з 3,0–3,3 до 1,0–3,0. За збільшення терміну зрошення зберігалися відмічені зміни у структурно-агрегатному складі ґрунту. Зменшення вмісту структурних фракцій агрономічно корисного розміру пов’язано з підвищенням концентрації та активності іонів натрію та зниженням концентрації та активності іонів кальцію за зрошення прісною водою, механічним впливом зрошувальної води та сільськогосподарської техніки.

Після реконструкції досліду та включення до сівозміни багаторічних трав (два поля) подальшими дослідженнями [20], по закінченню п’ятої ротації, відмічено позитивну тенденцію до поліпшення структурно-агрегатного складу зрошуваного чорнозему типового. Це свідчить про потенціал ролі культур-фітомеліорантів у регенерації структури ґрунту, що пов’язано з їх розвиненою кореневою системою, надходженням рослинних решток, підвищенням вмісту гумусу, здатністю підтягувати кальцій із нижніх горизонтів ґрунту та поліпшувати властивості ґрунту. Так, відмічалося поступове відтворення родючості ґрунту — зменшення вмісту брилистої фракції та збільшення вмісту агрономічно корисних агрегатів. Особливо помітним було поліпшення структурно-агрегатного складу у ґрунті варіанта з внесенням гною у дозі 32 т/га сівозмінної площі. Згідно з класичним ствердженням [30], включення до сівозміни багаторічних трав на 2–3 роки є «експрес» методом поліпшення фізичного стану ґрунту.

Нашими сучасними дослідженнями (по закінченню восьмої ротації) було визначено структурно-агрегатний склад чорнозему типового під реконструйованою сівозміною. Термін використання ґрунту після реконструкції та включення до сівозміни багаторічних трав становив 39 років (чотири ротації). Проведено порівняння даних, отриманих нами по закінченню восьмої ротації досліду, з даними, отриманими С. А. Балюком по закінченню п’ятої ротації (1994 р.), тобто, визначено зміни за період 29 років.

Результати щодо структурно-агрегатного складу ґрунту, а саме, вмісту макроагрегатів розміром 0,25–10,0 мм, є інформативним показником рівня сільськогосподарського навантаження на ґрунт, інтенсивності його використання та застосування заходів з підвищення родючості й посилення здатності ґрунту до структуроутворення. Дані, отримані за сухого просіювання зразка ґрунту, свідчать, що, порівняно з незрошуваним ґрунтом, за тривалого зрошення прісною водою у контрольному варіанті досліду (без удобрення) в чорноземі типовому існує тенденція до

[1] ДСТУ 4744:2007. Якість ґрунту. Визначання структурно-агрегатного складу ситовим методом у модифікації Н. І. Саввінова. [Чинний від 2008–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 12 с.

зменшення вмісту макроагрегатів розміром 0,25–10,0 мм (Рис. 1) та збільшення вмісту фракції > 10,0 мм (Рис. 2).

Так, у незрошуваному ґрунті вміст брилистої фракції (> 10,0 мм) у шарі 0–15 та 15–25 см становив 10,4–10,5 %, а у шарі 30–40 см — 10,2 %. У ґрунті контрольного варіанта (за зрошення, без добрив) цей показник становив відповідно 13,6; 12,4 та 15,4 %. Вміст макроагрегатів (0,25–10,0 мм) у незрошуваному ґрунті був вищим, ніж у ґрунті контрольного варіанту досліду і становив за досліджуваними глибинами 12,4–15,3 %. Значення коефіцієнта структурності у ґрунті тривало зрошуваної контрольної ділянки, порівняно з незрошуваним аналогом, були нижчими і становили відповідно 4,1-4,7 та 5,1-5,4 (Рис. 3). Тобто, зрошення без удобрення викликало негативні зміни структурності ґрунту.

З аналізу результатів досліджень сучасного етапу ведення досліду, порівняно з даними, отриманими до реконструкції схеми (в інтенсивній овочевій сівозміні) [20], встановлено підвищення вмісту агрегатів агрономічно корисних розмірів (0,25–10,0 мм) та, відповідно, підвищення значень коефіцієнта структурності. Це свідчить про позитивний вплив трансформації сівозміни з овочевої на овочево–кормову завдяки насиченню її ячменем з підсівом люцерни та двома полями люцерни — 1 та 2 року використання. Виявлено, що в результаті цього відбулося поступове підвищення вмісту органічної речовини, покращилися показники поживного режиму, фізичні властивості, тобто відбулося відновлення родючості ґрунту, яка погіршилася через інтенсивне використання ґрунту у зрошуваній овочевій сівозміні. Відомо, що люцерна, завдяки своїй фітомеліоративній дії, здатна поліпшувати фізичні, хімічні і біологічні властивості ґрунтів. Ця бобова культура є гарним попередником для культур сівозміни. Висвітлення всіх позитивних змін у стані ґрунту не є предметом цієї статті, але результати опубліковано в інших наших роботах [31].

До того ж слід відмітити, що впродовж останніх 20 років в досліді застосовується ресурсозбережувальний тип поливу — краплинне зрошення, тому, відповідно, зменшилося антропогенне навантаження та дія води на ґрунт порівняно з періодом суцільного інтенсивного зрошення дощуванням овочевих культур сівозміни. Адже, як свідчать висловлювання В. В. Медведєва стосовно впливу гідромеліорацій на стан структури ґрунту [1], найбільшої шкоди їй завдають будь-які механічні навантаження і тиск техніки на ґрунт, що викликають деградацію агрегатів.

Порівняння даних сучасного структурно-агрегатного складу ґрунту контрольного варіанта досліду, отриманих у 2023 році, з результатами роботи вчених, які проводили дослідження в цьому досліді у перші роки після реконструкції досліду (дані С. А. Балюка, 1994 [20]) свідчить, що за період після реконструкції, внаслідок насичення сівозміни багаторічними травами відмічається позитивний ефект — поліпшення структурно-агрегатного складу зрошуваного чорнозему типового. Так, було констатовано підвищення вмісту макроагрегатів (розміром 0,25–10,0 мм) в орному шарі (0-30 см) з 67,5 до 81,2 % за рахунок зменшення вмісту брилистої фракції відповідно з 24,8 до 13,1 %.

Аналіз результатів визначення сучасного вмісту суми фракцій макроагрегатів розміром 0,25–10,0 мм (Рис. 1) свідчить, що на варіантах із застосуванням сидеральної, органо-мінеральної, органічної, біологічної та інтенсивної (NPK+мікродобрива) систем удобрення параметри структурно-агрегатного складу є більш позитивними порівняно з неудобрюваним зрошуваним контролем. Між варіантами досліду існує достовірна різниця за вмістом макроагрегатів. На варіантах із системами удобрення вміст їх у верхньому шарі ґрунту (0–15 см), який зазнає найбільшого антропогенного впливу, коливався від 81,6 до 85,7 %. Глибше, у ґрунті шару 15–25 см, на удобрених варіантах досліду відмічали більший вміст агрегатів розміром 0,25–10 мм порівняно з верхнім шаром 0–15 см. У підорному шарі (30–40 см) вміст цих агрегатів був помітно вищим порівняно з верхнім шаром, що пов’язано зі зменшенням з глибиною механічного тиску сільськогосподарської техніки та руйнівної дії поливної води.

Найбільш високий вміст агрегатів агрономічно цінного розміру зафіксовано на варіанті 4 з органічною ситемою удобрення (внесення гною 21 т/га сівозмінної площі), варіанті 3 з органо-мінеральною системою (внесення гною 14 т/га сівозмінної площі та $N_{60}P_{60}K_{60}$), а також на варіанті 12 з біологічною системою. Це, на наш погляд, повязано зі збільшенням накопичення зеленої маси, що зумовило поліпшення гумусового стану, а отже, мікробіологічної активності грунту та поживного режиму. В результаті цього підвищилася здатність ґрунту до утворення структури.

Уведення до сівозміни багаторічних трав та застосування різних систем удобрення з внесенням органічних речовин, сидератів та мікробних препаратів, безумовно забезпечувало підтримання рівня вмісту органічної речовини та його підвищення порівняно з контрольним варіантом, особливо на варіантах з органічною та біологічною системами удобрення.

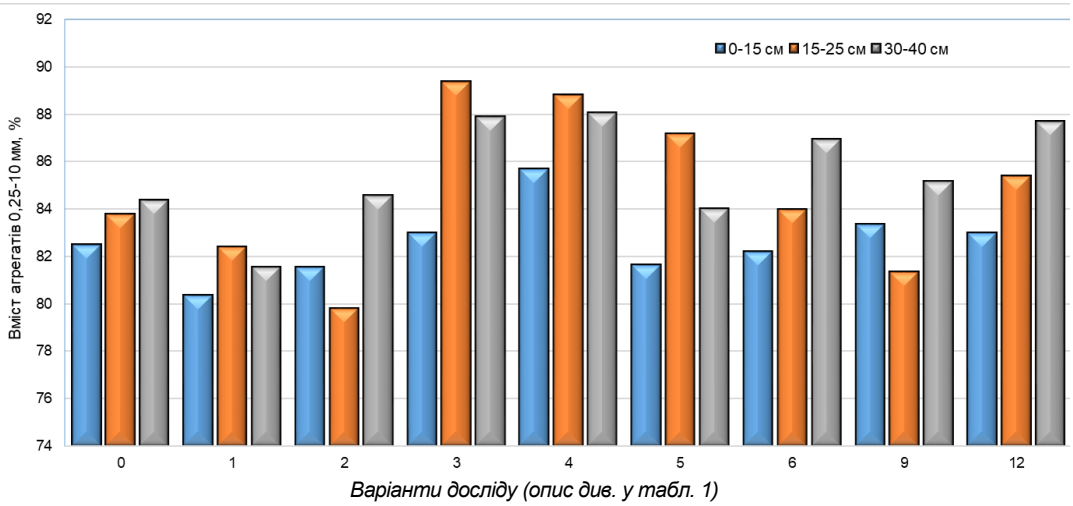


Рис. 1. *Вміст структурних агрегатів 0,25–10,0 мм у різних шарах ґрунту на варіантах досліду (вересень 2023 р.)*

Як показали наші дослідження [31], вміст органічного вуглецю у шарі 0–30 см на вказаних варіантах становив 2,35–2,42 %, а на контролі — 2,14 %. Для встановлення кореляційного зв'язку між вмістом агрегатів агрономічно корисного розміру та вмістом органічного вуглецю у ґрунті на варіантах досліду розраховано коефіцієнт Пірсона, який свідчить про лінійну залежність між цими двома величинами. Коефіцієнт кореляції становить 0,84, а коефіцієнт детермінації — 0,71, що свідчить про тісний зв'язок між досліджуваними величинами [31].

Вміст брилистих структурних окремостей (> 10,0 мм) при цьому мав, відповідно, протилежну тенденцію (Рис. 2). На варіанті 4, з внесенням гною 21 т/га сівозмінної площі, вміст брил був мінімільним у шарах грунту 0–15, 15–25 см і становив відповідно 6,99 та 7,85 %. Також на варіанті 6 з органічною ситемою удобрення (14 т/га гною) кількість брил у верхньому шарі грунту була нижче порівняно з іншими варіантами досліду. Отже, органічна система удобрення забезпечувала підвищення вмісту у грунті макроагрегатів агрономічно цінного розміру та зменшення вмісту брилистих фракцій.

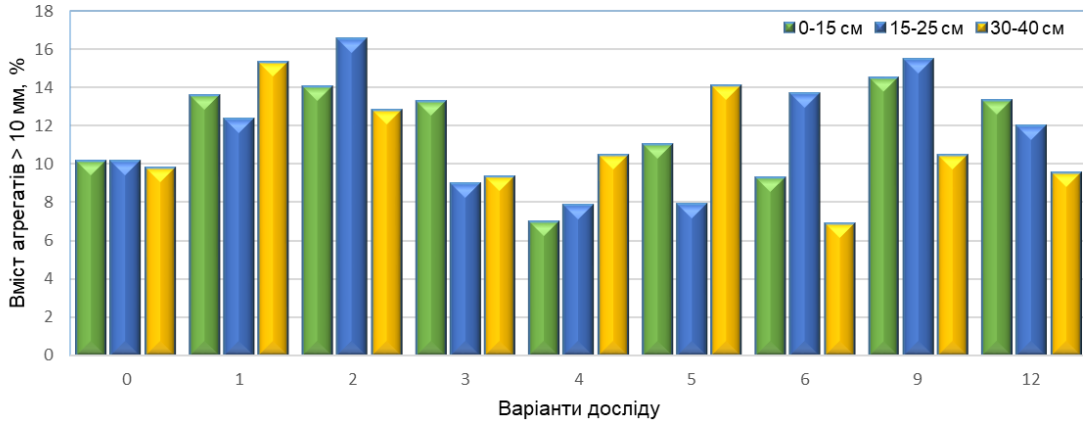
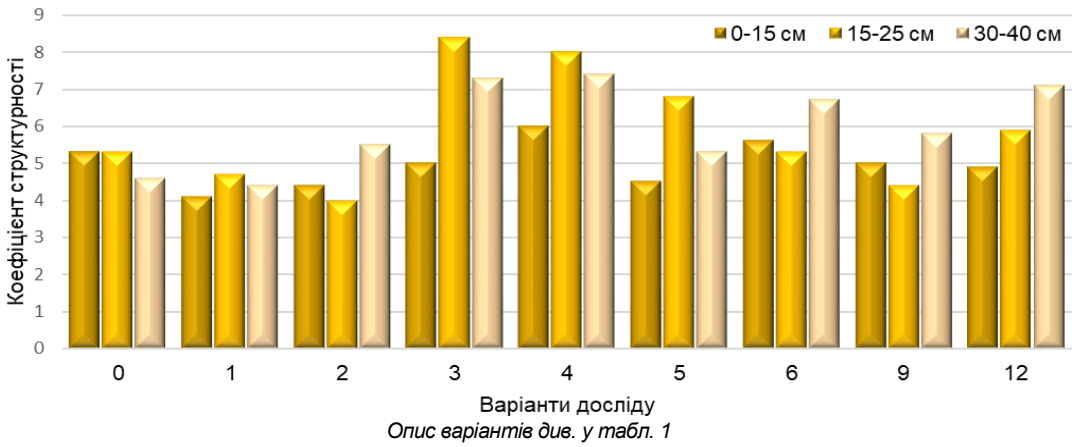


Рис. 2*. Вміст агрегатів брилистої фракції (> 10,0 мм) у різних шарах ґрунту (вересень 2023 р.)*

Розраховані значення коефіцієнта структурності (Рис. 3) найвищими є на варіантах з органічною системою удобрення (4 та 6), де ґрунт, відповідно, краще оструктурений.

Оцінювання структурного стану ґрунту за вмістом повітряно-сухих агрегатів розміром 0,25–10,0 мм виконано за шкалою С. І. Долгова та П. У. Бахтіна (1966) (наведено в монографії В. В. Медведєва [1]), де найвища оцінка дається вмісту більше 80 %. Результати аналізу свідчать, що їх вміст у ґрунті всіх варіантів досліду знаходився в межах оптимуму, а стан ґрунту, згідно з обраною шкалою, оцінювався як відмінний.



Опис варіантів див. у табл. 1

Рис. 3. *Значення коефіцієнта структурності ґрунту в різних шарах*

Важливою властивістю ґрунту є водостійкість структурних агрегатів — здатність зберігати форму, розміри й тривалий час не розмиватися водою, що відбивається на здатності ґрунту не утворювати на поверхні кірку після дощу або поливу (Табл. 2).

Таблиця 2
Вміст водостійких агрегатів за результатами просіювання у воді

Варіант досліду — система удобрення*	Шар ґрунту, см	Вміст структурних агрегатів (%) за розміром (мм)		
		> 3	3–0,25	> 0,25
0 Без добрив і без зрошення	0-15	0,7	67,5	68,2
	15-25	0,6	65,7	66,3
	30-40	0,8	60,2	61,0
1 Без добрив	0-15	1,2	59,1	60,3
	15-25	1,6	60,3	61,9
	30-40	0,2	57,7	57,9
2 Сидеральна	0-15	1,8	64,3	66,1
	15-25	0,9	69,8	70,7
	30-40	0,9	52,6	53,5
3 Органо-мінеральна	0-15	2,2	67,3	69,5
	15-25	2,1	72,6	74,7
	30-40	0,4	55,1	55,5
4 Органічна	0-15	1,3	71,9	73,2
	15-25	2,2	63,7	65,9
	30-40	3,0	58,6	61,6
5 Мінеральна	0-15	1,2	65,8	67,0
	15-25	1,5	53,2	54,7
	30-40	0,4	60,6	61,0
6 Органічна	0-15	0,9	67,0	67,9
	15-25	0,7	64,1	64,8
	30-40	0	55,8	55,8
9 Інтенсивна	0-15	1,2	66,7	67,9
	15-25	1,6	67,7	69,3
	30-40	0,2	68,6	68,8
12 Біологічна	0-15	2,1	62,0	64,1
	15-25	3,6	68,1	71,7
	30-40	0,2	65,0	65,2

* Примітка: Детальний опис варіантів див. у табл. 1

Водостійкість агрегатів визначає якість структури ґрунту та її агрономічну цінність, здатність протистояти зовнішнім впливам, зокрема впливу зрошувальної води.

Проведеними дослідженнями встановлено, що сумарний вміст водостійких макроагрегатів (> 0,25 мм) в ґрунті на всіх варіантах досліду знаходиться в межах оптимуму (згідно з ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів), або нижче за нього на окремих глибинах (Табл. 2). Згідно з оцінкою [1], структурний стан досліджуваного чорнозему типового за показником водостійкості можна оцінити переважно як відмінний (сумарний вміст водостійких агрегатів відповідає градації 60–

75 %) та добрий (відповідно 40–60 %). Незрошуваний ґрунт характеризувався більшим умістом водостійких агрегатів розміром більше 0,25 мм, що пов'язано з меншим антропогенним навантаженням та мінералізаційними процесами. На варіантах із застосуванням різних систем удобрення вміст водостійких агрегатів був вище порівняно з контролем, що пов'язано з покращенням умов формування структури ґрунту. Найвищою сумарна кількість водостійких агрегатів (> 0,25 мм) була на варіантах 3 і 4 із застосуванням органічних добрив — пріоритетного засобу посилення структуроутворювальної функції ґрунту. У ґрунті більшості варіантів досліду у шарі 15–25 см вміст водостійких агрегатів був вищим ніж у верхньому шарі, що повязано зі зменшенням меліоративного та механічного впливу.

На удобрюваних ділянках відмічали більш високі значення коефіцієнта водостійкості, так само як і на незрошуваному ґрунті, порівняно із контрольним варіантом без застосування добрив (Рис. 4).

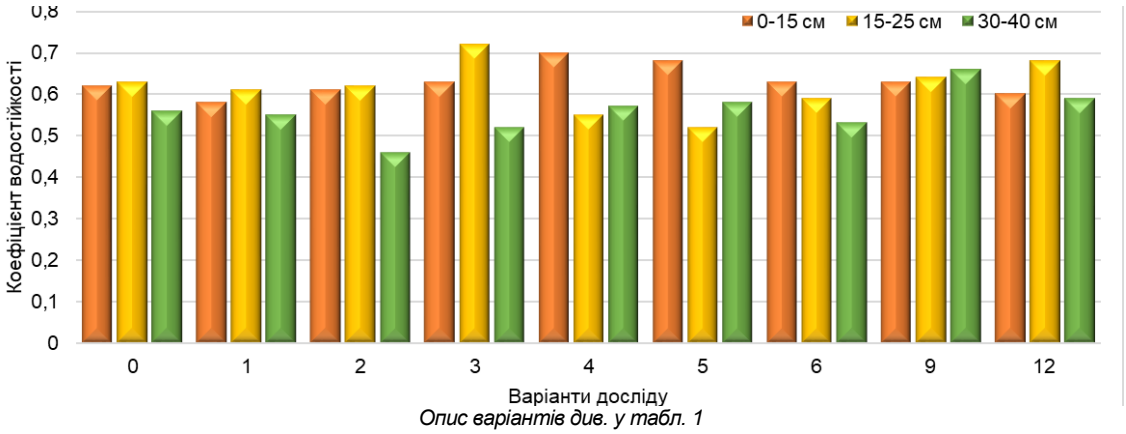


Рис. 4. *Значення коефіцієнта водостійкості макроагрегатів у різних шарах ґрунту*

Найвище значення коефіцієнта водостійкості макроагрегатів у верхньому (0–15 см) шарі зафіксовано у варіанті 4 з внесенням гною 21 т/га сівозмінної площі. $К_{вод.}$ по профілю ґрунту розподілявся таким чином, що з глибиною значення його незначно знижувалися. Ймовірно, це пов'язано з максимальним ефектом дії систем удобрення та більш розгалуженою кореневою системою у верхньому шарі. Дослідження проводилися нами в рік, коли культурою сівозміни був ячмінь з підсівом багаторічних трав. Коренева система люцерни ще тільки формувалася і не проникла ще значно вглиб. На наступний рік ефект меліоративної дії люцерни, на наш погляд, має бути вищим, оскільки коренева система вирощуваної культури (люцерни) буде більш потужною та розгалуженою, а вона є одним із чинників утворення водостійких агрегатів.

4. Висновки

Проведеними сучасними дослідженнями встановлено, що за період після реконструкції досліду (29 років) внаслідок трансформації сівозміни на овочево-кормову та насичення її багаторічними травами, а також за застосування різних систем удобрення відмічається позитивний ефект, пов'язаний з покращенням структурно-агрегатного складу зрошуваного чорнозему типового. Так, порівняно з попереднім періодом досліджень відбулося підвищення вмісту агрегатів агрономічно корисного розміру (0,25–10,0 мм) в орному шарі (0–30 см) контрольного (неудобрюваного) варіанту з 67,5 % до 81,2 % за рахунок зменшення вмісту брилистої фракції (> 10,0 мм) відповідно з 24,8 до 13,1 %. Це свідчить про підвищення стійкості структури ґрунту до дії антропогенних чинників та оптимізацію властивостей зрошуваного ґрунту. Застосування ресурсозбережувального способу поливу також позитивно вплинуло на структурно-агрегатний склад ґрунту. На варіантах із різними системами удобрення параметри структурно-агрегатного складу позитивно відрізнялися від неудобреного, про що свідчать дані щодо вмісту макроструктурних агрегатів і коефіцієнтів структурності та водостійкості.

Результати оцінювання стану ґрунтів за агрофізичними показниками є дієвим практичним інструментом для вибору й обґрунтування управлінських та технологічних рішень щодо удосконалення режиму функціонування зрошуваних ґрунтів, оптимального їх використання, підвищення їх родючості, застосування сучасних систем зрошення, удобрення та обробітку ґрунту.

Підтвердження. Публікація містить результати досліджень, проведених у рамках ПНД НААН 1 Раціональне використання і стале управління ґрунтовими ресурсами, збереження родючості та здоров'я ґрунтів, захист їх від деградації (Ґрунтові ресурси України: інформаційне забезпечення, раціональне використання, менеджмент, технології) за завданням 01.01.03.02.Ф. Розробити наукові основи управління родючістю гідродефіцитних ґрунтів в умовах змін клімату та земельних відносин.

Список використаних джерел

1. Медведев В. В. *Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана)*. Харьков: Изд-во «13 типография», 2008. 406 с.

2. Schlueter S., Sammartino S., Koestelc J. Exploring the relationship between soil structure and soil functions via pore-scale imaging. *Geoderma.* 2020. Vol. 370. 114370. https://doi.org/10.1016/j.Geoderma.2020.114370

3. Rabot E., Wiesmeier M., Schlüter S., Vogel H. J. Soil structure as an indicator of soil functions. *Geoderma*. 2018. Vol. 314. P. 122–137. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009

4. Handbook of Soil Sciences Properties and Processes. Ed. by Huang P.M., Li Y., Sumner M.E. 2nd ed. Boca Raton (FL). CRC Press, 2012. 1442 p. https://doi.org/10.1201/b11267

5. Šimansky V., Balashov E., Horak J. Water stability of soil aggregates and their ability to sequester carbon in soils of vineyards in Slovakia. *Archives Agronomy and Soil Science.* 2015. Vol. 62. P. 177–197. https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1048683

6. Naveed M., Moldrup P., Vogel H.-J., Lamande M., Wildenschild D., Tuller M., Jonge L.W. Impact of long-term fertilization practice on soil structure evolution. *Geoderma*. 2014. Vol. 217. P. 181–189. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.001

7. Diaz-Zorita J.H., Grove E. Aggregation, fragmentation, and structural stability measurement. *Encyclopedia of Soil Science*. 2002. P. 37–40. URL: http://surl.li/rqjqne

8. Santander-Mendoza S. D., Falcon-Acosta M. C., Suarez-Santana M., Duran-Alvarez J. L. Structure Degradation in an Agrogenic Soil. Analysis of Incident Factors and Associated Conservation Measures. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2021. Vol. 30, No. 4. e03. URL: https://www.redalyc.org/journal/932/93269383003/html/

9. Шевченко М. В. *Наукові основи систем обробітку ґрунту в умовах нестійкого та недостатнього зволоження : монографія*. Харків: Майдан, 2019. 209 с.

10. Сиромятников Ю. М. Вплив технологічних заходів на структурно-агрегатний склад ґрунту при вирощуванні буряку цукрового. *Вісник аграрної науки*. 2023. 101(11). С. 60-66. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202311-08

11. Tagar A. A., Adamowski J., Memon M. S., Cuong D. M., Mashori A. S., Soomro A. S., Bhayo W. A. Soil fragmentation and aggregate stability as affected by conventional tillage implements and relations with fractal dimensions. *Soil and Tillage Research*. 2020. Vol. 197. 104494. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104494

12. Ciric V., Manojlovic M., Nesic Lj., Belic M**.** Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2012. 12(4). P. 689–703. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000025

13. Zhang J., Wei Y., Liu J., Yuan J., Liang Y., Ren J., Cai H. Effects of maize straw and its biochar application on organic and humic carbon in water-stable aggregates of a Mollisol in Northeast China: A five-year field experiment. *Soil Tillage Res*earch. 2019, Vol. 190. P. 1–9. https://doi.org/10.1016/J.STILL.2019.02.014

14. Abiven S., Menasseri S., Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. 2009. Vol. 41. P. 1–12. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.09.015

15. Соколовский А. Н. Структура почв и ее сельскохозяйственная ценность. *Избранные труды*. Киев: Урожай, 1971. С. 166–178.

16. Ren J., Zou Y., Liu B., Zhang C. Study on aggregate formation mechanism of soil in limestone. *Carsologica Sinica*. 2019. Vol. 38(5). P. 722–728.

17. Tuo D., Xu M., Li O., Sihan L. Soil Aggregate Stability and Associated Structure Affected by Long-Term Fertilization for a Loessial Soil on the Loess Plateau of China. *Pol. J. Environ. Stud*. 2017. 26(2). P. 827–835. https://doi.org/10.15244/pjoes/66716

18. Zhan Y., Jiang K., Jiang J., Zhang L., Gao C., Qi X., Fan J., Li Y., Sun S., Fan X. Soil Aggregate Construction: Contribution from Functional Soil Amendment Fertilizer Derived from Dolomite. *Sustainability*. 2022. Vol. *14*(19). 12287. https://doi.org/10.3390/su141912287

19. Цапко Ю. Л., Огородня А. І. Вплив культур-фітомеліорантів на структурний склад чорнозему опідзоленого Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва*. 2014. №2. С. 20-25.

20. Балюк С. А. Орошаемые черноземы Лесостепи и Северной Степи Украины: оценка состояния, охрана и повышение плодородия: автореф. дисс. … д-ра с.-х. наук : 06.01.03. Харьков, 1996. 39 с.

21. Ковда В. А. Опыт оросительных мелиораций. *Мелиорация почв в СССР*. М., 1971. С. 94-114.

22. Drewry J. J., Carrick S., Penny V., Houlbrooke D., Laurensond S., Mesmane N. Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* 2021. 64(4). P. 483–507. https://doi.org/10.1080/00288233.2020.1742745

23. Воротинцева Л. І. *Наукові підходи до сталого управління родючістю гідродефіцитних ґрунтів в умовах змін клімату*: монографія. Київ: Аграрна наука, 2023. 352 с. https://doi.org/10.31073/978-966-540-591-7.

24. Amézketa E. Soil Aggregate Stability: A Review. *Journal of Sustainable Agriculture*. 1999. 14(2-3). P. 83–151. https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08

25. Антипов-Каратаев И. П., Филиппова В. Н. *Влияние длительного орошения на почвы*. М., 1955. 208 с.

26. Ромащенко М. І., Балюк С. А. *Зрошення земель в Україні. Стан та шляхи поліпшення*. Київ, 2000. 114 с.

27. Tan M., Li W., Zong R., Li X., Yue H., Luo P., Dhital Y., Lin H., Li H., Wang Z. Long-term mulched drip irrigation enhances the stability of soil aggregates by increasing organic carbon stock and reducing salinity. *Soil and Tillage Research*. 2024. Vol. 240. 106069. https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106069

28. Рябков С. В., Павелківська О. Є., Усата Л. Г., Павелківський О. В. Зміни фізичних показників під впливом краплинного зрошення виноградників. *Таврійський науковий вісник*. 2012. Вип. 82. С. 191-196. URL: https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/82_2012/82_2012.pdf

29. Рябков С. В., Усата Л. Г., Новачок О. М., Новачок І. О. Вплив краплинного зрошення, якості поливної води та удобрення на структурно-агрегатний склад ґрунтів. *Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки».* 2016. Вип. 4 (76). С. 67–78. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/9139/1/Vt767.pdf.zax.pdf

30. Вершинин П. В. Почвенная структура и условия ее формирования. М.-Л.:, 1958. 186 с.

31. Воротинцева Л.І., Панарін Р.В. Варіабельність характеристик поживного режиму в зрошуваному ґрунті за різних систем удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ «ІҐА ім. О. Н. Соколовського». С. 24-35. https://doi.org/10.31073/acss95-03

UDC 631.4

Structural and aggregate composition of typical chernozem under long-term irrigation and fertilization in vegetable and fodder rotation

L. I. Vorotyntseva, R. V. Panarin

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine
**E-mail*: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

The structural and aggregate composition of the soil is one of the important indicators that determine the soil quality and affect the yield of agricultural crops. The purpose of the research is to determine the impact on the structure of typical chernozem (Haplic Chernozem) of long-term (since 1965) irrigation with suitable water for the use of soil in vegetable and fodder crop rotation. The research carried out in the stationary field experiment of the Institute of vegetable growing and melon growing of the National Academy of Agricultural Sciences in the Kharkiv region within the Left Bank Forest Steppe of Ukraine. Drip irrigation has been used for the last 20 years. Changes in the parameters of the structural and aggregate composition of the soil were evaluated by comparing the current state with the state in the first rotation after the reconstruction of the experimental scheme. The reconstruction included the transformation of the crop rotation from vegetable to vegetable-forage and its saturation with perennial grasses, the use of various fertilization systems, as well as a resource-saving method of watering. It was established that in the period after the reconstruction, there were positive changes in the parameters of the structural and aggregate composition of the typical irrigated chernozem. The content of macroaggregates with an agronomically useful size (0.25–10.0 mm) in the soil increased significantly — in the arable layer (0–30 cm) of the control (non-fertilized) variant from 67.5 to 81.2 %, due to a decrease in the content of the clod fraction (> 10.0 mm), respectively, from 24.8 to 13.1 %. In the variants with different fertilization systems, the parameters of the structural-aggregate composition of the soil were better compared to the control, as evidenced by the data on the content of agronomically useful aggregates and the clod fraction, the coefficients of structure and water resistance. At the time of the study, the content of aggregates of 10-0.25 mm in size in the soil in all experimental variants was within the optimum, and the state of the soil structure assessed as excellent.

***Citing*:** Vorotyntseva L. I., Panarin R. V. (2024). Structural and aggregate composition of typical chernozem under long-term irrigation and fertilization in vegetable and fodder crop rotation. *AgroChemistry and Soil Science,* 96, 30–40. https://doi.org/10.31073/acss96-04 [in Ukrainian]

References

1. Medvedev, V. V. (2008). *Soil structure (methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, protection).* Kharkiv: Publishing House "13 Press" [in Russian].

2. Schlueter, S., Sammartino, S., & Koestelc, J. (2020). Exploring the relationship between soil structure and soil functions via pore-scale imaging. *Geoderma,* 370, 114370. https://doi.org/10.1016/j.Geoderma.2020.114370 .

3. Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., & Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions. *Geoderma,* 314, 122–137. https://doi.org/10.1016/j

4. Huang, P. M., Li, Y. & Sumner, M. E. (Eds.) (2012). *Handbook of Soil Sciences Properties and Processes*. 2nd ed. Boca Raton (FL). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b11267

5. Šimansky, V., Balashov, E., & Horak, J. (2015). Water stability of soil aggregates and t, heir ability to sequester carbon in soils of vineyards in Slovakia. *Archives Agronomy and Soil Science,* 62, 177-197.

6. Naveed, M., Moldrup, P., Vogel, H. J., Lamande, M., Wildenschild, D., Tuller, M., & Jonge, L. W. (2014). Impact of long-term fertilization practice on soil structure evolution. *Geoderma*, 217, 181-189. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.001

7. Diaz-Zorita, J. H., & Grove E. (2002). Perfect aggregation, fragmentation, and structural stability measurement. *Encyclopedia of Soil Science (pp. 37–40).*

8. Santander-Mendoza, S. D., Falcon-Acosta, M. C., Suarez-Santana, M., & Duran-Alvarez, J. L. (2021). Structure degradation in an agrogenic soil. Analysis of incident factors and associated conservation measures. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4), e03. URL: https://www.redalyc.org/journal/932/93269383003/html/

9. Shevchenko, M. V. (2019). *The science of soil processing systems in the storage of unstable and insufficient digestion*: monograph. Kharkiv: Maidan [in Ukrainian].

10. Syromyatnikov, Yu. M. (2023). The influence of technological measures on the structural and aggregate composition of the soil during the cultivation of sugar beet. *Bulletin of Agricultural Science,* 101(11), 60-66. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202311-08 [in Ukrainian].

11. Tagar, A. A., Adamowski, J., Memon, M. S., Cuong, D. M., Mashori, A. S., Soomro, A. S., & Bhayo, W. A. (2020). Soil fragmentation and aggregate stability as affected by conventional tillage implements and relations with fractal dimensions. *Soil and Tillage Research,* 197, 104494. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104494

12. Ciric, V., Manojlovic, M., Nesic, Lj., **&** Belic, M. (2012). Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition,* 12(4), 689-703. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000025

13. Zhang, J., Wei, Y., Liu, J., Yuan, J., Liang, Y., Ren, J., & Cai, H. (2019). Effects of maize straw and its biochar application on organic and humic carbon in water-stable aggregates of a Mollisol in Northeast China: A five-year field experiment. *Soil and Tillage Res*earch, 190, 1–9.

14. Abiven, S., Menasseri, S., & Chenu, C. (2009). The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry,* 41, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.09.015

15. Sokolovsky, A. N. (1971). Soil structure and its agricultural value. Selected works (pp. 166-178). Kyiv [in Russian].

16. Ren, J., Zou, Y., Liu, B., & Zhang, C. (2019). Study on aggregate formation mechanism of soil in limestone. *Carsologica Sinica,* 38(5), 722-728.

17. Tuo, D., Xu, M., Li, O., & Sihan, L. (2017). Soil Aggregate Stability and Associated Structure Affected by Long-Term Fertilization for a Loessial Soil on the Loess Plateau of China. *Pol. J. Environ. Stud*, 26(2), 827-835. DOI: https://doi.org/10.15244/pjoes/66716

18. Zhan, Y., Jiang, K., Jiang, J., Zhang, L., Gao, C., Qi, X., … Fan, X. (2022). Soil Aggregate Construction: Contribution from Functional Soil Amendment Fertilizer Derived from Dolomite. *Sustainability, 14*(19), 12287. https://doi.org/10.3390/su141912287

19. Tsapko, Y. L., Ogorodnya, A. I. (2014). The influence of phytomeliorant crops on the structural composition of chernozem of podzolized Left Bank Forest Steppe of Ukraine. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev*. 2, 20-25 [in Ukrainian].

20. Baliuk, S. A. (1996). Irrigated chernozems of the Forest-Steppe and Northern Steppe of Ukraine: assessment of condition, protection and increase of fertility: abstract. diss. Dr. Agricultural Sciences : 06.01.03. Kharkiv, 39 [in Russian].

21. Kovda, V. A. (1971). Experience of land reclamation. In: *Soil reclamation in the USSR*. M., 94-114 [in Russian].

22. Drewry, J. J., Carrick, S., Penny, V., Houlbrooke, D., Laurensond, S., & Mesmane, N. (2021). Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research,* 64(4), 483-507. https://doi.org/10.1080/00288233.2020.1742745

23. Vorotyntseva, L. I. (2023). *Scientific approaches of the sustainable management of hydro-deficient soils fertility in climate changes. Scientific monograph.* Kyiv: Agrarna nauka, 352. https://doi.org/10.31073/978-966-540-591-7 [in Ukrainian].

24. Amézketa, E. (1999). Soil Aggregate Stability: A Review. *Journal of Sustainable Agriculture,* 14(2-3), 83-151. https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08

25. Antipov-Karataev, I. P., & Filippova, V. N. (1955). *The influence of long-term irrigation on soils*. M. [in Russian].

26. Romaschenko, M. I.,& Baliuк, S. A. (2000). Land irrigation in Ukraine. Condition and ways of improvement. Kyiv, 114. [in Ukrainian].

27. Tan, M., Li, W., Zong, R., Li, X., Yue, H., Luo, P. … Wang, Z. (2024). Long-term mulched drip irrigation enhances the stability of soil aggregates by increasing organic carbon stock and reducing salinity. *Soil and Tillage Research*, *240*, 106069. https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106069

28. Ryabkov, S. V., Pavelkivska, O. E., Usata, L. G., & Pavelkivskyi, A. V. (2012). Changes in physical characteristics of soil under the influence of drip irrigation of vineyards in the Southern Steppe of Ukraine**.** *Taurida Scientific Herald*, 82, 191-196. Retrieved from https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/82_2012/82_2012.pdf [in Ukrainian].

29. Riabkov, S. V., Usata, L. H., Novachok, O. M., & Novachok, I. O. (2016). Influence of drip irrigation, irrigation water quality and fertilizing on structural-aggregate composition of soil. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*. Series "Technical Sciences", 4(76), 67-78. Retrieved from https://ep3.nuwm.edu.ua/9139/1/Vt767.pdf.zax.pdf [in Ukrainian].

30. Vershinin, P. V. (1958). *Soil structure and conditions of its formation*. M.-L. [in Russian].

31. Vorotyntseva, L. I., & Panarin, R. V. (2023). Variability of nutrient regime characteristics in irrigated soil under different fertilization systems. AgroChemistry and Soil Science, 95, 24-35. https://doi.org/10.31073/acss95-03 [in Ukrainian].

УДК 631.4

Вплив продуктів розкладання тіла людини на ґрунт

А. В. Ревтьє-Уварова

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

ІНФОРМАЦІЯ

Отримано 30.05.2024
Отримано після доопрацювання 13.07.2024
Затверджено до видання 30.07.2024
Доступно онлайн 31.07.2024

Ключові слова:

воєнні дії;
острови трупного розкладання;
тіло людини;
хімічний стан ґрунту;
«ферма тіл»

АНОТАЦІЯ

Оглядову статтю присвячено питанню впливу на ґрунт продуктів розкладення тіла людини, яке залишається непохованим. Актуальність теми зумовлена обставинами, що виникли через воєнну агресію рф проти України. Задля визначення змін стану ґрунту, що відбуваються у безпосередній зоні знаходження тіла, узагальнено науково-публіцистичні матеріали та наукову літературу, переважно стосовно досліджень наукових установ, які називають «Фермами тіл» (Body farm). Наведено етапи розкладання тіла людини та чинники, що впливають на швидкість перебігу цього процесу. Констатовано, що безпосередній вплив мають специфічні рідини розкладання, які просочуються у ґрунт, утворюючи острови трупного розкладання (гарячі точки родючості). Рідини поширюються обмежено у верхньому горизонті ґрунту та латерально до 1 м по периметру тіла. В цій зоні у ґрунті суттєво збільшується вміст органічного вуглецю, сполук азоту та фосфору. Висока концентрація цих речовин призводить до «випалювання» всієї рослинності. Відбуваються також зміни хімічного складу ґрунту, pH, підвищується електропровідність, простежуються функціональні та структурні зміни мікробних угруповань ґрунту та підвищення активності мезофауни. Зміни параметрів ґрунтових властивостей, що зумовлені надходженням продуктів розкладання тіла людини, мають тимчасовий характер, тривалість якого залежить як від генетичних особливостей ґрунту, так і морфологічних параметрів самого тіла та кількості тіл. В цілому, мінімальний негативний вплив на довкілля має розкладання тіла людини без певних інфекційних захворювань або стійких до антибіотиків бактерій. Натомість потенційні санітарно-епідеміологічні ризики становить тіло людини, яка мала такі захворювання як ВІЛ, гепатит, COVID-19 й подібні. Поряд з наведеним, на сьогодні виключно першочерговим є евакуація та ідентифікація тіл полеглих захисників та цивільних для належного поховання та вшанування.

E-mail: alina_rev@meta.ua

ORCID: 0000-0002-6838-5440

Форма цитування: Ревтьє-Уварова А. В. Вплив продуктів розкладання тіла людини на ґрунт. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ “ІҐА ім. О.Н. Соколовського”. Харків: 2024. Вип. 96. С. 41–51. https://doi.org/10.31073/acss96-05

1. Вступ

На тлі масштабного руйнівного впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив країни, що проявляється в різних типах деградації: механічна, фізична, хімічна, фізико-хімічна, біологічна, радіаційна [1], фактично поза наукової уваги знаходяться локалізовані едафічно-рослинні зміни в місцях знаходження трупів людей, хоча ця проблема частково висвітлюється в пресі [2–5], переважно, з санітарно-екологічної позиції.

Превентивним заходом уряду, в тому числі щодо недопущення погіршення санітарно-епідемічної ситуації та виникнення небезпечних інфекційних захворювань на території України через непоховані тіла, є створення спеціальних груп гуманітарної місії з вилучення тіл (останків) осіб, померлих (загиблих) через воєнну агресію проти України, що регулюється відповідною постановою КМУ [6]. Проте, зважаючи на значущу кількість знищених окупантів та, на превеликий жаль, полеглих захисників і цивільних, тіла яких з різних причин залишаються непохованими, очевидним є перебіг процесів їх розкладення під дією зовнішніх природних чинників та умов. Відповідно постає питання щодо впливу продуктів цього процесу на стан і якість ґрунту та рослинний покрив, а також пролонгованість цієї дії.

Дефіцит такої інформації пояснюється, по-перше, морально-етичною складовою питання, по-друге — методологічною складністю проведення подібних досліджень, по-третє — зосередженістю на інших масштабних руйнівних чинниках, викликаних війною. Хоча й остання позиція, за узагальненнями А. В. Кучера [7] у проіндексованих у Scopus публікаціях, також недостатньо висвітлена у міжнародній науковій літературі.

2. Наукові установи, які досліджують процес розкладання тіла людини

З огляду на специфічність об'єкту досліджень — мертве людське тіло, в світовій науковій практиці функціонує невелика кількість дослідницьких установ, які називають «фермами тіл» (Body farm), де просто неба вивчаються на прикладі донорських тіл процеси їх розкладання за різних умов (Табл. 1).

Таблиця 1

Перелік наукових установ з дослідження розкладання тіла людини («Body farm»)

Назва установи		Рік заснування, місце знаходження	Напрям досліджень
англійською	українською		
Anthropology Research Facility at the University of Tennessee	Центр судової антропології Університету Теннессі	1981, США, Knoxville, Tennessee	Антропологія
Forensic Osteology Research Station at Western Carolina University	Науково-дослідна станція судово-остеологічної експертизи Університету Західної Кароліни	2007, США Callowhee, North Carolina	Антропологія
Forensic Anthropology Research Facility at Texas State University	Науково-дослідний центр судової антропології Університету штату Техас	2008, США, San Marcos, Texas	Антропологія
Southeast Texas Applied Forensic Science Facility at Sam Houston State University	Центр прикладної криміналістики Південно-східного Техасу Державного університету Сема Х'юстона	2008, США, Huntsville, Texas	Криміналістика
Complex for Forensic Anthropology Research at Southern Illinois University	Комплекс судово-антропологічних досліджень Університету Південного Іллінойсу	2010, США, Carbondale, Illinois	Антропологія
Forensic Investigation Research Station at Colorado Mesa University	Науково-дослідна станція судово-медичної експертизи в Університеті Колорадо Меса	2012, США, Whitewater, Colorado	Криміналістика
Forensic Research Outdoor Station at Northern Michigan University	Зовнішня станція криміналістичних досліджень Університету Північного Мічигану	2017, США, Marquette, Michigan	Антропологія
Buckingham Environmental Forensics Facility at Florida Gulf Coast University	Букінгемський об'єкт екологічної криміналістики Університету узбережжя Мексиканської затоки у Флориді	2018, США Fort Myers, Florida	Антропологія
Florida's Forensic Institute for Research, Security, and Tactics at Pasco Sheriff's Office and Florida Gulf Coast University	Криміналістичний інститут досліджень, безпеки і тактики Флориди Офісу шерифа Паско та Університету узбережжя Мексиканської затоки Флориди	2020, США, Land O'Lakes, Florida	Криміналістика
Australian Facility for Taphonomic Experimental Research at University of Technology Sydney	Австралійський центр тафономічних (від грец. τάφος – могила, поховання, νόμος – закон) експериментальних досліджень Сіднейського технологічного університету	2016, Австралія, Sydney	Судова експертиза
Amsterdam Research Initiative for Sub-surface Taphonomy and Anthropology at Amsterdam Medical Center	Амстердамська дослідницька ініціатива з підповерхневої тафономії та антропології Амстердамського медичного центру	2018, Нідерланди, Amsterdam	Медицина
Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales] at Université du Québec à Trois-Rivières	Дослідницька лабораторія з експериментальної та соціальної танатології (від др.-грец. θάνατος – смерть, λόγος – вчення) Університету Квебеку в Труа-Рив'єрі	2020, Канада, Trois-Rivières, Quebec	Судово-медична тафономія

Перший такий дослідницький центр заснований американським судовим антропологом Вільямом М. Бассом III в Університеті Теннессі в Ноксвіллі у 1981 р. Станом

на 2020 рік перелік подібних функціонуючих «ферм тіл» є досить обмеженим, хоча й охоплює широкий спектр питань. Відомими є дванадцять «ферм тіл», дев'ять з яких на території США та по одній в Австралії, Нідерландах та Канаді [8–11].

Зазначимо, що відкриттю цих наукових установ, кожна з яких представлена мультидисциплінарною командою, передувало вирішення/врахування безлічі культурних, соціальних, фінансових, політичних, етичних, законодавчих та екологічних питань. Одним з таких, наприклад, є отримання дозволу державного регулювального органу з питань довкілля (Міністерство навколишнього середовища) щодо мінімально можливого негативного ризику для довкілля, включаючи фауну і флору, через потрапляння у ґрунт та підґрунтові води або інші водні об'єкти потенційних біологічних забрудників від тіл, що розкладаються [12].

Зазвичай, «ферми тіл» представлені високо захищеними майданчиками (полігонами) просто неба, призначеними в основному для фізичного, хімічного та біологічного вивчення процесів розкладання тіла людини під впливом різних природних умов та антропогенно створених/змодельованих чинників.

Основною метою проведення фактично усіх подібних досліджень є пошук інформації про те, що відбувається з тілом людини після смерті та в місці (поруч з місцем), де лежить труп. Нажаль для нашої країни, це питання становить не науковий інтерес, а відображає трагічність подій сьогодення, коли, через велику чисельність жертв війни, багато тіл людей залишається належно не похованими, особливо на лініях бойового зіткнення наших захисників з окупантами. Цей факт диктує екологізований запит про те, які зміни стану ґрунтів і рослинності відбуваються у безпосередній зоні знаходження тіла, які це має санітарно-екологічні ризики та тривалість дії.

3. Етапи процесу розкладання тіла людини та чинники, що впливають на їх перебіг

Усереднено організм людини складається на 64 % з води, на 20 % з білків, на 10 % з жирів, на 1 % з вуглеводів та на 5 % з мінеральних речовин [13]. Найпоширенішими елементами в організмі людини є кисень, вуглець, водень, азот, кальцій, фосфор, калій, сірка, натрій, хлор (мінеральний іон хлору) і магній, які в сумі становлять понад 99 % загальної маси тіла [14]. Окрім елементів, що містяться в летких органічних сполуках і газах, переважно це — певна частка кисню, вуглецю, водню й азоту, всі інші елементи (теоретично) можуть надходити до ґрунту без втрат в атмосферу [15].

Розкладання тіла, що починається одразу після смерті людини, представляє собою складний майже одночасний перебіг біохімічних і патологічних процесів, які призводять до значних змін структури і складу організму людини, а також спричиняють певні зміни у довкіллі. Ці процеси умовно виокремлені в декілька етапів [16, 17]:

- свіжий труп: розкладання починається одразу після припинення серцебиття, коли температура тіла знижується, зупиняється кровообіг, кров починає накопичуватися у певних органах (триває орієнтовно 1–2 доби);
- роздування: бактерії починають перероблювати м'які тканини, стають помітними зміни кольору шкіри, утворюються трупні гази, м'які тканини лопаються (орієнтовно 2–6 діб);
- активне розкладання: відбувається основна втрата маси тіла – більшу частину м'яких тканин з'їдають черв'яки або ж вони переходять у рідкий стан, просочуються у ґрунт та поглинаються рослинами (орієнтовно 5–11 діб);
- завершення розкладання: до цього моменту від м'яких тканин майже нічого не лишається, активність і чисельність бактерій, черв'яків і комах знижується (орієнтовно 10–24 доби);
- сухі останки: тіло починає нагадувати скелет — це починається з обличчя, рук і ніг; якщо у цьому місці висока вологість, тіло може муміфікуватися (більше 24 діб).

Узагальнюючи вище наведенні етапи, інтенсивність процесу розкладення посилюється після того, як відбувається самоперетравлення і бактерії виходять з шлунково-кишкового тракту. Починається гниття, що пов'язане з переходом від аеробних до анаеробних видів бактерій, які живляться тканинами організму, збродживши в них цукри та утворюючи газоподібні побічні продукти, такі як метан, сірководень і аміак, що накопичуються в організмі, роздуваючи живіт, а іноді й інші частини тіла. По факту відбувається молекулярна смерть — розкладення м'яких тканин до газів, рідин та солей [18].

Потім шкіра розтріскується і накопичені сполуки вивільняються. В місцях знаходження трупів після вилуговування/інфільтрації рідких продуктів розкладання — води, органічних речовин, жирів, мікробних виділень та виділень личинок [19], утворюються острови трупного розкладання, які характеризуються високим вмістом вуглецю, азоту та фосфору. В таких, як їх іще називають, гарячих точках родючості (Fertility hot-spot), «випалюється» вся наявна

рослинність високою концентрацією органічних сполук. При цьому вплив продуктів розкладання, що латерально переміщуються на 20–100 см по периметру тіла, обмежується верхнім горизонтом ґрунту [15, 19, 20].

З часом, в силу зниження концентрації, першочергово амонійного азоту, та мінералізації органічних сполук, які надійшли у ґрунт, навколо тіла починається інтенсивний ріст рослин [17, 18, 21].

Швидкість перебігу процесу розкладання тіла людини має орієнтовні умовні часові проміжки, оскільки на нього впливають ряд чинників, пов'язаних як з природою самого тіла, так і з зовнішніми умовами (Табл. 2) [22].

Таблиця 2

Чинники, які впливають на швидкість розкладання тіла людини

Чинники, пов'язані з природою тіла	Зовнішні чинники
Вік на час смерті	Закопування або залишення на поверхні землі
Статура тіла (худа або товста)	Наявність або відсутність одягу
Наявність ран, травмування	Температура
Причина смерті	Вологість
Основні захворювання та інфекції	Тип ґрунту
Вживання певних медикаментів	Глибина поховання
	Тип матеріалу труни (або в чому поховане тіло)
	Вітер (може знижувати температуру і випаровувати воду)
	Занурення у воду

Загалом, поховане тіло розкладається повільніше, ніж те, що знаходиться на поверхні ґрунту, проте високі кислотність та вологість ґрунту можуть пришвидшувати розкладання похованих тіл. Холодна погода уповільнює темпи розкладання, **спекотна — прискорює.** Прямі сонячні промені і підвищена вологість також прискорюють цей процес [23]. Окрім того, останні дослідження науковців REST[ES] [24] свідчать, що навіть під метровим шаром снігу тіла, розміщені на землі та заморожені низькими зимовими температурами, продовжують розкладатися, тобто цей процес не зупиняється.

В цілому, опускаючи морально-етичну складову та використовуючи суто науковий підхід, результатом розкладання тіла людини як органічної речовини є розщеплення великих біологічних макромолекул (вуглеводи, білки, нуклеїнові кислоти та ліпіди) до окремих компонентів будівельного блоку (C, H, O, N, P та S). Утворені амінокислоти, органічні кислоти, леткі жирні кислоти, спирти, альдегіди, кетони, складні ефіри й ефіри, сірководень, метан, аміак, вуглекислий газ та інші сполуки азоту, фосфору і сірки [25], надходять у довкілля — газоподібні сполуки (наприклад, такі токсичні як нейрин, путресцин [5], кадаверин, тирамін) вивітрюються в атмосферу, розчинні — просочуються у ґрунт та підґрунтові води [13, 26].

4. Зміни, що відбуваються у ґрунті під впливом продуктів розкладання тіла людини

Після надходження у ґрунт продуктів розкладання відбуваються значні зміни його хімічного складу у місці під тілом [15, 18, 27–29], створюючи як нетривалі локальні гарячі точки кругообігу поживних речовин [15], так і локації зі стійкими змінами, що зберігаються роками [18].

Першочергово у ґрунті під тілами спостерігається суттєве накопичення органічного вуглецю та сполук азоту (більшу частину яких становить аміак) [27, 30] та фосфору, латеральне поширення яких обмежене дистанцією переважно 30 см, з тривалістю фіксації змін їх вмісту від 700 [28] до 1752 днів після смерті [30]. Для прикладу, американські дослідники встановили, що за розкладення тіла середньої конституції в ґрунт просочується біля 2,6 кг азоту, переважно в амонійній формі. Враховуючи, що острів трупного розкладання в середньому становить 3 м^2, то кількість надходження азоту в верхній шар ґрунту приблизно в 50 разів перевищує рекомендовану норму азотних добрив для чагарникових та деревних культур в США [31].

Теоретично, органічні сполуки азоту і фосфору, що надійшли у ґрунт таким специфічним чином, мінералізуються до «звичайних» мінеральних форм, подальші трансформації яких у ґрунті залежать від перебігу процесів нітрифікації, денітрифікації, випаровування чи вилуговування, асиміляції рослинами чи іммобілізації мікроорганізмами

для азотовмісних сполук [32] та зв'язування з полівалентними катіонами ґрунту, асиміляції рослинами чи іммобілізації мікроорганізмами для фосфоровмісних сполук.

Дослідженнями колективу вчених [15] виділено три групи елементів під тілами, що розкладаються, на основі їх часових змін (Рис. 1).

Елементи групи I містяться у великих кількостях в організмі людини (P, K, Na, S). Їх концентрації в ґрунті підвищуються з початком активного розкладання, що зумовлює трупне походження, і тісно пов'язано зі зростанням електропровідності та, меншою мірою, зі зниженням pH. Їх стійкість/зв'язування ґрунтом варіюють залежно від комплексоутворювальної здатності ґрунту для фосфору, динаміки ґрунтового вбирного комплексу для калію і натрію та швидкості мінералізації, пов'язаної з мікробною деградацією для сірки.

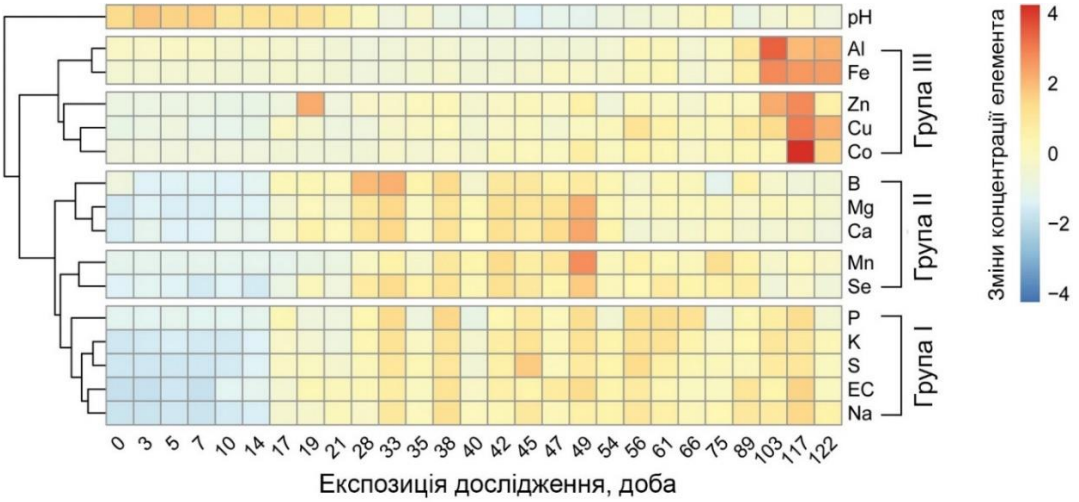


***Рис. 1**. Масштабовані зміни концентрацій елементів у розрізі експозиції дослідження* [15]

Група II містить елементи Ca, Mg, Mn, Se і B, концентрації яких у ґрунті зростають одночасно з елементами групи I, але зменшуються швидше — на більш пізніх етапах процесу розкладання. Збільшення вмісту цих елементів зумовлено частково надходженням зі сполуками розкладення (Se), частково — мають ґрунтове походження через обмінну здатність ґрунту (Ca, Mg) або зростання розчинності через підкислення ґрунту (Mn).

Група III включає елементи, що містяться як в організмі людини, так і в ґрунті (Fe, Cu, Zn, Co і Al). На відміну від груп I і II, підвищення їх концентрації фіксується на пізніх стадіях процесу розкладання, після втрати більшої частини тканинної маси. Враховуючи незначну кількість цих елементів в організмі людини, цілком імовірно, що збільшення їх кількості у ґрунті зумовлено переважно поступовим вивільненням з мінералів через підкислення ґрунту.

Продукти розкладення можуть корегувати кислотність ґрунту, проте ці зміни залежать як від генетичних особливостей ґрунту, зокрема «вихідних» значень pH, так і морфологічних особливостей тіла людини. Наприклад [21], рівень pH кислого ґрунту через сім діб може піднятися більш ніж на три одиниці, тоді як у лужному ґрунті – лише незначно підвищуватися, що пояснюється надходженням іонів амонію, які підвищують pH у кислому ґрунті, але суттєво не впливають на ґрунт, який має лужну реакцію. В дослідженнях [27, 28] pH ґрунту під тілами суттєво не відрізнявся від контрольних показників, тоді як в інших дослідженнях [15] значення pH достовірно відрізнялися від контрольних значень. По мірі того, як продукти розкладання просочувалися у ґрунт, параметри pH знижувалися, а електропровідність збільшувалася, суттєво відрізняючись від контролю фактично до кінця проведення дослідження (Рис. 2).

Однією з причин відмінностей у змінах pH ґрунту може бути різне співвідношення жирів і продуктів розпаду м'язів, що пов'язано з різним індексом маси тіла. Так, жирова тканина містить від 60 до 85 % ліпідів, які гідролізуються в стеаринову, олеїнову і пальмітинову кислоти, тоді як під час розкладання м'язової тканини вивільняються іони амонію. Відповідно, більша частка кислих продуктів очікується від розкладання тіл з більшою масою жирової тканини, що призводить до зниження pH ґрунту. В тілах з меншою кількістю жирової тканини та більшою кількістю м'язів більшою є відносна частка NH_4^+, що очікувано призведе до підвищення pH. Це підтверджується підвищенням pH ґрунту під

тілами з недостатньою масою та зниженням під тілами донорів при нормальній, надмірній масі та ожирінні [33].

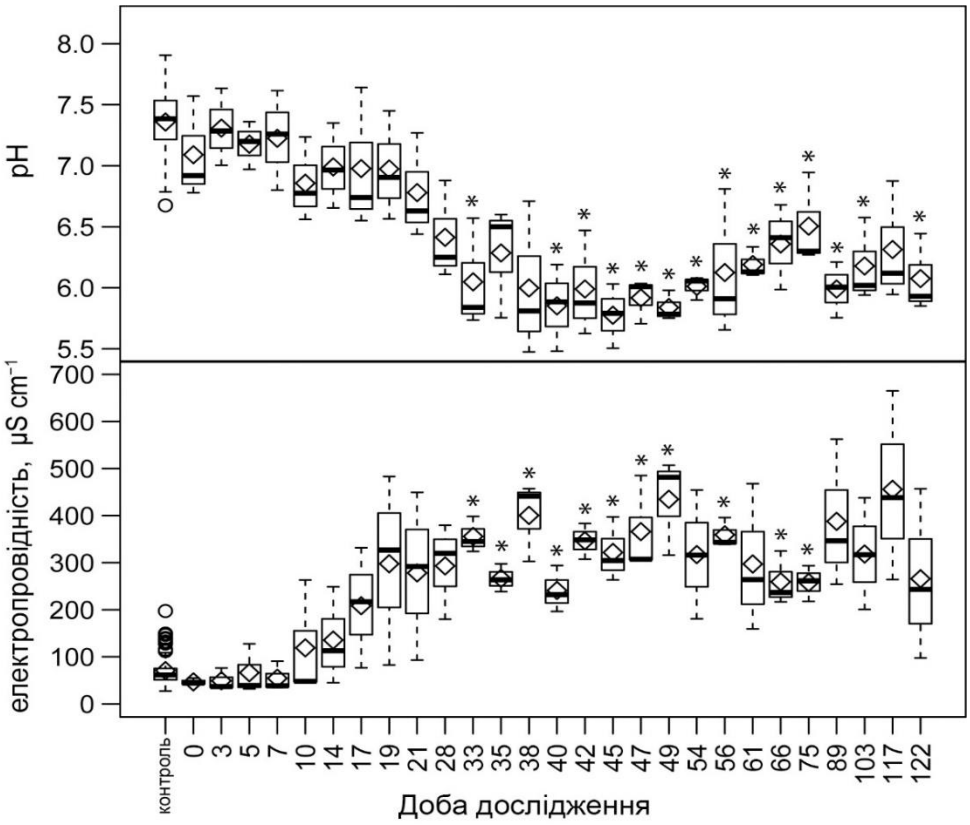


Рис. 2. *Вплив продуктів розкладання тіла людини на pH і електропровідність ґрунту* [15]

Функціональних і структурних змін зазнають ґрунтові мікробні угруповання, що пов'язані зі змінами в метаболічних стратегіях та/або їх складі, які умовно поділяють на два періоди. Перший період — під час активного розкладання за надходження рідини (період найбільш швидкої втрати маси), коли суттєво зростає загальна чисельність мікроорганізмів, в структурі яких переважають більш умовно-патогенні анаеробні деструктори та підвищується процес мінералізації сполук азоту. Також зростає активність грибної мікрофлори [33] та мезофауни [18]. Другий період — коли швидкість розкладання сповільнюється, анаеробні таксони проліферуються, знижується ефективність росту мікроорганізмів та уповільнюється мінералізація сполук азоту [27].

Також з рідиною розкладання у ґрунт надходять специфічні для людини мікроорганізми. В дослідженнях [33] мікробні угруповання, виділені з рідини розкладання, складалися з двох-п'яти різних типів бактерій, представлених переважно типами *Firmicutes* і *Proteobacteria* із переважанням на рівні класів *Clostridium* (39 %), *Gammaproteobacteria* (29 %) та *Bacillus* (28 %). З грибних угруповань в рідині розкладання домінував тип грибів *Ascomycota* класу *Saccharomycetes*. Також, у ґрунті під тілами виявлено копії генів *Bacteroides*, найпоширеніших кишкових бактерій, асоційованих з людиною, зниження вмісту яких фіксується на 126 день і не виявлено через 204 дні після просочування [27]. До того ж, за попередніми результатами, потенційний інгібуючий ефект на мікробних деструкторів мають сполуки розкладання тіла людей після променевої терапії [32].

Резюмуючи опрацьовану літературу та власний досвід можна підкреслити, що зміни параметрів ґрунтових показників через надходження продуктів розкладання тіла людини мають тимчасовий характер, тривалість якого залежить як від генетичних особливостей ґрунту, так і морфологічних параметрів самого тіла чи кількості тіл. В будь-якому разі ґрунт, як саморегулівна відкрита термодинамічна система, за мінімізації зовнішнього впливу (тут це вилучення або сухі залишки тіла) з часом відновлюється до квазірівноважного «вихідного» стану.

Окремим блоком стоїть питання щодо санітарно-епідеміологічних ризиків, які можуть бути спричинені розкладанням тіла людини. Дослідженнями REST[ES] [24] щодо рівня забруднення ґрунтів встановлено мінімальний негативний вплив на довкілля за умови розкладання тіла людини без певних інфекційних захворювань або стійких до антибіотиків бактерій.

Безпосередню загрозу становить розкладання тіла людини, яка мала інфекційні захворювання (ВІЛ, гепатит, COVID-19, сибірська виразка, бутулізм, черевний тиф, туберкульоз тощо), оскільки збудники цих хвороб можуть надходити з рідиною розкладання у ґрунт.

Патогенні організми значною мірою зберігаються на поверхні ґрунту або в поверхневому шарі, при цьому віруси прикріплюються до часточок ґрунту легше, ніж бактерії, хоча наявність органічних та залізоокисних плівок, які можуть руйнуватися під час гниття людських трупів, збільшує масу бактерій на поверхні піщаних фракцій. Наприклад, більшість вірусів поліомієліту в ґрунті легкого гранулометричного складу акумулюється у верхньому 0–5 см шарі, проте вони можуть мігрувати на значну глибину після випадіння опадів [34]. Ступінь виживання збудників патогенів сальмонельозу (*Salmonella spp*.), кампілобактеріозу (*Camplyobacter spp*.) або кишкової палички (*Escherichia coli*) варіює залежно від умов довкілля, але у всіх випадках їх кількість знижується в ґрунтовому середовищі, в основному через хижацтво і конкуренцією з боку аборигенного ґрунтового угруповання мікроорганізмів [27].

5. Висновок

З наукової позиції процес розкладання тіла людини є складною комбінацією майже одночасних біохімічних і патологічних процесів, швидкість перебігу яких залежить як від природних чинників, так і морфологічних особливостей та ушкодженості тіла, що супроводжується надходженням у ґрунт специфічної рідини розкладання. У місцях її просочування суттєво збільшується вміст органічного вуглецю, сполук азоту та фосфору, висока концентрація яких (в першу чергу іонів амонію) призводить до «випалювання» всієї рослинності. Відбуваються зміни хімічного складу, змінюється pH та підвищується електропровідність ґрунту, простежуються функціональні та структурні зміни мікробних угруповань ґрунту й посилення активності грибної мікрофлори і мезофауни. Вплив продуктів розкладання обмежується верхнім горизонтом ґрунту та латерально поширюється до 1 м по периметру тіла. Зміни параметрів ґрунтових показників, що зумовлені надходженням продуктів розкладання тіла людини, мають тимчасовий характер. Тривалість змін залежить як від генетичних особливостей і стану ґрунту, так і від морфологічних параметрів самого тіла й від кількості тіл.

Потенційні санітарно-епідеміологічні ризики становить тіло людини, яка мала інфекційні захворювання (ВІЛ, гепатит, COVID-19 тощо), оскільки збудники цих хвороб можуть надходити з рідиною розкладання у ґрунт. Мінімальний негативний вплив на довкілля має розкладання тіла людини без певних інфекційних захворювань або стійких до антибіотиків бактерій.

З морально-етичної сторони нині першочерговим та гострим питанням є евакуація та ідентифікація тіл полеглих захисників та цивільних [35–37] для належного поховання та вшанування. Наразі в Україні діють пошукові групи гуманітарної місії «На Щиті», «Чорний тюльпан» та «Плацдарм», функціонування яких можна підтримати посильними донатами та волонтерством.

Перелік використаних джерел

1. Ревтьє-Уварова А. В., Захарова М. А. Види деградації. *Концептуальні підходи до відновлення ґрунтів, що постраждали від збройної агресії* : монографія / за ред. С. А. Балюка, А. В. Кучера, І. В. Пліско. Київ : Аграрна наука, 2024. С. 21–27. https://doi.org/10.31073/978-966-540-604-4.

2. Кравченко О. Трупи окупантів – величезна проблема для довкілля, і коли розкладаються, і коли горять : інтерв'ю. *УНІАН : Інформаційне агентство*. 2022. URL: https://www.unian.ua/ecology/ekolog-olena-kravchenko-trupi-okupantiv-velichezna-problema-dlya-dovkillya-i-koli-rozkladayutsya-i-koli-goryat-11771923.html

3. Маріуполю загрожує екологічна катастрофа через трупи та бомбардування – екоактивіст. *Українська правда*. 2022. URL: https://life.pravda.com.ua/society/2022/05/19/248719/

4. Уповноважений закликає МКЧХ вплинути на РФ для вивезення з території України тіл загиблих російських військових. Уповноважений Верховної ради України з прав людини. 2022. URL: https://ombudsman.gov.ua/news_details/upovnovazhenij-zaklikaye-mkchh-vplinuti-na-rf-dlya-vivezennya-z-teritoriyi-ukrayini-til-zagiblih-rosijskih-vijskovih

5. Мелимука Р. Трупи російських військових не годяться навіть на добриво. *Еко.Район*. 2023. URL: https://eco.rayon.in.ua/blogs/573386-chomu-trupi-rosiyskikh-viyskovikh-ne-godyatsya-navit-na-dobrivo

6. Деякі питання забезпечення вилучення, передачі та репатріації тіл (останків) осіб, загиблих (померлих) у зв'язку зі збройною агресією проти України: Постанова Кабінету міністрів України від 17 червня 2022 р. № 698. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/698-2022-%D0%BF#Text

7. Кучер А. Методика оцінювання збитків, завданих збройною агресією земельному фонду та ґрунтам: проблеми та напрями вдосконалення. *Journal of Innovations and Sustainability*. 2022. № 6(2), 10. https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.10

8. Ebersole R. Down on the Body Farm: Unlocking the Forensic Secrets of Decaying Corpses. *Undark Magazine*. 2019. URL: https://undark.org/2019/11/11/how-microbes-could-aid-forensic-detectives/

9. Killgrove K. These 6 'Body Farms' Help Forensic Anthropologists Learn To Solve Crimes. *Forbes Innovation Science*. 2015. URL: https://www.forbes.com/sites/kristinakillgrove/2015/06/10/these-six-body-farms-help-forensic-anthropologists-learn-to-solve-crimes/?sh=38b92899489f

10. Pecsi E. L., Bronchti G. , Crispino F., Forbes S. L. Perspectives on the establishment of a canadian human taphonomic facility: The experience of REST[ES]. *Forensic Science International: Synergy*. 2020. № 2. P. 287–292. https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2020.09.001

11. Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales]. URL: https://oraprdnt.uqtr.uquebec.ca/pls/public/gscw031?owa_no_site=816

12. Wozniak Je. R., Thies M. L., Bytheway J. A., Lutterschmidt W. I. A Hydrologic Retention System and Water Quality Monitoring Program for a Human Decomposition Research Facility: Concept and Design. *Journal of Forensic Sciences*. 2015. Vol. 60, Is. 1. P. 54–60. https://doi.org/10.1111/1556-4029.12537

13. Asadu C. L. A. The role of soil in saving human race from COVID-19 pandemic. *Agro-Science*. 2021. № 20 (4, Special Issue). P. 59–64. https://dx.doi.org/10.4314/as.v20i4.8

14. Chemical and elemental analysis of humans in vivo using improved body composition models / S. B. Heymsfield, M. Waki, J. Kehayias [et al.]. *Am J Physiol*. 1991. № 261(2). P. 190–198. https://doi.org/10.1152/ajpendo.1991.261.2.E190

15. Soil elemental changes during human decomposition / L. S. Taylor, A. Gonzalez, M. E. Essington [et al.]. *PLoS ONE*. 2023. № 18(6). e0287094. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287094

16. Серрано К. Що таке ферма трупів і навіщо вона потрібна науці. *BBC News Україна*. 2019. URL: https://www.bbc.com/ukrainian/features-48818144

17. Decomposition Stages of Human Body. *Forensics Digest*. URL: https://forensicsdigest.com/decomposition-stages-of-human-body/

18. Costandi M. Life after death : the science of human decomposition. *The Guardian*: *Neurophilosophy*. *Forensic science*. 2015. URL: https://www.theguardian.com/science/neurophilosophy/2015/may/05/life-after-death

19. Maisonhaute Ju.-E., Pecsi E., Ribéreau-Gayon A. REST[ES] – Site de Recherche en Sciences thanatologiques [Expérimentales et Sociales]: presentation. URL: https://oraprdnt.uqtr.uquebec.ca/pls/public/docs/FWG/GSC/Publication/816/27/12254/1/554312/5/O0003750371_Pre_sentation_RESTES_29_06_2021_2.pdf

20. Pecsi E. Influence of Decomposition on Soil Microbial Metabolic Activity : presentation. 2021. URL: https://oraprdnt.uqtr.uquebec.ca/pls/public/docs/FWG/GSC/Publication/816/27/12254/1/514600/5/O0003468174_CrossingBordersPresentation_EmilyPecsi_Jan2021.pdf

21. Forbes S., Voss S., Blau S. Deadly secrets – the science of decomposition. *Australian Academy of Science*. URL: https://www.science.org.au/curious/decomposition

22. Wilson M. Not a Pretty Picture – Our Appearance After Death. In: *Life After Death: What Happens to Your Body After You Die?*. Springer, Cham. 2022. P. 91–116. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83036-6_4

23. Dent B., Forbes Sh. L., Stuart B. Review of Human Decomposition Processes in Soil. *Environmental Earth Sciences*. 2004. № 45(4). P. 576–585. https://doi.org/10.1007/s00254-003-0913-z

24. Trahan B. Laboratoire extérieur de l'UQTR: les corps se décomposeraient même en hiver [VIDÉO + ARTICLE AUDIO]. *Le Nouvelliste*. 2021. URL: https://www.lenouvelliste.ca/2021/05/17/laboratoire-exterieur-de-luqtr-les-corps-se-decomposeraient-meme-en-hiver-video--article-audio-70141b8e0e9945071b6f8a6821ddc5e7/

25. Statheropoulos M., Spiliopoulou C., Agapiou A. A study of volatile organic compounds evolved from the decaying human body. *Forensic Science International*. 2005. Vol. 153, Is. 2–3. P. 147–155. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.08.015

26. Вплив бойових дій на земельні ресурси України. Наслідки для довкілля війни росії проти України : Електронне науково-популярне видання / О. Ангурець, П. Хазан, К. Колесникова [та ін.]. 2022. С. 27–34. URL: https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/cleanair.org.ua-war-damages-ua-version-04-low-res.pdf

27. Cobaugh K. L., Schaeffer S. M., DeBruyn. Je. M. Functional and Structural Succession of Soil Microbial Communities below Decomposing Human Cadavers. *PLoS ONE*. 2015. № 10(6). e0130201. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130201

28. Soil chemical markers distinguishing human and pig decomposition islands: a preliminary study / P. S. Barton, A. Reboldi, B. M. Dawson [et al.]. *Forensic Sci Med Pathol*. 2020. № 16. P. 605–612. https://doi.org/10.1007/s12024-020-00297-2

29. Spatial impacts of a multi-individual grave on microbial and microfaunal communities and soil biogeochemistry / S. W. Keenan, A. L. Emmons, L. S. Taylor [et al.]. *PLoS ONE*. 2018. № 13(12). e0208845. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208845

30. An evaluation of soil chemistry in human cadaver decomposition islands: Potential for estimating postmortem interval (PMI) / J. P. Fancher, J. A. Aitkenhead-Peterson, T. Farris [et al.]. *Forensic Science International*. 2017. Vol. 279. P. 130–139. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.08.002

31. Liberatore S. Plants could lead officers to dead bodies, according to experts who say high levels of nitrogen in soil and leaf changes are key to locating unmarked graves. *DAILYMAIL.COM*. 2020. URL: https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-8694827/PLANTS-lead-dead-bodies-according-experts-say-changes-vegetation-clues.html

32. Ревтьє-Уварова А. В. , Карацюба О. В. , Ніконенко В. М. , Сліденко О. І. *Удосконалена діагностика рівня азотного забезпечення ґрунту методами польового та лабораторного тестування* / Харків: ФОП Бровин О. В., 2020. 94 с.

33. Body Mass Index (BMI) Impacts Soil Chemical and Microbial Response to Human Decomposition / A. R. Mason, H. S. McKee-Zech, K. M. Hoeland [et al.]. *ASM Journals*. 2022. Vol. 7, Is. 5. 21 p. https://doi.org/10.1128/msphere.00325-22

34. Üçisik A. S., Rushbrook P. The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing. World Health Organization, Denmark, 1998. 11 p. URL: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/108132/EUR_ICP_EHNA_01_04_01%28A%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

35. Кузьменко В. О. Застосування комплексного підходу щодо ідентифікації трупів невідомих осіб в особливо складних випадках у практиці Луганського обласного бюро судово-медичної експертизи. *Клінічна та експериментальна патологія.* 2019. Т. 18, № 2 (68). С. 125–128. https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.23

36. Припхан І. І., Бдайцієва Х. М. Окремі правові аспекти ідентифікації невпізнаних трупів. *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2022. № 3. С. 207–211. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2021.03.38

37. Молекулярно-генетична ідентифікація осіб, загиблих під час російської збройної агресії проти України: успіхи та проблеми / І. Ю. Костіков, В. В. Марійко, Ю. В. Щербакова [та ін.]. *Криміналістичний вісник*. 2023. № 39(1). P. 10–28. https://doi.org/10.37025/1992-4437/2023-39-1-10

UDC 631.4

The impact of the products of human body decomposition on the soil

A. V. Revtie-Uvarova

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

The review article is devoted to the issue of the impact on the soil of the products of decomposition of the human body, which remains unburied. The topicality of the topic is determined by the circumstances that arose due to the military aggression of the Russian Federation against Ukraine. In order to determine the changes in the state of the soil that occur in the immediate area where the body is located, scientific and journalistic materials and scientific literature were summarized, mainly related to the research of scientific institutions, which are called "Body farms". The stages of decomposition of the human body and the factors affecting the speed of this process are given. It was established that specific decomposition fluids, which seep into the soil, forming islands of cadaveric decomposition (fertility hot spots), have a direct effect. Liquids spread limitedly in the upper soil horizon and laterally up to 1 m along the perimeter of the body. In this zone, the content of organic carbon, nitrogen and phosphorus compounds in the soil increases significantly. A high concentration of these substances leads to the "burning" of all vegetation. There are also changes in the chemical composition of the soil, pH, electrical conductivity increases, functional and structural changes in soil microbial communities and an increase in the activity of mesofauna are observed. Changes in the parameters of soil properties caused by the arrival of decomposition products of the human body have a temporary nature, the duration of which depends on both the genetic characteristics of the soil and the morphological parameters of the body and the number of bodies. In general, the decomposition of the human body without certain infectious diseases or antibiotic-resistant bacteria has a minimal negative impact on the environment. Instead, potential sanitary and epidemiological risks are the body of a person who has had such diseases as HIV, hepatitis, COVID-19, and the like. In addition to the above, today the evacuation and identification of the bodies of the fallen defenders and civilians for proper burial and commemoration is of utmost priority.

***Keywords*:** military actions; cadaver decomposition islands; human body; soil chemical state; «Body farm».

***Citing*:** Revtie-Uvarova A.V. (2024). The impact of the products of human body decomposition on the soil. *AgroChemistry and Soil Science,* 96, 41–51. https://doi.org/10.31073/acss96-05 [in Ukrainian]

References

1. Revtie-Uvarova, A. V., & Zakharova, M. A. (2024). Types of degradation. In S. A. Baliuk, A. V. Kucher, & I. V. Plisko (Eds.) *Conceptual approaches to the restoration of soils damaged by the armed aggression: monograph* (21-27). Kyiv: Agrarna nauka. https://doi.org/10.31073/978-966-540-604-4 [in Ukrainian].

2. Kravchenko, O. (2022, April 04). The corpses of the occupiers are a huge problem for the environment, both when they decompose and when they burn: an interview. *UNIAN : Information Agency.* Retrieved from https://www.unian.ua/ecology/ekolog-olena-kravchenko-trupi-okupantiv-velichezna-problema-dlya-dovkillya-i-koli-rozkladayutsya-i-koli-goryat-11771923.html [in Ukrainian].

3. Mariupol is threatened with ecological disaster due to corpses and bombings – an eco-activist. *Ukrainska Pravda,* 2022, May 19. Retrieved from https://life.pravda.com.ua/society/2022/05/19/248719/ [in Ukrainian].

4. The Commissioner calls on the ICRC to influence the Russian Federation to remove the bodies of dead Russian soldiers from the territory of Ukraine: The Commissioner for Human Rights of the Verkhovna Rada of Ukraine. 2022, March 24. Retrieved from https://ombudsman.gov.ua/news_details/upovnovazhenij-zaklikaye-mkchh-vplinuti-na-rf-dlya-vivezennya-z-teritoriyi-ukrayini-til-zagiblih-rosijskih-vijskovih [in Ukrainian].

5. Melymuka, R. (2023, February 08). The corpses of Russian soldiers are not even suitable for fertilizer. *Eko.Raion*. Retrieved from https://eco.rayon.in.ua/blogs/573386-chomu-trupi-rosiyskikh-viyskovikh-ne-godyatsya-navit-na-dobrivo [in Ukrainian].

6. Some questions of ensuring the removal, transfer and repatriation of bodies (remains) of persons killed (deceased) in connection with armed aggression against Ukraine: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of June 17, 2022 № 698. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/698-2022-%D0%BF#Text [in Ukrainian].

7. Kucher, A. (2022). Methodology for assessing damages and losses caused by the armed aggression to the land fund and soils: problems and directions of improvement. *Journal of Innovations and Sustainability*, 6(2), 10. https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.10 [in Ukrainian].

8. Ebersole, R. (2019, November 11). Down on the Body Farm: Unlocking the Forensic Secrets of Decaying Corpses. *Undark Magazine*. Retrieved from https://undark.org/2019/11/11/how-microbes-could-aid-forensic-detectives/

9. Killgrove, K. (2015, June 15) These 6 'Body Farms' Help Forensic Anthropologists Learn To Solve Crimes. *Forbes Innovation Science*. Retrieved from https://www.forbes.com/sites/kristinakillgrove/2015/06/10/ these-six-body-farms-help-forensic-anthropologists-learn-to-solve-crimes/?sh=38b92899489f

10. Pecsi, E. L., Bronchti, G., Crispino, F., & Forbes, S. L. (2020). Perspectives on the establishment of a canadian human taphonomic facility: The experience of REST[ES]. *Forensic Science International: Synergy*, 2, 287–292. https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2020.09.001

11. Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales]. Retrieved from https://oraprdnt.uqtr.uquebec.ca/pls/public/gscw031?owa_no_site=816

12. Wozniak, Je. R., Thies, M. L., Bytheway, J. A., & Lutterschmidt, W. I. (2015). A Hydrologic Retention System and Water Quality Monitoring Program for a Human Decomposition Research Facility: Concept and Design. *Journal of Forensic Sciences*, 60(1), 54–60. https://doi.org/10.1111/1556-4029.12537

13. Asadu, C. L. A. (2021). The role of soil in saving human race from COVID-19 pandemic. *Agro-Science*, 20 (4, Special Issue), 59–64. https://dx.doi.org/10.4314/as.v20i4.8

14. Heymsfield, S. B., Waki, M., Kehayias, J., Lichtman, S., Dilmanian, F. A., Kamen, Y., … Pierson, R. N. (1991). Chemical and elemental analysis of humans in vivo using improved body composition models. *Am J Physiol.*, 261(2), 190–198. https://doi.org/10.1152/ajpendo.1991.261.2.E190

15. Taylor, L. S., Gonzalez, A., Essington, M. E., Lenaghan, S. C., Stewart, C. N., Mundorff, A. Z., … DeBruyn, Je. M. (2023). Soil elemental changes during human decomposition. *PLoS ONE*, 18(6), e0287094. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287094

16. Serrano, K. (2019, June 30). What is a Body farm and why does science need it. *BBC News Ukraine*. Retrieved from https://www.bbc.com/ukrainian/features-48818144 [in Ukrainian].

17. Decomposition Stages of Human Body. *Forensics Digest*. Retrieved from https://forensicsdigest.com/decomposition-stages-of-human-body/

18. Costandi, M. (2015, May 05). Life after death : the science of human decomposition. *The Guardian*: *Neurophilosophy. Forensic science*. Retrieved from https://www.theguardian.com/science/neurophilosophy/2015/may/05/life-after-death

19. Maisonhaute, Ju.-E., Pecsi, E., & Ribéreau-Gayon, A. REST[ES] – Site de Recherche en Sciences thanatologiques [Expérimentales et Sociales]: presentation. Retrieved from https://oraprdnt.uqtr.uquebec.ca/pls/public/docs/FWG/GSC/Publication/816/27/12254/1/554312/5/O0003750371_Pre_sentation_RESTES_29_06_2021_2.pdf

20. Pecsi, E. (2021). Influence of Decomposition on Soil Microbial Metabolic Activity : presentation. Retrieved from https://oraprdnt.uqtr.uquebec.ca/pls/public/docs/FWG/GSC/Publication/816/27/12254/1/514600/5/O0003468174_CrossingBordersPresentation_EmilyPecsi_Jan2021.pdf

21. Forbes, S., Voss, S., & Blau, S. Deadly secrets – the science of decomposition. *Australian Academy of Science*. Retrieved from https://www.science.org.au/curious/decomposition

22. Wilson, M. (2022). Not a Pretty Picture – Our Appearance After Death. In: *Life After Death: What Happens to Your Body After You Die?*. Springer, Cham. 91–116. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83036-6_4

23. Dent, B., Forbes, Sh. L., & Stuart, B. (2004). Review of Human Decomposition Processes in Soil. *Environmental Earth Sciences*, 45(4), 576–585. https://doi.org/10.1007/s00254-003-0913-z

24. Trahan, B. (2021). Laboratoire extérieur de l'UQTR: les corps se décomposeraient même en hiver [VIDÉO + ARTICLE AUDIO]. *Le Nouvelliste*. Retrieved from https://www.lenouvelliste.ca/2021/05/17/laboratoire-exterieur-de-luqtr-les-corps-se-decomposeraient-meme-en-hiver-video--article-audio-70141b8e0e9945071b6f8a6821ddc5e7/

25. Statheropoulos, M., Spiliopoulou, C., & Agapiou, A. (2005). A study of volatile organic compounds evolved from the decaying human body. *Forensic Science International*, 153(2–3), 147–155. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.08.015

26. Anhurets, O., Khazan, P., Kolesnykova, K., Kushch, M, Chernokhova, M., & Havranek, M. (2022). Impact of hostilities on land resources of Ukraine. *Consequences for the environment of Russia's war against Ukraine*: Electronic popular science publication. 27–34. Retrieved from https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/cleanair.org.ua-war-damages-ua-version-04-low-res.pdf [in Ukrainian].

27. Cobaugh, K. L., Schaeffer, S. M., & DeBruyn, Je. M. (2015). Functional and Structural Succession of Soil Microbial Communities below Decomposing Human Cadavers. *PLoS ONE*, 10(6), e0130201. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130201

28. Barton, P. S., Reboldi, A., Dawson, B. M., Ueland, M., Strong, C., & Wallman, Ja. F. (2020). Soil chemical markers distinguishing human and pig decomposition islands: a preliminary study. *Forensic Sci Med Pathol.*, 16, 605–612. https://doi.org/10.1007/s12024-020-00297-2

29. Keenan, S. W., Emmons, A. L., Taylor, L. S., Phillips, G., Mason, A. R., Mundorff, A. Z., … DeBruyn, Je. M. (2018). Spatial impacts of a multi-individual grave on microbial and microfaunal communities and soil biogeochemistry. *PLoS ONE*, 13(12), e0208845. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208845

30. Fancher, J. P., Aitkenhead-Peterson, J. A., Farris, T., Mix, K., Schwab, A. P., Wescott, D. J., & Hamilton M. D. (2017). An evaluation of soil chemistry in human cadaver decomposition islands: Potential for estimating postmortem interval (PMI). *Forensic Science International*, 279, 130–139. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.08.002

31. Liberatore, S. (2020, September 03). Plants could lead officers to dead bodies, according to experts who say high levels of nitrogen in soil and leaf changes are key to locating unmarked graves. *DAILYMAIL.COM*. Retrieved from https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-8694827/PLANTS-lead-dead-bodies-according-experts-say-changes-vegetation-clues.html

32. Revtie-Uvarova, A. V., Karatsiuba, O. V., Nikonenko, V. M., & Slidenko, O. I. (2020). *Improved diagnostics of the level of soil nitrogen supply by field and laboratory testing methods. Kharkiv*. [in Ukrainian].

33. Mason, A. R., McKee-Zech, H. S., Hoeland, K. M., Davis, M. C., Campagna, S. R., Steadman, D. W., & DeBruyn Je. M. (2022). Body Mass Index (BMI) Impacts Soil Chemical and Microbial Response to Human Decomposition. *ASM Journals*, 7(5), 21. https://doi.org/10.1128/msphere.00325-22

34. Üçisik, A. S., & Rushbrook, P. (1998). *The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing.* World Health Organization, Denmark. Retrieved from https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/108132/EUR_ICP_EHNA_01_04_01%28A%2.pdf?sequence=1&isAllowed=y

35. Kuzmenko, V. O. (2019). Application of the complex approach to identification of corpses of unknown individuals in particularly complicated cases in the practice of Luhansk regional bureau of forensic medical examination. *Clinical & experimental pathology,* 18(2), 125–128. https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.23 [in Ukrainian].

36. Prypkhan, I. I., & Bdaytsieva, H. M. (2022). Some legal aspects of identification of unidentified corpses. *Analytical and Comparative Jurisprudence*, 3, 207–211. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2021.03.38 [in Ukrainian].

37. Kostikov, I., Mariiko, V., Shcherbakova, Yu., Martynenko, S., Sirivlia, A., Sandalovych, B., & Abbasov, R. (2023). Molecular-genetic identification of persons who died during russian armed aggression against Ukraine: successes and challenges. *Forensis Herald*, 39(1), 10–28. https://doi.org/10.37025/1992-4437/2023-39-1-10 [in Ukrainian].

УДК 633.282: 620.952

Міскантус – універсальна культура сьогодення

В. М. Кателевський[1a], Ю. Л. Цапко*[2b]

[1]**Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків**, *Київ, Україна*
[2]**Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»**, *Харків, Україна*

ІНФОРМАЦІЯ

Отримано 18.05.2024
Отримано після доопрацювання 18.07.2024
Затверджено до видання 30.07.2024
Доступно онлайн 31.07.2024

Ключові слова:
бавовна;
енергетичні культури;
міскантус;
порох;
сировина

АНОТАЦІЯ

В оглядовій статті представлено результати вивчення джерел інформації щодо запровадження біологічної енергетики у відновленні родючості ґрунтів на деградованих землях. Особливу увагу звернено на підтверджені публікаціями результати визначення унікальних ремедіаційних (лікувальних) властивостей міскантусу гігантського, який здатний покращувати фізичні, фізико-хімічні та біологічні характеристики ґрунту. Ця універсальна енергетична культура, крім продукування значної кількості високоякісної біомаси з високою теплотворною здатністю, також секвеструє значну частку вуглецевого газу в стеблах та корінні — більше, ніж повертає до атмосфери під час спалювання. Це позитивно впливає як на ґрунт, через збільшення його органічної складової, так і на атмосферу, а відтак — і клімат. В результаті пошуку спеціальних інформаційних джерел виявлено, що целюлозовмісна сировина, отримана з міскантусу, може замінити целюлозу бавовни у виробництві пороху, нітроцелюлози та інших вибухових речовин, що є надважливим для розвитку військової промисловості в плані власного виробництва патронів, снарядів, мін, ракет, бомб тощо, що посилить обороноздатність держави.

*E-mail: tsapkoul@i.ua

ORCID: [a] 0000-0001-5558-2181; [b] 0000-0001-6111-0877

Форма цитування: Кателевський В. М., Цапко Ю. Л. Міскантус – універсальна культура сьогодення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІҐА ім. О.Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 96. С. 52–57. https://doi.org/10.31073/acss96-06

В Україні запровадження біологічної енергетики в останні декілька років стало архіважливим завданням для сільськогосподарського виробництва у напрямі розвитку біоенергетики та виробництва біоенергетичних видів палива. Дійсно, це реальний шлях до здобуття енергетичної незалежності держави, досягнення якої ґрунтується на використанні інновацій у промисловому секторі. Біоенергетичні культури мають ряд переваг перед традиційними викопними видами енергетичних джерел для виробництва теплової те електричної енергії. Зауважимо, що за даними 2011 р., загальна площа під лігноцелюлозними енергетичними культурами в ЄС становила біля 130–140 тис. га. Близько 37 % цієї площі (50 тис. га) припадало на Румунію, де вирощується просо прутоподібне. У Великобританії під міскантус відведено 10–11 тис. га, у Швеції і Польщі під вербою зайнято, відповідно, 11 і 9 тис. га.

Порівняно з біопаливними енергетичними культурами першого покоління, енергетичні культури другого покоління вимагають менше ресурсів, виробляють більше енергії на основі земельної маси, зменшують викиди парникових газів і не конкурують безпосередньо за орні землі для виробництва продуктів харчування [1].

В Україні перед масштабним вторгненням російської федерації налічувалося декілька компаній, які вирощували енергетичні культури на комерційних засадах. Ще ряд підприємств планували найближчим часом вийти на цей ринок. Найбільш потужна з них — компанія «Salix Energy», що була заснована в 2010 році й мала найбільші в Україні плантації енергетичної верби, які були розташовані у Волинській та Львівській областях (> 1500 га). У 2013 р. компанія зареєструвала свій власний сорт енергетичної верби — Марцияна (єдиний офіційно зареєстрований в Україні). Компанія «Phytofuels» вирощувала цілий ряд енергетичних культур (просо прутоподібне, міскантус, верба, сорго цукрове та ін.) на площі понад 35 тис. га в Полтавській області. У наукових питаннях компанія тісно співпрацювала з Інститутом біомаси та сталого розвитку (м. Полтава) і Університетом Вагенінгена (Нідерланди). В Дніпропетровській області діяв агрохолдинг «KSG Agro», який володів 65 тис. га земель і успішно розвивав новий напрям свого бізнесу – вирощування міскантусу. В 2013 році на площі 33 га земель агрохолдингу закладено маточні плантації культури; у 2014 р. висадили ще 400 га міскантусу, а ще через рік загальна площа під цією енергетичною культурою досягла більше 2000 га. Паралельно тут розвивали промислову переробку біомаси міскантусу.

Жахлива війна, яку розв'язала російська федерація на території України 24 лютого 2022 року, і яка не припиняється вже третій рік, згубно відбивається на біосфері, літосфері, гідросфері, атмосфері Землі та педосфері, що ще більше наближує нашу унікальну Зелену Планету до кліматичного апокаліпсису. Забруднення атмосфери внаслідок масштабних пожеж, які призвели до великих втрат цінних природних ресурсів і виділення різноманітних газів, включаючи двоокис вуглецю, безумовно чинить тиск на клімат, через посилення парникового ефекту та почастішання кислотних опадів. Незважаючи на ці негативні об'єктивні реалії, процеси ґрунтоґенезу не зупиняються ні на мить. Тільки ґрунтам, як основі розвинутого життя на Земній кулі, відведено роль саме того «локомотиву», що здатний, незважаючи на форсмажорні катаклізми, забезпечувати рослини поживними речовинами, водою, повітрям, теплом і простором для зростання коріння, аби підтримувати і відновлювати родючість.

Побудова фортифікаційних споруд (бліндажів, окопів, насипів та штучних підвищень), глибокі вирви від бомбардувань, артилерійських та мінометних обстрілів порушили цілісність ґрунтового покриву (подекуди майже суцільно) через що, зруйновано структуру укладення материнських і навіть підстильних порід, шляхом перевертання на поверхню та перемішування генетичних горизонтів ґрунту. Пересування сухопутної військової техніки безпосередньо по полях, її ураження та пошкодження, падіння літаків, гелікоптерів та різновидів безпілотних літальних апаратів супроводжується забрудненням ґрунтів паливо-мастильними матеріалами, підсилює просочення нафтопродуктів та іншої рідини (солярки, бензину, мастил, кислот, лугів тощо) на значні глибини в ґрунті. В результаті таких мілітарних руйнувань ґрунтогенез суттєво гальмується, а для відновлення родючості пошкоджених ґрунтів необхідно застосувати заходи з ремедіації, тобто лікування ґрунтів. Мілітарно деградовані ґрунти підлягають ремедіації тільки після детального обстеження території на наявність мін та нерозірваних боєзарядів. Цей процес є найскладнішим і найтривалішим заходом, який, без застосування спеціальної броньованої техніки, на деяких вщент зруйнованих ґрунтах може затягнутися на довгі роки. Втім застосування відповідних заходів з активізації біологічного фактору ґрунтоутворення, саме завдяки тому що життєдіяльність біоти ні на долю секунди не дозволяє загальмувати ґрунтоутворювальний процес, забезпечуючи розвиток і формування ґрунтів; і може значно прискорити реабілітацію мілітарно деградованих ґрунтів.

Комплексний підхід до відновлення зруйнованих війною ґрунтів найбільш доцільно здійснювати запровадженням «альтернативної енергетики» в сільськогосподарському виробництві, головним принципом якої, є реалізація концепції відновлювальної енергетики з отриманням значних обсягів біомаси шляхом вирощування енергетичних культур, насамперед шляхом вирощування Міскантусу гігантського (Miscanthus giganteus).

Міскантус є тією енергетичною культурою, яка потребує ретельної уваги в контексті обговорення найперспективніших рослин-енергетиків. Міскантус відомий як Слонова трава — швидкозростаючий очерет, родини м'ятликових, багаторічна трав'яна злакова культура, що розмножується вегетативно за допомогою ризом. Міскантус гігантський є рослиною з високою теплотворною здатністю, стебла якої містять 61–71 % целюлози.

Рослина належить до групи C_4, як така, що має високу фотосинтетичну активність. Це дуже важливий показник у визначенні впливу міскантусу на навколишнє природне середовище. Після одноразової посадки рослини, її повзуче кореневище буде щорічно давати нові пагони. До групи C_4 відносять також такі культури: цукровий очерет, сорго, кукурудза.

Шлях фотосинтезу цих рослин (C_4) отримав власну назву, оскільки первинним продуктом фіксації CO_2 у цьому випадку є органічна сполука не з трьома, а з чотирма атомами вуглецю, як у щавлевооцтовій кислоті. Такий тип фотосинтезу мають тропічні рослини спекотних країн.

Міскантус — витривала рослина, на одному місці може зростати до 25–30 років і навіть більше, а за необхідності вилучається гербіцидом. Міскантус практично не потребує витрат, бо після посадки, крім перших двох-трьох років, не вимагає особливого догляду.

Висаджування рекомендується проводити у квітні, ідеальний термін для збирання врожаю — весна. Найбільшої продуктивності досягає у період вирощування від 4 до 7 року після посадки. У перший рік урожай не збирають, але парості скошують і залишають на поверхні ґрунту як добриво. Промисловий урожай другого року можна починати збирати навесні третього року.

Рослина не вибаглива до внесення добрив, хоча на бідних ґрунтах легкого гранулометричного складу, особливо в перші роки, може виникнути потреба в удобренні і застосуванні гербіцидів для знищення бур'янів. Підійдуть засоби від бур'янів, що

застосовуються за вирощування кукурудзи. У рік посадки важливо приділити увагу контролю забур'яненості плантацій. За умов достатнього освітлення врожаї цієї культури будуть набагато більшими. Гербіциди можуть бути потрібні лише протягом перших двох років вирощування — потім листовий покрив, що опадає зимою заважатиме росту бур'янів, тобто пригнічує їх розвиток та зростання. Єдине серйозне випробування для рослини — безсніжна холодна зима. Особливо небезпечна перша зимівля. Міскантус погано переносить високу кислотність та високий рівень ґрунтових вод.

Низькі експлуатаційні витрати на вирощування відкривають широкі перспективи використання цієї унікальної культури. Урожай збирають за допомогою звичайних кормозбиральних комбайнів, а зібрана маса йде на виробіток тепла або переробляється в паливні брикети.

Після зимового листопаду та опаду пагонів, рослини Міскантусу висихають до вмісту вологи на рівні 15-20 %. Залежно від місця посадки і клімату, щорічне збирання біомаси очікують вже через два роки після посадки, тобто на третій рік – найкраща пора для цього весна (квітень).

Міскантус не формує насіння під час зростання у Центральній Європі. Тому, розмноження рослини має бути зроблено вегетативним способом [2, 3]. Міскантус гігантський розмножується кореневими паростками — ризомами, які висаджують за допомогою посадкової машини. За відсутності спеціальної техніки іноді ризоми висаджують картоплесаджалками.

Щільність висаджування становить від 15 тис. одиниць рослин на гектар для закладання розсадника і до 20 тис. рослин на гектар на промисловій плантації. Рекомендується проводити посадку у квітні.

Особлива цінність міскантусу полягає у невибагливості до ґрунтових умов. Завдяки глибокій і розгалуженій кореневій системі, рослину можна вирощувати на малородючих ґрунтах, навіть дуже бідних, а також на деградованих, піщаних, супіщаних ґрунтах та на ерозійно небезпечних ділянках на схилах до 7°. Водовикористання у цієї рослини значно менше ніж у багатьох деревних порід, а потреби в нітрогені та інших поживних елементах — значно нижчі порівняно з відомими сільськогосподарськими культурами.

Потужна коренева система, яка досягає 2,5 метра в глибину, дозволяє легко споживати поживні речовини і воду, що дає змогу вирощувати Міскантус на землях, які певний час не використовувалися. Наприклад, землі, які зазнали радіаційного забруднення (в результаті Чорнобильської катастрофи площа сільгоспугідь, забруднених радіацією, в Україні становить 3,5 млн га) та мілітарно деградовані ґрунти, як наслідок агресії рф, площа яких оцінюється не менше 3 млн га.

Крім того, міскантус демонструє підвищену стійкість до хвороб і шкідників, тому не потрібно часто проводити фітосанітарну обробку площ його зростання, що, своєю чергою, зменшує витрати на його вирощування і запобігає додатковому забрудненню навколишнього середовища.

Загалом, міскантус толерантний до майже всіх типів ґрунтів, але найпродуктивніше проявляє себе на добре дренованих ґрунтах при середній кількості річних опадів. Він добре зростає на ґрунтах важкого гранулометричного складу, де продукує велику кількість біомаси, яку відносно легко збирати і переробляти існуючою технікою і, зрозуміло з вищенаведеного, має властивість суттєво покращувати екологічну ситуацію.

Міскантус є енергетичною культурою, що секвеструє вуглець — абсорбує CO_2 з атмосферного повітря більше, ніж повертає до атмосфери при спалюванні. Після чотирьох років вирощування у ґрунті накопичується 15-20 т/га кореневищ, що еквівалентно 7,2–9,2 т/га вуглецю [4]. Тобто, вирощування міскантусу сприяє нормалізації клімату. Останнє підтверджується ще й тим, що продукти згоряння тріски та пелетів міскантусу у 20–30 разів менше містять оксиду сірки та у 3–4 рази менше залишають золи, ніж від спалювання вугілля.

Результати визначення хімічного складу підтверджують вміст целюлози в межах 44 %, лігніну — 17 %, геміцелюлози — 24 % [5].

Для формування стабільно тривалий час (15-20 років) функціонуючої плантації потрібно два-три роки. Ліси, наприклад, накопичують біомасу десятиліттями, і 100-140 років є нормальним віком для зрілого лісу. Легко порівняти ефективність накопичення сухої біомаси деревини різних порід і агропромислового вирощування міскантусу як технічної культури [6, 7].

Значна частина потужної кореневої системи міскантусу, яка секвеструвала вуглець ґрунту та атмосфери, поступово перетворюється на гумус, що значно покращує властивості ґрунту та позитивно впливає на біорізноманіття. Завдяки цьому міскантус

проявляє потужні ремедіаційні (лікувальні) властивості, які забезпечують відтворення родючості ґрунту [8, 9].

Значущість вирощування міскантусу — корисної енергетичної культури з високою ремедіаційною здатністю, найбільшою є за використання на зруйнованих та замінованих територіях, що було підтверджено вченими Загребського університету в Хорватії, країні яка зазнала нищівних руйнувань від війни на власній території у 90-х роках.

Отже, привабливість вирощування міскантусу можна викласти у таких аспектах:

- невибагливий до ґрунтових умов;
- майже не потребує добрив та застосування біоцидів (гербіцидів, пестицидів, фунгіцидів тощо) та стимуляторів росту;
- добре зростає на ґрунтах з активною кислотністю 4,5–7,5 одиниць pH, в умовах з кількістю опадів від 500 мм за рік, та за температури повітря влітку +25–32 ºС [10];
- врожай збирають навесні — у березні або квітні, при цьому біля 25 % листового опаду залишається на поверхні ґрунту та слугує мульчою та накопичувачем детриту, корисного для структуроутворення;
- після розкладання, значна частка опаду перетворюється на гумус, тим самим забезпечуючи самовідновлення родючості ґрунту;
- стійкість міскантусу відображується у продуктивності плантації, яка практично не залежить від зовнішніх умов.

Порівняння продуктивності міскантусу з традиційними енергоносіями:

- одна тонна сухої маси міскантусу еквівалентна 750 кг вугілля;
- порівняння витрат (у дол. США) на отримання 1 ГКал тепла з різних видів енергоносіїв: газ — $35; мазут — $28; вугілля — $21; міскантус — $4–15;
- продуктивність міскантусу у 4–5 разів вища за продуктивність лісових насаджень; якщо вирощувати ліс 80 років то отримують деревину – 400 т з га, а з одного га міскантусу впродовж 80 років буде отримано близько 2000 тонн;
- при спалюванні міскантус виділяє від біля 18 МДж/кг, або 5 кВт/год/кг енергії, тоді як дрова із дуба – 19 МДж;
- 1 т паливних гранул з міскантусу приблизно еквівалентна 440 кг сирої нафти, 820 кг кам'яного вугілля, 515 м^3 природного газу, 1,2 т деревини або 420 кг дизельного палива [11].

Зареєстрований в Україні у державному реєстрі рослин Міскантус гігантський сорт «Осінній зорецвіт» № 150903, створений в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків, здатен протягом 20-ти років на одному місці зростання продукувати 20 т/га сухої речовини з високою теплотворною здатністю, забезпечуючи вихід енергії – 360 ГДж/га [12].

У вищенаведеному матеріалі не відображено ще одну властивість міскантусу, яка, на наш погляд, відкриває перед цією культурою необмежені перспективи — у постачанні якісної стратегічної лігноцелюлозної сировини для виробництва пороху. Справа в тому, що у виробництві пороху, а відтак і боєприпасів, використовують бавовну. Також продукцію з бавовни переробляють на нітроцелюлозу, яка йде на виготовлення снарядів.

Головний наратив, що без бавовни не можна виготовити сировину для виробництва пороху та нітроцелюлози, який існував у 20-му сторіччі, доволі довго тримав у напрузі оборонну промисловість багатьох країн і також України. У минулому в радянському союзі бавовну вирощували в азійських республіках і постачали на заводи військової промисловості.

Верховна Рада України спростила вирощування в державі для оборонних потреб бавовника ухваливши 20 березня 2024 р. законопроєкт №10427-1 в першому читанні; за цей документ проголосували 287 парламентаріїв. Така відносно велика підтримка народними обранцями законопроєкту зумовлена тим, що на внутрішньому ринку бавовна потрібна для військових, для легкої промисловості та й для самих аграріїв, оскільки є проблеми з експортом і є проблеми з рентабельністю традиційних для України культур. Вирощування бавовни може стати великим плюсом для агросектора, якщо українські аграрії бачитимуть, що бавовна дає гарну рентабельність.

Вже 23 квітня 2024 р. Верховна Рада ухвалила в цілому законопроєкт № 10427-1 про внесення змін до деяких законів України щодо поширення сортів бавовника в Україні [13]. Зміни в законодавстві дозволяють аграріям відродити вирощування бавовни на півдні України, пік якого припадав на 50-ті роки минулого сторіччя. У ті часи Херсонська фабрика з обробки бавовняної сировини входила в десятку найбільших у Європі. Зараз мова йде про вирощування бавовни на площі 30 тис. га або вдвічі менше за умов зрошування, що дасть змогу забезпечити потребу України в бавовняній сировині, яка оцінюється у 10 тис. тонн [14, 15].

За часи продовження великої війни за незалежність Україна навчилася вирішувати проблеми різними шляхами обираючи найбільш доцільні в кожному конкретному випадку. Так у винаході, який відноситься до хімічної промисловості висвітлено можливість отримання целюлози і лігніну з целюлозовмісної сировини, джерелом якої запропоновано використовувати міскантус або плодові оболонки злакових культур, або солому злакових культур [16]. В іншому винаході наведено спосіб отримання целюлози для хімічної переробки з целюлозовмісної тріски міскантусу [17]. Таким чином, стає зрозумілим, що за створення відповідних умов з хімічної переробки целюлозовмісної сировини, здобутої з міскантусу, в Україні цілком можливо виробництво пороху, нітроцелюлози та інших вибухових речовин без використання бавовни. Це дасть можливість наростити потужності оборонної промисловості з виробництва гостро дефіцитних боєприпасів середніх і великих артилерійських калібрів, а також ракетного палива.

Висновок

Міскантус — універсальна рослина сьогодення, вирощування якої здатне забезпечити значними обсягами біомаси паливні котельні для виробництва теплової та електричної енергії. Його здатність до відтворення родючості ґрунтів та невибагливість до грунтових умов, а також ремедіаційні (лікувальні) властивості є особливо цінними як у період воєнного стану, так і в повоєнній відбудові агропромислового сектору держави. Культура здатна більше абсорбувати вуглецевого газу та накопичувати його у стеблах та корінні ніж повертати до атмосфери при спалювані, що сприяє нормалізації клімату. Завдяки можливості отримання целюлози і лігніну з целюлозовмісної сировини міскантусу його вирощування сприятиме зміцненню обороноздатності держави. Отже напрям досліджень, пов’язаних з вирощуванням і використанням продукції з міскантусу, є важливим як для сільського господарства, енергетики країни, так і для військової галузі й безумовно потребує подальшого розвитку.

Список використаних джерел

1. Ashworth A. J., Taylor A. M., Reed D., Tyler D. D., Allen F. L., Keyser P.D. Life cycle assessment of regional switchgrass feedstock production compared to nitrogen input scenarios and legume-intercropping systems. *Journal of Cleaner Production. 2015.* 87. 227-234. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.002

2. Clifton-Brown J., Breuer J., Jones M. Carbon mitigation by the energy crop, Miscanthus. *Global Change Biology*. 2007. 13(11). 296-307. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01438.x

3. Heaton E. A., Dohleman F. G., Long S. P. Meeting US biofuel goals with less land: The potential of Miscanthus. *Global Change Biology*. 2008. 14(9). 2000-2014. URL: https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=47434

4. Зінченко В. О. Міскантус – джерело енергетичної біомаси. *Новини Агротехніки.* 2008. 3(63). С. 40-41.

5. Dohleman F. G., Long, S. P. More productive than maize in the midwest: How does miscanthus do it? *Plant Physiology*. 2009. 150(4). 2104-2115. https://doi.org/10.1104/pp.109.139162

6. Sanderson M. A., Adler P. R. Perennial forages as second generation bioenergy crops. *International Journal of Molecular Sciences*. 2008. 9(5). 768-788. https://doi.org/10.3390/ijms9050768

7. Henry R. J. Evaluation of plant biomass resources available for replacement of fossil oil. *Plant Biotechnology Journal*, 2010. 8(3). 288-293. https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2009.00482.x

8 Vodiak Ya., Tsapko Yu., Kucher A., Krupin V., Skorokhod I. Influence of Growing *Miscanthus x giganteus* on Ecosystem Services of Chernozem. *Energies.* 2022. 15(11). 4157. https://doi.org/10.3390/en15114157

9. Tsapko Yu., Starchenko O., Vodiak Ya. Using the ecosystem services potential of Chernozem to restore war-damaged land. *International Journal of Environmental Studies.* 2023. *80*(2). 399–409. https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2179760

10 Сінченко В. М. Міскантус — перспективна біоенергетична культура. *Біоенергетика.* 2022. 2. С. 15–19. https://doi.org/10.47414/be.2.2017.253807

11. Степанушко Л. Міскантус гігантський: гаряча пропозиція. *Пропозиція*. 16.03.2017. URL: https://propozitsiya.com/ua/miskantus-gigantskiy-goryachee-predlozhenie

12. *Міскантус в Україні*. Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Київ: ТОВ «ЦП «Компрінт», 2019. 256 с. URL: https://bio.gov.ua/sites/default/files/documentation/miskantus_v_ukrayini.pdf

13. Соломчук Д. Вирощування бавовника в Україні може стати перспективним напрямком для аграріїв. *Офіційний вебпортал Парламенту України*. 20 березня 2024. URL: https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/247649.html

14. Павлиш О. Рада ухвалила закон про бавовник: потрібен для виробництва пороху. *Економічна правда*. 23 квітня 2024. URL: https://www.epravda.com.ua/news/2024/04/23/712797/

15. Бриль Р. В Україні відроджують вирощування бавовни. Потрібно для виробництва пороху. LIGA.net, 4 квітня 2024, 17:27. URL: https://biz.liga.net/ekonomika/all/novosti/v-ukraine-vozrozhdayut-vyrashtivanie-hlopka-nuzhno-dlya-proizvodstva-poroha

16. Спосіб переробки целюлозовмісної сировини. Патент RU2456394C1. 2010.

17. Спосіб здобування целюлози для хімічної переробки з целюлозовмісної сировини. Патент RU2763878C1. 2020.

UDC 633.282: 620.952

Miscanthus is a universal culture today

V. M. Katelevskij[1], Yu. L. Tsapko[2*]

[1]**Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet**, *Kyiv, Ukraine*
[2]**National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky",** *Kharkiv, Ukraine*
**E-mail*: tsapkoul@i.ua

The review article presents the results of a study of sources of information on the introduction of biological energy in the restoration of soil fertility on degraded lands. Special attention is paid to the published results of the determination of the unique remedial (healing) properties of giant miscanthus, which is able to improve the physical, physico-chemical and biological characteristics of the soil. This versatile energy crop, in addition to producing large amounts of high-quality biomass with high calorific value, also sequesters a significant proportion of carbon dioxide in the stems and roots—more than it returns to the atmosphere during combustion. This has a positive effect on both the soil, due to the increase in its organic content, and the atmosphere, and thus the climate. As a result of the search for special information sources, it was found that cellulose-containing raw materials obtained from miscanthus can replace cotton cellulose in the production of gunpowder, nitrocellulose and other explosive substances, which is extremely important for the development of the military industry in terms of its own production of cartridges, shells, mines, rockets, bombs etc., which will strengthen the state's defense capability.

Keywords: cotton; energy crops; miscanthus; gunpowder; raw materials

***Citing*:** Katelevskij, V. M., Tsapko, Yu. L. (2024). Miscanthus is a universal culture today. *AgroChemistry and Soil Science,* 96, 52-57. https://doi.org/10.31073/acss96-06 [in Ukrainian]

References

1. Ashworth, A. J., Taylor, A. M., Reed, D., Tyler, D. D., Allen, F. L. & Keyser, P. D. (2015). Life cycle assessment of regional switchgrass feedstock production compared to nitrogen input scenarios and legume-intercropping systems. *Journal of Cleaner Production*, 87, 227-234. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.002

2. Clifton-Brown, J., Breuer, J., & Jones, M. (2007). Carbon mitigation by the energy crop, Miscanthus. *Global Change Biology,* 2007, 13(11), 296-307. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01438.x

3. Heaton, E. A., Dohleman, F. G. & Long, S. P. (2008). Meeting US biofuel goals with less land: The potential of Miscanthus. *Global Change Biology*, 14(9), 2000-2014. Retrieved from https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=47434

4. Zinchenko, V. O. (2008). Miscanthus – a source of energy biomass. *News of Agrotechnics*, 3(63), 40-41 [in Ukrainian].

5. Dohleman, F. G., & Long, S. P. (2009). More productive than maize in the midwest: How does miscanthus do it? *Plant Physiology*, 150(4), 2104-2115. https://doi.org/10.1104/pp.109.139162

6. Sanderson, M. A., Adler, P. R. (2008). Perennial forages as second generation bioenergy crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(5), 768-788. https://doi.org/10.3390/ijms9050768

7. Henry, R. J. (2010). Evaluation of plant biomass resources available for replacement of fossil oil. *Plant Biotechnology Journal*, 8(3), 288-293. https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2009.00482.x

8. Vodiak, Ya., Tsapko ,Yu., Kucher, A., Krupin, V., & Skorokhod, I. (2022). Influence of growing *Miscanthus x giganteus* on ecosystem services of ;chernozem. *Energies,* 15(11), 4157; https://doi.org/10.3390/en15114157

9. Tsapko, Yu., Starchenko, O. & Vodiak, Ya. (2023). Using the ecosystem services potential of Chernozem to restore war-damaged land. *International Journal of Environmental Studies*, *80*(2), 399–409. https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2179760

10. Sinchenko, V. M. (2022). Miscanthus: a new promising energy crop. *Bioenergy*, (2), 15–19. https://doi.org/10.47414/be.2.2017.253807 [in Ukrainian]

11. Stepanushko L. (2017). Miscanthus giant: a hot offer. *Propozitsiya*. 16.03.2017. URL: https://propozitsiya.com/ua/miskantus-gigantskiy-goryachee-predlozhenie [in Ukrainian]

12. *Miscanthus in Ukraine*. (2019). Institute of bioenergy crops and sugar beets of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv: LLC "CP "Comprint". Retrieved from https://bio.gov.ua/sites/default/files/documentation/miskantus_v_ukrayini.pdf [in Ukrainian].

13. Solomchuk, D. (2024). Growing cotton in Ukraine can become a promising direction for farmers. *Official website of the Parliament of Ukraine*. March 20, 2024. Retrieved from https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/247649.html [in Ukrainian].

14. Pavlysh, O. (2024). The Council passed a law on cotton: it is needed for the production of gunpowder. *Economic truth*. April 23, 2024. Retrieved from https://www.epravda.com.ua/news/2024/04/23/712797/ [in Ukrainian].

15. Bryl, R. (2024). Cotton cultivation is being revived in Ukraine. It is needed for the production of gunpowder. LIGA.net, April 4, 2024. Retrieved from https://biz.liga.net/ekonomika/all/novosti/v-ukraine-vozrozhdayut-vyrashtivanie-hlopka-nuzhno-dlya-proizvodstva-poroha [in Ukrainian].

16. Method of processing cellulose-containing material. Patent RU2456394C1. 2010. [in Ukrainian].

17. Method for producing cellulose for chemical processing from cellulose-containing raw materials. Patent RU2763878C1. 2020 [in Russian].

ІСТОРІЯ НАУКИ

HISTORY OF SCIENCE

УДК 001:631.4:631.8(477)(091) «Крупський»

Професор М. К. Крупський (1903–1986): життєвий шлях та головні віхи наукової творчості

В. В. Кунець*[a], Т. М. Лактіонова[b], І. Ф. Парасочка[c]

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

ІНФОРМАЦІЯ

Отримано 22.02.2024
Отримано після доопрацювання 13.07.2024
Затверджено до видання 30.07.2024
Доступно онлайн 31.07.2024

Ключові слова:

М. К. Крупський; історія науки; ґрунтознавство; великомасштабне обстеження ґрунтів; картографування; осолонцювання; фільтрація; кольматація; колоїдна хімія; Українське товариство ґрунтознавців; наукова школа

АНОТАЦІЯ

Статтю присвячено дослідженню життєвого шляху, наукової та педагогічної діяльності видатного українського вченого ґрунтознавця та агрохіміка Миколи Костянтиновича Крупського, зокрема періоду формування його наукових інтересів. За допомогою застосування архівознавчого та джерелознавчого аналізу здійснено спробу відтворити ранній етап становлення особистості вченого, початок його наукової та педагогічної діяльності. Деталізовано біографічні відомості М. К. Крупського як одного з організаторів ґрунтознавчої науки в Україні першої половини XX ст., а також наголошено на його подальших наукових пріоритетах. Закінчивши аспірантуру при науково-дослідній кафедрі ґрунтознавства Наркомпросу УСРР при Харківському сільськогосподарському інституті (ХСГІ), М. К. Крупський переходить до викладацької діяльності (1929), і згодом його зараховують на посаду доцента тієї ж кафедри (1930). Педагогічний талант та наукові здібності вченого не залишилися не поміченими, тому вчене звання доцента М. К. Крупському було присвоєно у 1938 р., до отримання кандидатського ступеня. Ні зовнішні фактори – Друга світова війна, ані величезне фізичне навантаження – евакуація в м. Катта-Курган Самаркандської області та керівна посада завідувача кафедри агрохімії ХСГІ (1941–1943) не завадили М. К. Крупському успішно захистити дисертацію та отримати вчений ступінь кандидата сільськогосподарських наук (1942). У повоєнні часи та період відновлення народного господарства країни, не полишаючи викладацької роботи, вчений активно займався науковою діяльністю спочатку на посаді старшого наукового співробітника лабораторії ґрунтознавства АН УРСР (1945–1956), потім — завідувача лабораторії фізико-хімії і колоїдної технології ґрунтів Українського науково-дослідного інституту ґрунтознавства (1956–1959), а згодом і директора Українського науково–дослідного інститут ґрунтознавства (м. Харків) (1959–1974). М. К. Крупський – методолог ґрунтознавчої науки, послідовник генетичного ґрунтознавства та розробник низки методів на визначення складу і властивостей ґрунту, залишив значущий науковий спадок. Дослідницька діяльність вченого безпосередньо пов'язана з проведенням великомасштабного обстеження ґрунтів України, їх картографуванням, розробкою основних засад сільськогосподарської типології земель, агроґрунтового та ґрунтово-меліоративного районування. Вчений розвивав колоїдно-хімічний напрям у вивченні ґрунту, заснований академіком О. Н. Соколовським. М. К. Крупський був одним з ініціаторів створення Українського товариства ґрунтознавців – спеціального органу науково-громадської думки (1928). За його активної участі був розроблений та запропонований проєкт Статуту майбутнього товариства. Педагогічний талант, висока ерудованість та енциклопедичність знань, які були властиві вченому, допомогли Миколі Костянтиновичу згуртувати навколо себе найкращий науковий потенціал та надалі стати засновником потужної наукової школи вчених ґрунтознавців. За результатами проведеного пошуку вдалося відновити творчий колектив дослідників різних поколінь, які діяли під керівництвом визнаного лідера – М. К. Крупського.

*E-mail: victoriya.viva@ukr.net

ORCID: [a] 0000-0001-7169-5418; [b] 0000-0002-8681-6224; [c] 0000-0002-3274-2776

Форма цитування: Кунець В. В., Лактіонова Т. М., Парасочка І. Ф. Професор М. К. Крупський (1903–1986): життєвий шлях та головні віхи наукової творчості. *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвідом. темат. наук. зб. / ННЦ "ІҐА ім. О. Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 96. С. 58-74. https://doi.org/10.31073/acss96-07

Вчений-агрохімік, ґрунтознавець, кандидат сільськогосподарських наук, професор Микола Костянтинович Крупський народився 23 грудня 1903 р. у мальовничому селі Северинівка, що на березі лівої притоки Дністра у Ямпільському районі (з 1920 р. — Могилів-Подільський район) Вінницької області у родині штурмана далекого плавання. У 1913 р. родина переїжджає до Миргорода, де 10-річний хлопчик вступає до вищого початкового училища — це загальноосвітній заклад Російської імперії, проміжний між початковим та середнім, до якого приймали дітей віком 11–13 років, які вже здобули початкову 4-річну освіту. Та розумові здібності хлопчика дозволяли обирати навчальні заклади, тому через два роки його переводять до Городнянської гімназії (Чернігівська губернія) [1].

Восени 1919 р. юнак витримав іспит на звання вчителя трудової школи і 16-річний молодий фахівець був направлений на роботу у с. Сеньківка Чернігівської губернії, де служив учителем у 5-ти, а згодом 7-річній школі. Жага до здобуття нових знань допомогла йому вже у 1920 р. екстерном закінчити Городнянську школу II ступеня [2].

Стрімкий розвиток подій визначив подальший крок майбутнього вченого і у 1921 р. молодий педагог вступає до рільничого відділення Уманського агрополітехнікуму із правами вищої школи (нині — Уманський національний університет садівництва); у 1923–1924 рр. проходить практику на кафедрі хліборобства та ґрунтознавства [3]. Рівень викладання та програма навчання у цьому закладі відповідали підготовці фахівців вищої кваліфікації з вузькою спеціалізацією [4].

Будучи сумлінним студентом, бере активну участь у різних студентських семінарах з науковими доповідями: «Хлорофіл», «Звітрювання мінералів», «Колоїди ґрунтові» (1923), «Середні фермерські господарства USA та їх машинізація (економсемінар)», «Гумус» (1924). У період навчання досліджував вологість ґрунтів різних типів, а темою дипломної роботи молодого фахівця стала «Зміни в морфології деградованих чорноземель залежно від рельєфу» [2]. Аналізуючи тематику досліджень студентського періоду можна з упевненістю заключити, що на формування наукового світогляду майбутнього вченого вплинули нові ідеї й висновки лідерів науки, працю яких було спрямовано на розвиток українського ґрунтознавства.

Вже в молоді роки Микола Костянтинович вів активну науково-організаційну роботу, зазвичай був головою агросемінарів, які проводилися закладом. Треба також зауважити, що в той самий час в Уманському агрополітехнікумі навчалися О. М. Грінченко і Г. С. Гринь — майбутні колеги й однодумці. Після закінчення навчання пройшов додаткове стажування у лабораторії ґрунту своєї Alma-mater.

Початок педагогічної та трудової діяльності припав на 1925–1926 рр., коли Микола Костянтинович викладав загальне землеробство, ґрунтознавство та агрохімію в Сарнівській професійній школі у Київській області.

І ось, у 1926 р. молодий викладач приймає доленосне рішення — повністю присвятити своє життя науці. Можемо стверджувати, що цей вибір був обґрунтований авторитетністю Харківської школи ґрунтознавців, яка, порівняно з Київською та Одеською, була й залишається найстарішою в Україні. З нею пов’язані імена славетних вчених — А. І. Зайкевича, А. М. Краснова, Г. М. Висоцького, а згодом, О. Н. Соколовського, який у 1924 р. переїхав до Харкова з метою організації науково-дослідної кафедри ґрунтознавства при Харківському сільськогосподарському інституті (ХСГІ).

Харківський період життя Миколи Костянтиновича почався з посади асистента кафедри землеробства Харківського зоотехнічного університету (зарахований 15 березня 1926 р.). Та вже через півроку він вступив до аспірантури провідного галузевого вишу — ХСГІ [2].

В особистій картці аспіранта, у розділі «повна характеристика кандидата в аспіранти» завідувач кафедри ґрунтознавства ХСГІ написав: «*т. Крупський талановитий робітник без сумніву. Коли він пройде добру школу, яка зуміє його дисциплінувати у відношенні метода роботи, з нього буде корисний науковий робітник. Нашим робітникам потрібно допомагати т. Крупському стати на шлях широкої наукової роботи. 10.09.1926*».

Вже 18 вересня 1926 р. рішенням Президії Укрнауки затверджено наказ про зарахування Миколи Костянтиновича Крупського аспірантом науково-дослідної кафедри ґрунтознавства Наркомпросу УСРР при ХСГІ, і його науковим керівником став О. Н. Соколовський, який особисто й ретельно здійснював набір до новоствореної галузевої кафедри. У цей період молодий науковець знайомиться з методикою та організацією роботи у різних хімічних лабораторіях Харкова, і головне, у Харківському державному університеті та ХСГІ. Під впливом гедройцівських ідей та під керівництвом свого наукового наставника продовжує дослідження колоїдів ґрунту, розпочаті ще за часів навчання в Уманському агротехнікумі.

Наприкінці 20-х років XX ст. швидкий темп розвитку народного господарства країни поставив перед ґрунтознавчою наукою та практикою вимоги щодо раціональної орієнтованості дослідницької роботи. На виконання цього завдання, шляхом об’єднання зусиль науковців, було спрямовано роботу Першої Всеукраїнської наради ґрунтознавців, що проходила 27–30 травня 1928 р. у Харкові. У своїй доповіді «Організація українського товариства ґрунтознавців» М. К. Крупський наголосив на необхідності заснування спеціального органу науково-громадської думки і запропонував для розгляду учасниками наради тези проєкту Статуту майбутнього товариства [5]. За результатами роботи наради аспірант М. К. Крупський підготував інформаційну статтю, яку було опубліковано у галузевому часописі «Вісник сільськогосподарської науки та досвідної справи» (1928), яка,

на сьогодні, вважається його першою самостійною роботою, що вийшла друком у фаховому виданні. Саме з неї розпочалася публікаційна діяльність вченого [6].

У 1928 р. Микола Костянтинович успішно закінчив аспірантуру і з 1 січня 1929 р. заступив на посаду викладача II групи [7], асистента кафедри ґрунтознавства ХСГІ, а з 13 серпня 1930 р. — на посаду доцента кафедри ґрунтознавства ХСГІ (на той час — Харківського зернового інституту) [8].

У цей період вчений вдало поєднував педагогічну та дослідницьку роботи беручи активну участь у низці обстежень і досліджень ґрунтів, які проводилися наприкінці 20-х та на початку 30-х рр. XX ст. на території УСРР та вів велику експериментальну (польову та лабораторну) роботу в галузі хімії ґрунтів, про що свідчать його публікації [9, 10, 11, 12, 13].

У липні 1930 р., йому доручають завідування підготовчими курсами агрономів [14], але у 1931 р. він звільнився за власним бажанням [15] і почав викладати ґрунтознавство у Вищій комуністичній сільськогосподарській школі, що тривало 3 роки (від 1932 до 1935) [16]. У цей період молодий вчений був направлений у тривале відрядження до Державного науково-дослідного інституту колоїдної хімії (м. Воронеж), де стажувався під керівництвом професора А. В. Думанського — відомого вченого і засновника першої в Україні лабораторії колоїдної хімії [17].

У 30-ті рр. XX ст. набуло значущості вивчення й узагальнення передового досвіду і запровадження у виробництво досягнень науки, тому у 1934 р., відповідно до Постанови Народного комісаріату землеробства УСРР (від 16 квітня 1934 р.) «Про організацію колгоспних хат-лабораторій» при ХСГІ було створено так звану колгоспну хату-лабораторію, завідувачем якої призначено М. К. Крупського [18]. Розуміючи велику потребу у методичних інструкціях для працівників лабораторій він підготував два видання, де зібрано потрібні практичні рекомендації і методи дослідження ґрунту і добрив [19, 20]. Навчальний посібник для студентів ХСГІ «Методичні вказівки до курсу ґрунтознавства для заочників» Микола Костянтинович опублікував у 1937 р. [21].

У період з 1931 до 1935 рр. в країні під керівництвом О. Н. Соколовського та за участю О. М. Грінченка, Н. Б. Вернандер, Г. С. Гриня, М. К. Крупського та інших співробітників ХСГІ, проводилися детальні обстеження ґрунтів, за результатами яких у 1935 р. було складено оглядову карту ґрунтів України нового типу масштабом 1 : 1 000 000 з показниками як сільськогосподарського і технічного, так і генетичного значення.

Розвиток землеробства в Україні, як країні з частими проявами посухи та суховіїв, вимагав обов’язкового застосування зрошення для збільшення урожаїв культур. Найважливішим завданням поливного землеробства була і залишається боротьба з непродуктивними витратами води як засіб підвищення коефіцієнта корисної дії зрошувальних систем.

Вже з 1932 р. М. К. Крупський, керуючись ідеями О. Н. Соколовського щодо ролі ґрунтових колоїдів у властивостях ґрунту, залучився до участі в лабораторних і польових експериментах з відпрацювання методу осолонцювання. Суть методу була у використанні поверхневої енергії найдрібнішої — колоїдної фракції ґрунту, що зумовлює зміни властивостей ґрунту у разі заміни обмінного кальцію натрієм з подальшим промиванням ґрунту.

У 1932 р. було здобуто перші позитивні результати виробничого досліду з осолонцювання днища водойми: за схемою, розробленою науково-дослідною кафедрою ґрунтознавства ХСГІ, було осолонцьовано водойму на Брилевській дослідно-меліоративній станції. До початку експерименту швидкість фільтрації (втрати) води становила близько 100 см/добу, після — знизилася до 1 см/добу.

Пізніше, у передвоєнні роки, окрім водойми на Брилевській дослідній станції, було споруджено, за допомогою апробованого способу осолонцювання, водойми-копані місткістю від 500 до 1000 м^3 в Оболонському та Кременчуцькому районах Полтавської області.

У 1936–1937 рр., разом з асистентом С. Ф. Кочергою, за пропозицією Харківського відділу комунального господарства, було проведено польові і лабораторні дослідження, націлені на практичне втілення методів боротьби з фільтрацією в системі водоймищ, створюваних навколо міста. Головними об'єктами досліджень стали територія водойми, запроєктованої вище села Велика Данилівка і територія водойми, створюваної підпором Гончарівської греблі в межах міських кордонів. За результатами цих та інших досліджень було встановлено, що швидкість фільтрації на лесових ґрунтах після осолонцювання може знижуватися в кілька сотень разів і практично зводиться до нуля (0,22 см/день). Результатами також було виявлено можливість зменшення фільтрації не лише на суглинкових ґрунтах, але й на алювіальних піщаних масивах з додаванням прошарку осолонцьованого дрібнодисперсного ґрунтового матеріалу — «кольматанту» [22].

Задля посилення ефекту від застосування нового методу вченими були запропоновані елементи техніки безпечного й заощадливого внесення солі. Економічна ефективність осолонцювання, на відміну від будь-якого іншого, існуючого на той час, методу боротьби з фільтрацією, була набагато вищою, що збільшувало заощадження коштів у десятки разів [22].

Додатковими лабораторними експериментами М. К. Крупський разом зі своїми асистентами довели, що склад і співвідношення обмінних катіонів у поглинальному комплексі ґрунту зумовлюють не лише фільтрацію води, а й взаємодію осолонцьованого ґрунту з іншими речовинами як спирт, бензол, гас і нафта. Таким чином було закладено теоретичні підходи до інших практичних способів застосування розробленого методу [23].

11 січня 1938 р. рішенням ВАК РНК СРСР Миколі Костянтиновичу присвоєно вчене звання доцента кафедри ґрунтознавства ХСГІ [24, 25]. У цей же період він був відповідальним секретарем редакції наукового видання «Записки Харьковского сельскохозяйственного института» [26].

Вміння поєднувати наукові знання з ясністю та доступністю викладання і широка ерудованість вченого забезпечили йому репутацію талановитого педагога та лектора з неабиякими ораторськими здібностями. Напередодні війни М. К. Крупський, крім роботи в ХСГІ, читає курс ґрунтознавства у Харківському державному університеті. А у 1939–1940 рр. його направили на навчання до Марксистсько-Ленінського університету, де він прослухав курс лекцій для наукових співробітників [17].

Глибокі знання у галузі біологічних, та фізико-хімічних наук сприяли прояву таланту експериментатора, новатора та організатора науки. Сюди можна віднести його дослідження з вивчення ступеню гідрофільності ґрунтового гумусу, де вперше було застосовано метод флотації. Вчений проймається з'ясуванням дієвості факторів стабільності ґрунтових колоїдів, виміряючи ступінь їх гідрофільності й гідрофобності. Попередніми дослідженнями 1932 р. було виявлено, що зневоднення ґрунтових колоїдних систем такими речовинами, як ацетон, етиловий та метиловий спирти призводило до часткової флотації. Результати дослідження наступних років довели достатню чутливість нового методу для визначення ступеню гідрофільності колоїду. Було виявлено, що колоїди гумусу й глини мають різко відмінні властивості: гумус легко втрачає свою гідратну плівку, а коагуляція його зумовлена катіонами; глина ж має ясно виявлені гідрофільні властивості, особливо якщо позбавлена органічних речовин [27].

Розгортання в країні робіт з хімічної меліорації солонців та солонцюватих ґрунтів вимагало пошуку шляхів найбільш ефективного використання застосовуваних для меліорації речовин — гіпсу та карбонату кальцію, а також вивчення взаємодії цих речовин з водою. У співпраці з асистентом кафедри ґрунтознавства З. І. Ковдрею було проведено серію дослідів, результати яких довели наявність взаємодії $CaCO_3$ і $CaSO_4$ з кремнекислотою з розчинів Na_2SiO_3. За даними серії дослідів було встановлено, що продукт, утворений у результаті взаємодії, має певну пружність до розчинення. Хоча останнє міркування вже мало місце в роботах деяких керамістів, та за даними, здобутими М. К. Крупським та З. І. Ковдрею, взаємодія між кристалами $CaCO_3$ і $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ та рухомою кремнекислотою веде до утворення гідросилікатів кальцію, які обволікають кристалики цих речовин плівкою, що впливає на зниження їх розчинності у воді. Міра зниження розчинності різна за різних концентрацій рухомої SiO_2, до того ж сильніше проявляється в системах із $CaCO_3$, ніж у системах із $CaSO_4$, тобто в присутності рухомої кремнекислоти поверхні зазначених речовин пасивуються [28].

У цей же час вченого запросили на посаду старшого наукового співробітника Лабораторії хімії ґрунтів при кафедрі ґрунтознавства ХСГІ, яку очолював академік О. Н. Соколовський. Під час роботи у лабораторії вчений продовжив дослідження у колоїдно-хімічному напрямі вивчення ґрунтів. Було встановлено участь активного та пасивного мулу у формуванні вбирної здатності ґрунту, роль кожної складової цього комплексу (органічних та мінеральних колоїдів) у ґрунтових фізико-хімічних процесах, вплив одно-, дво- і полівалентних катіонів та їх сумішей (особливо Ca^{++} і Mg^{++}) на процеси коагуляції–пептизації.

Після злиття лабораторії хімії ґрунтів з УкрНДІ соціалістичного землеробства М. К. Крупський залишився працювати в ній за сумісництвом.

Продовжувались і роботи з практичного втілення результатів наукових досягнень. Напередодні війни, у 1938 р., вперше впроваджено метод осолонцювання екранів та відновлення греблі у радгоспі ім. Фрунзе під Харковом. У 1937 р. було відремонтовано греблю із застосуванням осолонцьованих екранів та покриттів в тілі греблі довжиною 120 м. Попри констатоване дуже велике скупчення води весною 1938–1940 рр. гребля пошкоджень не мала [29].

Під час евакуації ХСГІ у жовтні 1941 р. в Катта-Курган Самаркандської області Миколі Костянтиновичу було доручено завідування кафедрою агрохімії [30].

Результати проведених вченим багаторічних досліджень у сфері колоїдної технології ґрунтів та підґрунтя знайшли своє втілення у дисертаційній роботі. Саме в евакуації, 20 квітня 1942 р. відбувся прилюдний захист кандидатської дисертації «Осолонцювання ґрунтів як метод створення сховищ для нафтопродуктів» [31]. Цей напрям досліджень у подальшому отримав широке впровадження як новий метод боротьби з фільтрацією рідин у нафтовому господарстві й у будівництві водосховищ, гребель, зрошувальних каналів та шляхів.

У роки Другої світової війни М. К. Крупський брав участь у роботах з випробування методу осолонцювання на нафтопромислах Небіт-Дага. Після успішного виконання проєктного завдання з будівництва дослідної земельної критої ємності для нафти об'ємом 1000 м^3 було ухвалено рішення скласти додаткову угоду з ХСГІ на випробування газонепроникності та теплопровідності покрівлі після використанням осолонцьованої глини для покриття ємності. У протоколі технічної наради при Головному інженерові Управління капітального будівництва тресту «Туркменнафта» (ст. Небіт-Даг) від 25 січня 1943 р. відмічено «…*велику та різнобічну роботу, проведену … консультантом доцентом ХСГІ тов. Крупським М. К. для обґрунтування проєктного завдання*» [32].

У 1943 р. було проведено науково-практичні дослідження з осолонцювання на землях колгоспу імені Леніна Катта-Курганського району Самаркандської області. Роботи проводилися в польових умовах на відсіках каналів. Ґрунт ділянки – сильно карбонатний легкосуглинковий сірозем. Застосовували глинистий осолонцьований «одяг», який, шаром 20 см, укладали в ложі каналу. До осолонцювання швидкість фільтрації дорівнювала 1,8 м/добу. Після осолонцювання ($NaCO_3$) — 0,18 см/добу, для NaCl — 0,28 см/добу [33].

Таким чином М. К. Крупський переходить від лабораторних методів на невеликих об’єктах до апробування нового методу боротьби з фільтрацією на великих масивах працюючи у складі експедиції особливого призначення АН СРСР та за завданням Наркомату Оборони. Разом з П. О. Бойченко у 1943 р. він досліджував перспективи застосування методу осолонцювання для створення захисту від підпору підґрунтових вод, для будівництва водонепроникних земляних дахів та земляних резервуарів для води на легких пилуватих і гіпсоносних ґрунтах [34]. Було доведено можливість успішного застосування осолонцьованого ґрунту як замінника деяких будівельних матеріалів. Результати досліджень були використані управлінням тилу Червоної армії для будування водосховищ. Комісія геолого-географічного обслуговування армії висловила подяку Інституту за виконання важливого завдання Головного управління тилу Червоної армії і за надану М. К. Крупському можливість здійснити наукове керівництво цією роботою. Комісія висловила подяку «*за успішне застосування методу академіка Соколовського у нових галузях будівництва*». У подальшому цей метод було значно удосконалено наполегливими пошуками М. К. Крупського та його учнів [35].

Після реевакуації, на підставі наказу Наркомзему від 1 листопада 1943 р. щодо відновлення роботи Інституту в Харкові, доцент М. К. Крупський отримав призначення на посаду «помічника заступника директора ХСҐІ з науково-навчальної роботи» [36].

У 1945 р. його призначають виконуючим обов’язки завідувача кафедри агрохімії ХСГІ [37], а пізніше, у 1947 р. — завідувачем цієї кафедри [38].

Низка промислових підприємств поставила перед науковцями питання про можливість застосування осолонцьованих антифільтраційних екранів у будівництві випарних майданчиків для кислих стічних вод, що не підлягають спуску у водойми. Перші випробування в цьому напрямі, що виправдали очікування, були перервані воєнними подіями. Нестача будматеріалів у період повоєнної відбудови народного господарства знов поставила на порядок денний зазначену проблему, тим більше, з’явився ще один замовник — підприємства з переробки та зберігання овочів. За результатами проведеної роботи вчені дійшли висновку, що осолонцьовані екрани можуть бути використані для зберігання кислої рідини та розсолів. Навіть проникнення останніх у товщу осолонцьованої маси ґрунту не змінило її загальної будови та антифільтраційних властивостей, хоча були наявні передумови коагуляції колоїдної фракції [39].

Працюючи на посаді завідувача кафедри агрохімії ХСГІ (1947–1969) вчений проводить науково-дослідну роботу з вивчення колоїдних властивостей гумусу ґрунту. Існуючі методи характеристики гуматної частини ґрунту були спрямовані в бік визначення її, як дисперсної системи і як комплексу органічних сполук. Хоча така характеристика органічної частини ґрунту і відкривала важливі сторони її поведінки, але була недостатньою, тому що за такої характеристики не можна було здобути дані щодо рухливості органічної речовини ґрунту та її мінералізації, що було важливим для оцінки її як джерела поживних речовин. Тому вивчалися криві окиснення гумусу залежно від

тривалості зіткнення з окиснювачами та від концентрації останніх [40]. Було проведено дослідження впливу на фосфорити — в'ятський, смоленський, ізюмський та подільський, таких речовин як Na_2CO_3, $(NH_4)_2C_2O_4$, гумат Na і дистильована вода. Виявлено, що під дією гумату Na відбувається швидка диспергація фосфоритного борошна і зміщення дисперсності в бік дрібних і найдрібніших фракцій, що в інших випадках не могло бути досягнуто навіть тривалим розмелюванням. У зв'язку з цим висунуто пропозиції зміни технології виготовлення фосфоритного борошна [41].

Одним з основних напрямів діяльності організованої у 1945 р. лабораторії ґрунтознавства АН УРСР, став колоїдно-хімічний напрям у вивченні ґрунтів. Дослідження, проведені вченими лабораторії, дали можливість успішно розв'язати практичне питання щодо небажаного тріщиноутворення у стінках каналів. Для цього М. К. Крупський запропонував виготовлення оптимальної суміші. Виготовляли її таким чином, що пори між грубими піщинками заповнювали більш дрібними. Ще більш дрібні пори заповнювалися, своєю чергою, ще дрібнішими частинками. Осолонцьований ґрунт заповнювали оптимальною сумішшю на 15–20 % від усього об'єму і ґрунт, таким чином, ставав водонепроникним.

Недостатність існуючих концепцій явищ осолонцювання підштовхнула вчених шукати причини гідрофілізації при осолонцюванні як у поведінці окремих часток ґрунту, так і у змінах властивостей їх сукупності та теоретично обґрунтувати ці процеси. Вивчали зміни, які відбувалися внаслідок насиченості натрієм. Результатами досліджень було доведено, що всю ґрунтову-підґрунтову масу, що є сукупністю твердих частинок і рідкої фази, яка заповнює пори, слід розглядати як осмотичну систему, яка цілком аналогічна, за своїми властивостями, типовим гідрофільним (ліофільним) колоїдам [42].

Шляхи та методи колоїдно-хімічної технології ґрунтів розвивалися з метою використання їх у будівництві зрошувальних систем, водойм та для інших народногосподарських цілей. В межах проблеми «Колоїдно-хімічна технологія ґрунтів як метод їх переробки та удосконалення геотехнічних властивостей ґрунтів для потреб сільськогосподарського виробництва» поглиблювалася науково-дослідна тематика «Удосконалення та здешевлення методу осолонцювання ґрунтів шляхом застосування замінників звичайної солі». Проводилися нові лабораторні і польові дослідження з вивчення можливості використання замість кухонної солі більш дешевших замінників – хлористого калію та сильвініту [43].

Логічним стало визнання запропонованої О. Н. Соколовським і далі всебічно розробленої М. К. Крупським та його учнями колоїдно-хімічної технології та методу осолонцювання ґрунтів, спрямованого на заміну гостродефіцитних будівельних матеріалів. Цей метод був рекомендований сесією ВАСГНІЛ (1940) і відзначений премією і дипломом Всесоюзного менделеєвського хімічного товариства та запатентований Бюро винаходів СРСР (1942) [44].

Пізніше спроба впровадження результатів досліджень «колоїдного» ґрунтознавства у практику будівництва дозволила закласти підвалини нової галузі – «колоїдної технології ґрунтів» відповідно до потреб будівництва як загального, так і гідротехнічного, шляхового та ін. Цей напрям був схвалений Науково-технічною радою Головводгоспу Міністерства сільського господарства СРСР (1950) як один із найекономніших та найефективніших.

Відомо багато прикладів ефективного впровадження вченими і практичного застосування колоїдно-технологічних методів у народному господарстві країни у післявоєнний період.

Кафедрою ґрунтознавства ХСГІ та лабораторією ґрунтознавства АН УРСР у співробітництві з Укргідроенергопроєктом (Укргідеп) у виробничих умовах вивчалося застосування методу осолонцювання для боротьби з фільтрацією на будівництві ставків та водосховищ. Об’єктом була водойма «Комсомольське озеро» (м. Харків) і будівництво греблі та інших споруд було закінчено восени 1949 р. Згідно з проєктом загальний об’єм водосховища повинен був становити 900 тис. м^3, але паводок 1949 р. показав, що ґрунти чаші водосховища дуже водопроникні і напір води біля греблі 2,5 м було втрачено повністю за 11 діб. Тому влітку 1949 р. тривав пошук способів боротьби з фільтрацією. Застосування співробітниками Укргідепу способів кольматації та ущільнення й одночасного застосування обох способів, на превеликий жаль, не дало позитивних результатів. У зв’язку з цим Укргідеп звернувся з проханням до науковців кафедри ґрунтознавства дослідити можливість застосування методу осолонцювання. У 1949 р. було закладено дослідні майданчики та водосховище у напіввиробничому масштабі (загальний об’єм 3000 м^3. Але паводок 1950 р. був повністю втрачений протягом 1 місяця, за винятком осолонцьованого водосховища, у якому «спрацював» протифільтраційний ефект осолонцювання [45].

У довідці про творчу участь у розробці та впровадженні методу осолонцювання ґрунтів, від 24 листопада 1951 р., яку було складено для подання до Комітету по Сталінських преміях, зазначено, що Крупський М. К. «*Врятував стан з «Комсомольським озером» у Харкові та довів можливість затримання води на сильно фільтруючих ґрунтах. Чаша озера вперше за 2 роки заповнилася водою (в осолонцьованій частині – до 8 га дзеркала*)» (1949–1952) [32].

Пізніше у виробничих умовах випробовували метод коагуляційної кольматації пульпою з осолонцьованого ґрунту. Сутністю методу, розробленого разом з П. О. Гасан, є досягнення максимальної диспергації шляхом руйнування мікроагрегатів до первинних часточок у кольмативному матеріалі. Виявилось, що таким способом можна домогтися формування протифільтраційного шару на будь-якій заданій глибині. Як показали досліди, швидкість фільтрації знижувалася у 600–700 разів порівняно з вихідною, і потужність закольматованого гумусованого ґрунту становила 40–50 см, а кварцевих пісків – до 100 см [46, 47].

У середині XX ст. перед людством постали нові виклики, зумовлені будівництвом гідроелектростанцій, масштабних зрошувальних систем та судоплавних каналів. У першу чергу, це пов’язано з початком будівництва у 1950 р. Каховської ГЕС. Підйом води в Дніпрі, під час спорудження греблі Каховської ГЕС, неминуче призвів би до затоплення Кінських і Вазавлуцьких плавнів та частини Кам'янського поду. Тому перед науковцями лабораторії ґрунтознавства АН УРСР та ХСГІ імені В. В. Докучаєва, за договором з «Дніпробудом» та на підставі технічного завдання Укргідепу, постало питання щодо можливості збереження для сільськогосподарського використання, шляхом обвалування та гідротехнічних споруд, площ Кінських плавнів (близько 58 тис. га), Вазавлуцьких плавнів (близько 27 тис. га) та Кам'янського поду (понад 7 тис. га) [48].

Задля виконання цього завдання було створено бригаду на чолі з О. М. Грінченком і розподілено фронт робіт. На старшого наукового співробітника лабораторії ґрунтознавства АН УРСР М. К. Крупського було покладено розробку агрохімічних заходів. За результатами роботи було розроблено основні положення агроекономічного обґрунтування захисного обвалування земель в зоні Каховського водосховища з метою їх ефективного сільськогосподарського використання [49].

Постановою Ради Міністрів УРСР та ЦК КП(б)У від 23 березня 1951 р. та Президії АН УРСР на лабораторію ґрунтознавства АН УРСР, за договором з Українським інститутом «Гіпроводхлопок», було покладено завдання щодо дослідження ґрунтів Ногайського масиву зрошення, який входив до зони Південноукраїнського каналу. Задля обґрунтування висновків щодо агромеліоративної характеристики ґрунтів Ногайського масиву, корегування результатів польових робіт та карт під керівництвом М. К. Крупського були організовані фізико-хімічні дослідження, які здійснювалися групою аналітиків у лабораторіях Харкова та, частково, в експедиційних лабораторіях, а також вивчалися водно-фізичні властивості ґрунтів [50]. За результатами роботи було побудовано карти ґрунтів масиву з таблицями і агромеліоративною та іригаційною характеристикою ґрунтів і природних умов.

Займаючись наукою в лабораторії ґрунтознавства АН УРСР та не покидаючи викладацької роботи в ХСГІ, вчений одночасно керував дослідженнями, які проводила кафедра агрохімії ХСГІ, очільником якої він був з 1947 до 1969 рр., а потім ще до 1970 р. залишався професором кафедри.

Наприкінці 1950-х і в 1960-х роках в УРСР розпочався процес широкомасштабної хімізації сільського господарства, спрямований на забезпечення його стабільного розвитку.

Суттєву допомогу у справі хімізації надавала коксохімічна промисловість, яка була однією з постачальників азотних добрив. Тому набули актуальності дослідження з вивчення ефективності різних видів азотних добрив на потужних малогумусних (слабоструктурних) чорноземах, проведені М. К. Крупським разом із співавторами. Результатами досліджень 1963–1964 рр. було доведено ефективність внесення азотних добрив, що поставлялися з коксохімічних заводів, під зяблеву оранку [51].

Упродовж 1964–1967 рр. разом зі своїми учнями проводив дослідження з визначення особливостей та ефективності застосування мінеральних добрив під озиму пшеницю, цукрові буряки [52, 53] та кукурудзу на чорноземах [54, 55].

Починаючи з 1970-х років до агрохімічної тематики науково-дослідної роботи УНДІГ додався актуальний напрям дослідження змін агрохімічних характеристик різних ґрунтів за інтенсивної хімізації і залежно від культури землекористування. Найбільші зміни було виявлено у високоудобрених ґрунтах [56].

Після реорганізації у 1956 р. лабораторії ґрунтознавства АН УРСР в Український науково-дослідний інститут ґрунтознавства М. К. Крупський очолив лабораторію фізико-хімії і колоїдної технології ґрунтів у новому інституті.

У 1959 р., після смерті академіка О. Н. Соколовського, виконуючим обов'язки директора УНДІГ було призначено його учня, соратника та послідовника — М. К. Крупського (наказ Міністерства сільського господарства УРСР 570-к від 27 травня 1959 р.). При цьому він залишився на посаді завідувача лабораторії фізико-хімії ґрунтів, а також продовжив очолювати кафедру агрохімії ХСГІ [57].

Важливим напрямом наукових досліджень, які проводилися під керівництвом та за безпосередньої участі вченого, стала розробка концептуальних та методичних засад *великомасштабного обстеження ґрунтів.* Так, з метою забезпечення найбільш продуктивного використання земель, правильного застосування систем сівозмін, добрив, обробітку ґрунту, меліорації, боротьби з ерозією ґрунтів та інших заходів до подальшого підвищення родючості ґрунту і врожайності сільськогосподарських культур у колгоспах і радгоспах Рада Міністрів УРСР постановою № 1093 від 8 вересня 1956 р. зобов'язала Міністерство сільського господарства УРСР провести обстеження ґрунтів у масштабах 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000 і скласти ґрунтові плани та карти з детальною агровиробничою характеристикою по кожному колгоспу та радгоспу. Цю роботу було покладено на УНДІГ, для здійснення якої колективу вчених, очолюваних М. К. Крупським, знадобилося перш за все розробити декілька керівних методичних посібників інструктивного типу для забезпечення ефективної організації роботи великого загону дослідників. Першим із документів була «Інструкція і методичні матеріали до обслідування ґрунтів колгоспів та радгоспів Української РСР» [58].

Треба зазначити, що лабораторно-аналітичний бік великомасштабних ґрунтових досліджень до середини 50-х рр. XX ст. залишався найвідсталішою ділянкою не тільки щодо залучення сучасної досконалішої техніки дослідження, а й планування та використання результатів для агроґрунтової характеристики території. Тому виникла нагальна потреба у складанні посібника, в якому, поряд з викладенням техніки виконання аналізів, особливої значущості було б надано плануванню аналітичних досліджень, питанням меж застосовності того чи іншого методу, а також якості даних лабораторних аналізів і можливості їх застосування. Не менш значущим залишалося питання репрезентативності проб ґрунту, переданих на аналіз в лабораторію. Всі ці аспекти було представлено у книзі, складання якої очолив М. К. Крупський, запросивши багатьох досвідчених аналітиків — «Методическое пособие по лабораторным и полевым анализам при обследовании почв колхозов и совхозов УССР», яка була видана великим тиражем [59].

У період підготовки до великомасштабного обстеження ґрунтів України М. К. Крупський зі співавторами запропонували нову методику великомасштабної ґрунтової зйомки з мінімальним порушенням ґрунтового покриву обстежуваних полів, тобто, із заміною 2-метрових розрізів і напів'ям системою свердловин. Нова методика застосовувалася під час ґрунтової зйомки масштабів 1 : 1000, 1 : 750, 1 : 500, а також частково до масштабів 1 : 10000, 1 : 25000, 1 : 50000 [60].

За 1957–1961 рр. було обстежено 44,7 млн га ґрунтів в усіх колгоспах та радгоспах республіки. Пізніше, за результатами обстежень, фахівці УНДІГ ім. О. Н. Соколовського та Інституту «Укрземпроект», шляхом послідовного зменшення та генералізації оригінальних різномасштабних картографічних матеріалів виготовили за редакцією М. К. Крупського обласні карти ґрунтів України масштабом 1: 200 000 на окремих листах, що склали загальну «Карту ґрунтів Української РСР» яка була основним джерелом інформації і державним документом щодо територіального розміщення різних типів ґрунтів [61].

Перші методичні спроби комплексного використання результатів великомасштабного обстеження для проведення районування земель України зроблені Г. С. Гринем та М. К. Крупським у вигляді так званої сільськогосподарської типології земель [62]. На основі цих матеріалів було розроблено республіканську номенклатуру сільськогосподарських земель, затверджену МСГ УРСР як основу для господарського обліку, кадастру земель і бонітування ґрунтів.

Пізніше, у 1979 р. за редакцією М. К. Крупського та М. І. Полупана вийшов друком «Атлас почв Украинской ССР», в описовій частині якого, збагаченій кольоровими ілюстраціями, дано загальну характеристику природних умов і структури ґрунтового покриву всієї України та окремих провінцій. Описано основні властивості 69 видів ґрунтів, якими представлено найголовніші типи, підтипи та роди ґрунтів України. За кожним видом наведено їх поширення, господарське використання, будову профілю, гранулометричний і хімічний склад. На кольорових ілюстраціях (фото нині широковідомого митця Олега Мальованого) зображення природних і культурних ландшафтів, ґрунтових профілів, окремих генетичних горизонтів і типів структурних агрегатів [63].

Микола Костянтинович не полишав свого, закладеного ще в часи аспірантури, інтересу щодо колоїдно-хімічних досліджень гумусу. Розвиваючи вчення О. Н. Соколовського про «активний» і «пасивний» гумус, разом з аспірантом М. І. Лактіоновим розробили метод фракціонування полідисперсних систем гумусу способом паперової хроматографії. Таке фракціонування гумусу дозволяло виділяти фракції з різним адсорбційним потенціалом. За результатами серії експериментів, з використанням самостійно розробленої конструкції хроматографа, було виявлено існування двох функціонально різних фракцій активного гумусу (адгезійної та йонократичної), кожній з яких належить специфічна роль у процесах формування структури ґрунту [64]. Подальше розширення діапазону засобів дослідження (додано спектрофотометричний та електронномікроскопічний методи) і типу ґрунтів та способів їх використання дозволило зробити ряд інноваційних на той час висновків стосовно особливостей гумусових речовин у різних генетичних горизонтах ґрунтів на орних, перелогових та цілинних ділянках [65].

Необхідність проведення науково-дослідної роботи за тематикою, пов'язаною з діагностикою змін властивостей ґрунту під впливом інтенсивного застосування добрив і меліорантів, послугувала стимулом для пошуку нових, більш чутливих і ефективних методів визначення хімічних і фізико-хімічних властивостей ґрунту, які перш за все впливали на його агрохімічні характеристики.

У цей період пошукові зусилля науковців у багатьох установах були спрямовані на встановлення єдиних стандартних умов визначення величини pH в ґрунтознавстві і проводилися за постановою Вченої Ради по pH-метрії при Державному комітеті з автоматизації та механізації Ради Міністрів СРСР.

Співробітники лабораторії фізичної хімії та колоїдної технології ґрунтів, під керівництвом М. К. Крупського та Г. М. Александрової, *вивчали природу та генезу реакції ґрунту із застосуванням методу неводних розчинників*, що надало можливість елімінувати процеси гідролізу. Вченими доведено, що використання неводних розчинників для титрування ґрунтових суспензій дає можливість виділити фактори, які зумовлюють низьку родючість кислих ґрунтів. Слід зазначити, що ініціювання колективом лабораторії цих досліджень мало пріоритет у питанні вивчення природи ґрунтової кислотності як у вітчизняній, так і в зарубіжній науці [66]. Так у 1960 р. було проведено титрування суспензій ґрунтів різних природних груп у воді, диметилформаміді та етиловому спирті. Результатами дослідів доведено, що вміст алюмінію в ґрунті не впливає на результати титрування у неводному середовищі [67].

Лабораторні дослідження з визначення $pH_{сол.}$ в типових ґрунтах УРСР проводилися з метою відпрацювання єдиної методики визначення величини pH ґрунтів УРСР. Результатами досліджень доведено, що визначати величину $pH_{сол.}$ можливо лише за допомогою скляного електроду, і що розведення змінює значення в бік лужності, отже слід $pH_{сол.}$ ґрунту визначати за мінімального розведення суспензії [68].

Пізніше, у своїх дослідженнях, вчені застосували титрування ще в одному неводному середовищі — ацетоні. Отже, за результатами багаторічних досліджень було доведено, шо під час визначення кислотності при наявності води визначається сумарна кислотність, утворювана власне кислотними компонентами ґрунту, та кислотність, що зобов'язана своїм походження гідролізу сполук алюмінію [69].

Запропоновано метод роздільного визначення обмінних водню й алюмінію ґрунту шляхом витіснення їх іоном кальцію в неводному середовищі — метилового спирту [70]. Досліджуючи алюміній, як джерело обмінної ґрунтової кислотності, вчені дійшли висновку, що «…*перехід рухомої форми алюмінію з ґрунту у витяжки, залежно від pH сольового буферного розчину, описується параболою. У кислій зоні pH ґрунтових витяжок обмінний алюміній знаходиться у вигляді катіонів Al^{3+} та продуктів його гідролізу, а в лужній зоні — у вигляді алюмінатів. При pH < pH ізоелектричного кислотність ґрунтового розчину зумовлена гідролізом солей алюмінію*» [71].

До зазначеного комплексу робіт треба віднести дослідження з вивчення карбонатного режиму у ґрунтах, оскільки процеси ґрунтоутворення з формуванням карбонатних новоутворень, а також процеси взаємодії вапнякових матеріалів з кислими ґрунтами мали першорядну значущість для виявлення режиму кальцію та пізнання природи дії вапна в кислих ґрунтах [66]. У межах наукової тематики лабораторія систематично вела дослідження літології карбонатних новоутворень.

Щодо колоїдно-хімічної технології ґрунтів в лабораторії тривали *дослідження режимів експлуатації протифільтраційних та осолонцьованих екранів у південній частині України* (Херсон, Верхньоінгулецька зрошувальна система, Одеса, Маяко-Біляївський зрошувальний масив), а також дослідження на спеціальних осолонцьованих

політонах з метою встановлення закономірності еволюції осолонцьованих екранів, що дозволило удосконалити відповідну технологію [66].

Продовжувалося впровадження нового методу *боротьби з фільтрацією шляхом коагуляційного кольматажу,* що було розпочато у 1953 р. Суть цього методу полягала у використанні тонкодисперсної суспензії, яка готується з будь-яких суглинкових або глинистих ґрунтів шляхом колоїдно-хімічної пептизації, або механічного диспергування. Завдяки впровадженню цього методу на будівництві відстійника для стічних вод фенольного заводу на Донбасі заощаджено близько 5 млн крб [66]. У 1960 р. метод апробовано в умовах одного з найбільших в СРСР відстійника для промислово-стічних вод при Сумському суперфосфатному заводі [72]. Відстійник будували на піщаній терасі р. Псел і швидкість фільтрації становила більше ніж 1 м на добу. Метод коагуляційного кольматажу забезпечив зниження швидкості фільтрації до проєктної (порядку 2–3 мм на добу) при напорі води в 40 см, що відкривало перспективу значної економії до 10 млн крб на рік [73].

Метод кольматації було впроваджено на ґрунтах і підгрунті різного гранулометричного складу: у напіввиробничих умовах Дніпродзержинського азотно-тукового заводу на лесоподібних просадкових суглинках; у Тамбовському АКЗ (суглинок середній); на Фенольному заводі (суглинок середній); на комбінаті Славсода «біля моря» (тонкозернистий, пилуватий алювіальний пісок); в КМА Руда (тріщинувата крейда); на Старо-Бешевському хімічному заводі (суглинок середній сильно тріщинуватий); на Волзькому хімкомбінаті (шоколадні тріщинуваті глини). За результатами досліджень, які проведено як у виробничих, так і напіввиробничих умовах на будівельних майданчиках низки підприємств на території країни, доведено, що на легких піщаних ґрунтах метод коагуляційної кольматації дав можливість зменшити фільтрацію у 80–100 разів, внутрішньоґрунтовий екран формувався товщиною до 100–120 см, а його вартість коливалася, залежно від площі кольматації, у межах від 15 до 30 коп. на кв. м [74].

У напрямі удосконалення проводилися науково-дослідні роботи зі створення протифільтраційного екрана методом кольматації з різними сольовими прошарками (сильвініт, крейда, гіпс). Доведено, що під час кольматації відбувається не тільки механічне переміщення глинистого матеріалу, а й частковий його гідроліз [75].

Широке будівництво трубопроводів викликало необхідність пошуку їх здешевлення шляхом заміни металевих труб на бетон. У той же час, залізобетон мав відносно високу водопроникність і, навіть під тиском 1–2 атмосфери, втрати води були значними. Тому для підвищення водонепроникності залізобетонних напірних труб М. К. Крупський із старшим науковим співробітником О. Я. Демидієнком запропонували *колоїдно-інфлюкційний метод* боротьби з водопроникністю, за використання якого відбувалася кольматація залізобетонних труб та інших гідротехнічних споруд, що складаються з бетону. Високодисперсні стабільні пульпи (колоїдних і передколоїдних фракцій) під тиском проникали у пори в бетоні викликаючи їх механічне закупорювання з подальшою автокоагуляцією, що й забезпечувало усунення фільтрації. За результатами випробувань автори методу визнали найкращими матеріалами для кольматації бетонних труб осади "білих морів", каолінітові глини та гумусовані суглинки. Треба зазначити, що до того часу цей метод не використовувався ні на території СРСР, ні за кордоном, але його застосування надавало можливість виготовити водонепроникні залізобетонні труби, які здатні витримати тиск 14–16 атмосфер. Ця робота була виконана у 1962 р. у співпраці УНДІГ з Інститутом «Укргіпрокомунбуд» та Луганським радгоспом [76].

З 1959 р. в лабораторії фізико-хімії та колоїдної технології ґрунтів було організовано групу з вивчення природної радіоактивності ґрунтів та четвертинних порід; проведено обстеження способом буріння серії шурфів і свердловин у межах Українського кристалічного щита, Північно-Української грабини та Південно-Української мульди. В результаті було встановлено підвищену радіоактивність приповерхневих частин ґрунтових профілів, порівняно з підґрунтям, а також неоднакову радіоактивність четвертинних порід в межах щита, на північ і південь від нього [66]. Дослідження було продовжено у 1960 р., вивчалася природа бета-радіоактивності основних типів ґрунтів деяких районів Сумської та Харківської областей. Вченими встановлено залежність природної радіоактивності ґрунтів від вмісту мулу та пилуватих фракцій, в яких сконцентровано переважну частину радіоактивного ізотопу калію K^{40} та елементів з радіоактивних рядів урану і торію [77].

У 1962–1966 рр. УНДІГ проводить розробку нового *агроґрунтового районування території УРСР*. Результатом цієї роботи стало створення карти ґрунтів масштабу 1 : 200 000, а також картосхем агроґрунтового районування УРСР, еродованості, агрохімічних характеристик ґрунтів та ін. [61], де було узагальнено результати великомасштабних ґрунтових досліджень, розробки бонітувальної шкали для всіх

основних агровиробничих груп ґрунтів УРСР, а також необхідні матеріали для спеціалістів сільського господарства та фахової освіти.

Після створення у 1964 р. агрохімічної служби перед науковцями постало багато методичних питань, актуальних для новостворених зональних агрохімічних лабораторій України. Одним із найважливіших агрохімічних аспектів удобрення є застосування мікроелементів у сільськогосподарському виробництві, що, як доводили вчені, має проводитися на підставі ґрунтового та агрохімічного районування, а також з урахуванням картограм вмісту мікроелементів у ґрунтах, водах і рослинах досить великого масштабу. Під науковим керівництвом М. К. Крупського проводилися дослідження з визначення *вмісту в ґрунтах валових та рухомих форм мікроелементів.*

В результаті обстежень виявлено вміст рухомої форми марганцю в орному шарі ґрунтів Харківської області, і на підставі здобутих аналітичних даних складено картосхему. Як виявилось, в основній своїй масі орний шар ґрунтів у Харківській області був забезпечений рухомою формою марганцю [78].

Дослідження вмісту в ґрунтах на всій території України рухомих форм мікроелементів увійшло вагомою частиною у майбутні наукові програми лабораторії. У результаті, з залученням широкого кола спеціалістів на місцях, послідовникам М. К. Крупського вдалося створити базу даних і побудувати картосхеми вмісту мікроелементів у ґрунтах України.

Творча спадщина вченого налічує понад 400 наукових праць. Під його науковим керівництвом захищено 56 кандидатських та докторських дисертацій. До плеяди учнів талановитого вчителя належить велика група українських вчених, яку слід називати школою професора М. К. Крупського, і яку умовно можна розподілити на групи за такими основними напрямами досліджень:

– властивості колоїдного комплексу ґрунту й колоїдно-хімічна технологія;
– методологія фізико-хімічних аналітичних досліджень;
– вміст мікро- та макроелементів у ґрунтах України;
– вплив удобрення на властивості основних ґрунтів України.

Вважаємо за потрібне перелічити імена всіх послідовників і спадкоємців наукових ідей великого вчителя, що зробили неабиякий внесок у розвиток ґрунтознавства України та її аграрні успіхи (перелік дано у хронологічній послідовності захищених дисертацій):

О. Я. Демидієнко (1958); П. А. Гасан (1959); Е. І. Вешко (1961); П. П. Левенець (1961); М. І. Лактіонов (1962); Б. С. Носко (1964); Е. В. Рябуха (1964); Ю. В. Дараган (1966); Е. П. Латишев (1966); А. К. Вороб'йова (1967); І. О. Коцюба (1967); К. П. Юрко (1967); Н. М. Бреус (1968); А. Д. Івашина (1968); Г. М. Кривоносова (1968); М. М. Кулєшов (1968); С. З. Аллахяров (1969); В. Ю. Гончаренко (1969); А.Г. Горбачова (1969); В. М. Демурджан (1969); П. Г. Ковалівнич (1969); В. В. Медведєв (1969); М. Г. Носальський (1969); Р. Ф. Тимченко (1969); В. М. Тищенко (1969); Алі Акбар (1970); П. М. Виноградов (1970); В. Д. Волкова (1970); П. А. Гордиєнко (1970); О. А. Казаков (1970); М. М. Сирий (1970); Л. І. Сулімова (1970); Г. М. Білоненко (1971); В. Л. Гаврилов (1972); Т. О. Грінченко (1972); Д. М. Губарева (1972); В. С. Залізовський (1972); В. Я. Ладних (1972); О. І. Лапта (1972); М. М. Лисенко (1972); З. І. Лук'янчикова (1972); І. М. Подоба (1972); А. Г. Язикова (1972); М. В. Лісовий (1973); В. М. Столяр (1973); О. О. Бацула (1974); М. І. Завалій (1974); Є. Г. Мамонтова (1974); А. Ф. Нестеренко (1976); В. І. Ніколенко (1977); А. І. Фатєєв (1978); Л. О. Чаусова (1978); В. З. Карталова (1983); О. Ю. Рубан (1986); Є. А. Головачов (1987).

Отже, підсумовуючи вище викладене й наголошуючи на багатогранності постаті Миколи Костянтиновича Крупського можна стверджувати про його непересічність як науковця, практика й методолога ґрунтознавчої науки, педагога та просто людини. Аналіз його науково-практичного доробку та опрацювання архівних матеріалів із фондів Державного біотехнологічного університету (м. Харків) та ННЦ «Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» дозволили комплексно оцінити його внесок у ґрунтознавчу науку та практику. У досить значному прошарку праць вченого розглядаються концептуальні та методичні засади великомасштабного обстеження ґрунтів, фізико-хімічні властивості ґрунту, колоїдно-хімічні властивості гумусу, зв'язок родючості з ґрунтовими процесами, тобто як фундаментальні, так і прикладні питання ґрунтознавства та агрохімії.

Перелік посилань

1. Автобіографія Крупського Миколи Костянтиновича. *Архів Харківського сільськогосподарського інституту імені В. В. Докучаєва МСГ СРСР,* м. Харків (далі Архів ХСГІ). Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 22–22 зв.

2. Особиста карточка аспіранта Крупського М. К. *Архів ХСГІ.* Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 2–3.

3. Довідки про закінчення технікуму. *Архів ХСГІ*. Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 23, 54.

4. Свідоцтво № 1164 про навчання в Уманському сільськогосподарському технікумі. Архів ХСГІ. Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 24.

5. За матеріалами Всеукраїнської наради ґрунтознавців (28–29.V.1928 р.). *Труди науково-дослідної катедри ґрунтознавства*. Харків, 1930. С. 211–222.

6. Крупський М. К. Перша Всеукраїнська нарада ґрунтознавців. *Вісник сільськогосподарської науки та досвідної справи*. 1928. Т. 5. № 5. С. 136–138.

7. Випис з наказу Ч. 126 ХСГІ від 24.12.1928. *Архів ХСГІ*. Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 9.

8. Витяг з наказу Ч. 3. по Харківському зерновому інституту від 11.07.1930. *Архів ХСГІ*. Спр. 332. Арк. 13.

9. Крупський М. К. та ін. Мапа ґрунтів Луганської округи. Масштаб 1 : 150 000. Вид-во ЦАХЛ, 1929.

10. Крупський М. К. Схематична мапа районів вапнування. Вид-во УНИИАИ, 1930.

11. Крупський М. К. Вік землі. Харків: Держсільгоспвидав, 1931. Б.с.

12. Крупський М. К. Ґрунти і їх родючість. *С.-г. винахідництво*. 1932. № 2.

13. Крупський М. К. Ґрунт і врожайність рослин. *Агрограмота.* Вид. 1. Харків: Держсільгоспвидав, 1933.

14. Витяг з наказу по Харківському зерновому інституту від 13.08.1930. *Архів ХСГІ.* Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 10.

15. Витяг з наказу № 28 по ХСГІ від 31.03.1931. *Архів ХСГІ.* Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 12.

16. Особовий листок з обліку кадрів ХСГІ. *Архів ХСГІ*. Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 21.

17. Характеристика Крупського М. К. *Архів ХСГІ.* Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 68.

18. Витяг з наказу № 89 по ХСГІ від 22.07.1934. Архів ХСГІ. Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 14.

19. Крупский Н. К. *Методы исследования почв*. *Методическое руководство для хат-лабораторий.* Харьков: Держсільгоспвидав, 1934.

20. Крупский Н. К. *Методы исследования удобрений*. Харьков: Держсільгоспвидав. 1935.

21. Крупский Н. К. *Методические указания к курсу почвоведения для заочников*. Харьков: Изд-во ХСХИ. 1937.

22. Крупский Н. К., Кочерга С. Ф. Опыт борьбы с фильтрацией в гидросооружениях путем осолонцевания. *Записки Харьковского сельскохозяйственного института.* Харьков, 1938. Т. 1 Вып. 2. С. 39–119.

23. Крупский Н. К., Ковдря З. И. К вопросу о гидрофильности и гидрофобности почв разных степеней осолонцованности. *Записки Харьковского сельскохозяйственного института.* Харьков, 1938. Т. 1. Вып. 3. С. 173–176.

24. Витяг з протоколу ВАК Всесоюзного комітету по справах вищої школи при РНК СРСР від 11.01.1938. *Архів ХСГІ.* Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 18.

25. Рішення Вищої атестаційної комісії від 11.03.1938 р. про присудження вченого звання доцента Крупському М. К. *Архів ХСГІ.* Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 55.

26. Витяг з наказу по ХСГІ № 332 від 4.10.1938. *Архів ХСГІ.* Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 20.

27. Крупський М. К. Гумус у вбиральному комплексі ґрунту. Повідомлення 3. Порівняльна гідрофільність гумусу та глини. *Записки Харьковского сельскохозяйственного института.* Харьков, 1938. Т. 1. Вип. 2. С. 135–142.

28. Крупский Н. К., Ковдря З. И. К характеристике взаимодействия карбоната кальция и гипса с кремнекислотой. *Записки Харьковского сельскохозяйственного института.* Харьков, 1938. Т. 1. Вып. 2. С. 121–133.

29. Відповідь директора ДГ імені Фрунзе Кошмана на лист на ім'я академіка О. Н. Соколовського від 7 серпня 1940 р. *Архів ННЦ ІҐА.* Ф. Лабораторія ґрунтознавства АН УРСР (м. Харків). Спр. «Осолонцевание почв и грунтов как эффективный и дешевый метод борьбы с потерями воды через фильтрацию в каналах водоемах и плотинах». Арк 7.

30. Витяг з наказу № 1 від 1.10.1941 р. ХСГІ (м. Катта-Курган). *Архів ХСГІ.* Спр. Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 26.

31. Копія диплому кандидата наук Крупського М. К. *Архів ХСГІ.* Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 44.

32. Справка о творческом участии в работах по разработке и внедрению метода осолонцевания почв и грунтов. *Архів ННЦ ІҐА.* Ф. Лабораторія ґрунтознавства АН УРСР (м. Харків). Спр. «Осолонцевание почв и грунтов как эффективный и дешевый метод борьбы с потерями воды через фильтрацию в каналах водоемах и плотинах». Арк. 6, 6 зв.

33. Демидиенко А. Я. Борьба с фильтрацией путем осолонцевания на карбонатных лессовидных грунтах и лессах при сооружении оросительных систем и водоемов : дис…канд. с.-х. н. / Укр. науч-исслед. ин-т почвоведения. Харьков, 1958. 375 с.

34. Крупский Н. К., Бойченко П. О. Руководство к проведению осолонцевания методом А. Н. Соколовского. *Экспедиция особого назначения ОГГН АН СССР*. Москва, 1943.

35. Копія листа Комісії Комітету геолого-географічного обслуговування Червоної Армії від 9.11.1943. *Архів ХСГІ.* Спр. Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 34.

36. Випис з наказу № 18 від 12.11.1943 про призначення помічником заступника директора з наукової роботи ХСГІ Крупського М. К. *Архів ХСГІ*. Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 36.

37. Наказ Всесоюзного комітету по справах вищої школи при РНК СРСР № 2137/к від 13.08.1945. *Архів ХСГІ.* Спр. Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 37.

38. Витяг з наказу № 525-к по ХСГІ від 18.10.1947. *Архів ХСГІ.* Особова справа М. К. Крупського № 332. Арк. 47.

39. Крупский Н. К. О применении осолонцевания для хранения рассолов и кислых жидкостей. *Записки Харьковского сельскохозяйственного института имени В. В. Докучаева*. Харьков: Изд-е ХСХИ, 1946. Т. V(XLII). С. 371–378.

40. Крупский Н. К. Характеристика гуматной части почв посредством кривых окисления. *Записки Харьковского сельскохозяйственного института имени В.В. Докучаева*. Харьков, 1947. Т. VI(XLIII). С. 31.

41. Крупский Н. К. Коллоидно-химическая технология фосфоритов. *Записки Харьковского сельскохозяйственного института имени В. В. Докучаева* / ХСХИ, Лаб. почвоведения АН УССР. Харьков: Изд-е ХСХИ, 1947. Т. VI(XLIII). С. 33.

42. Крупский Н. К. К теории и практике осолонцевания почво-ґрунтов. *Записки Харьковского сельскохозяйственного института (б. Новоалександрийский).* Харьков: Изд-е ХСХИ, 1945. Т. IV. С. 200–206.

43. Отчет лаборатории почвоведения АН УССР за 1950 г. *Архів ННЦ ІҐА.* Ф. Лабораторія ґрунтознавства АН УРСР (м. Харків). 144 арк.

44. Соколовський О. Н. Основні напрями розвитку вітчизняної науки про ґрунт (Історично-критичний нарис). *Наукові праці лабораторії ґрунтознавства АН УРСР*. Харків, 1953. Т. 1. С. 5–31.

45. Осолонцевание как метод борьбы с фильтрацией при строительстве прудов и водоемов : краткий отчет старшего научного сотрудника Крупского Н. К. за 1951 г. *Архів ННЦ ІҐА.* Ф. Лабораторія ґрунтознавства АН УРСР (м. Харків). Наукова частина. 12 арк.

46. Гасан П. А., Крупский Н. К. Опыт применения осолонцевания грунтов для борьбы с фильтрацией водоема. *Гидротехника и мелиорация*. 1953. № 2. С. 12–17.

47. Гасан П. А. Кольматаж как способ борьбы с фильтрацией из прудов, водоемов, каналов и накопителей сточных вод : автореф. дис. ... канд. с.-х. н. / Харьков. с.-х. ин-т им. В.В. Докучаева. Харьков, 1958. 14 с.

48. Накази директора лабораторії № 1–111 за 1951 р. Наказ № 15 від 22 березня 1951 р. *Архів ННЦ ІҐА*. Ф. Лабораторія ґрунтознавства АН УРСР (м. Харків). Арк. 15

49. Агроэкономическое обоснование защитного обвалования Конских и Вазавлукских плавней и Каменного пода в зоне Каховского водохранилища в целях их эффективного сельскохозяйственного использования : научный отчет за 1951 г. *Архів ННЦ ІҐА.* Ф. Лабораторія ґрунтознавства АН УРСР (м. Харків). 383 арк.

50. Почвы Ногайского массива зоны Южно-Украинского канала как объект орошения : науч. отчет за 1952 г. *Архів ННЦ ІҐА.* Ф. Лабораторія ґрунтознавства АН УРСР (м. Харків). Спр.16. 256 арк.

51. Крупский Н. К., Пелипец В. А., Литовченко Н. С. Изучение эффективности различных видов и форм азотных удобрений, поставляемых коксохимическими заводами. *Научная конференция (15–18 июня 1965 г.)* : тезисы докл. / Харьков. с.-х. ин-т имени В. В. Докучаева. Харьков, 1965. Вып. 3 : Почвоведение, агрохимия, общее земледелие, микробиология, механизация, неорганическая химия, органическая химия. С. 48–49.]

52. Крупский Н. К., Литовченко Н. С., Казаков А. А., Пенкина А. Н. Оптимальные дозы минеральных удобрений под озимую пшеницу и сахарную свеклу. *Материалы научной конференции (24–28 апр. 1967 г.)* / Харьков. с.-х. ин-т имени В. В. Докучаева. Харьков, 1967. Вып. 2: Почвоведение, общее земледелие, агрохимия. С. 33–35.

53. Крупский Н. К., Литовченко Н. С., Казаков А. А., Пенкина А. Н. Влияние минеральных удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы /. Материалы научной конференции (май 1968 г.) / Харьков. С.-х. ин-т им. Докучаева. Харьков, 1968. Вып. 2 : Агрохимия, почвоведение, общее земледелие, механизация, химия. С. 65–66.

54. Крупский Н. К., Березницкая Н. И., Сулимова Л. И. Влияние минеральных удобрений на урожай кукурузы на мощном черноземе / *Материалы научной конференции (24–28 апр. 1967 г.)* / Харьков. с.-х. ин-т имени В. В. Докучаева. Харьков, 1967. Вып. 2: Почвоведение, общее земледелие, агрохимия. С. 38–39;

55. Крупский Н. К., Левенец П. П. Формы минеральных удобрений при местном припосевном внесении под культуру на мощных черноземах Украины. *Научная конференция (май 1961 г.)* : тезисы докл. / Харьков. с.-х. ин-т имени В. В. Докучаева. Харьков, 1961. Вып. 1 : Почвоведение, агрохимия, земледелие, механизация с.-х. производства. С. 36–37.

56. Крупский Н. К., Языкова А. Г. Изменение агрохимических свойств черноземов обыкновенных при интенсивной химизации и культуре земледелия. Материалы научной конференции (июнь 1970 г.) / Харьков. с.-х. ин-т. Харьков, 1970. Вып. 3: Почвоведение, агрохимия, общее земледелие, общая и органическая химия, механизация с.-х. производства. С. 62–63.

57. Наказ по УкрНДІҐ № 52 від 2 червня 1959 р. *Архів ННЦ ІҐА.* Спр. Накази директора інституту за 1959 р. №1–115. Оп. 1-Л. Спр. 18. Арк. 56.

58. Інструкція і методичні матеріали до обслідування ґрунтів колгоспів та радгоспів Української РСР / УАСГН, УНДІҐ. Харків, 1957. 368 с.

59. Методическое пособие по лабораторным и полевым анализам при обследовании почв колхозов и совхозов УССР / сост. Н. К. Крупский и др.; Укр. науч.-исслед. ин-т почвоведения. Харьков, 1957. 314 с.

60. Крупский Н. К., Казаков А. А., Литовченко Н. С. Новое в крупномасштабной почвенной съемке. *Научная конференция (май 1961 г.)* : тезисы докл. / Харьков. с.-х. ин-т имени В. В. Докучаева. Харьков, 1961. Вып. 1: Почвоведение, агрохимия, земледелие, механизация с.-х. производства. С. 20–22.

61. Карта ґрунтів Української РСР / Укр. НДІ грунтознавства ім. О. Н. Соколовського, Укрземпроект; уклад. О. І. Самчук; картограф Н. О. Саранчова; голов. ред. М. К. Крупський; голов. картограф В. М. Ребезо. 1 : 200 000. [Київ]: Ін-т "Укрземпроект", 1968. 156 л.

62. Гринь Г. С., Крупський М. К. Загальні засади сільськогосподарської типології земель. *Грунти України та їх агровиробнича характеристика.* Київ: Урожай, 1964. С. 85–93

63. Атлас почв Украинской ССР / под ред Крупского Н. К., Полупана Н. И. Киев: Урожай, 1979. 160 с.

64. Крупский Н. К., Лактионов Н. И. К вопросу о коллоидно-хмических и химических исследованиях гумуса чернозема как дисперсной системы. *Труды Украинского научно-исследовательского института почвоведения.* Т. IV. Проблемы плодородия почв Украинской ССР, 1959. С. 109–120.

65. Крупский Н. К., Лактионов Н. И. К вопросу о коллоидно-хмических и химических исследованиях гумуса почв как полидисперсной системы. *Труды ХСХИ.* 1960. Том XXVII(LXIV). Исследования плодородия почв Украины. С. 189-203.

66. Науковий звіт за 1959 р. лабораторії фізико-хімії та колоїдної технології ґрунтів УНДІҐ ім. О. Н. Соколовського. *Архів ННЦ ІҐА*. Опис. 1-Н. Спр. 4. 278 арк.

67. Крупский Н. К., Александрова А. М., Горбань Ю В. Кривые потенциометрического титрования почвенных суспензий в неводных растворителях. *Почвоведение*. 1961. № 5. С. 106–109

68. Александрова А.М., Крупский Н. К., Губарева Д. Н. Сравнительное измерение величины pH почв различными электродами. *Современные методы и приборы для определения состава, свойств и состояния веществ*. Вып. 1. pH и rH-метрия. Москва, 1962. С. 167–173.

69. Крупський М. К., Александрова Г. М., Горбань Ю. В. Використання неводних розчинників при дослідженні ґрунтової кислотності. *Агрохімія і ґрунтознавство* : респ. міжвідом. темат. наук. зб. Київ: Урожай, 1966. Вип. 2: С. 3–10.

70. Крупский Н. К., Александрова А. М., Дараган Ю. В. Метод раздельного определения обменных водорода и алюминия при их совместном присутствии в почве. *Почвоведение.* 1968. № 12. С. 129–134

71. Александрова Г. М., Крупський М. К., Дараган Ю. В., Приходько О. Д. Алюміній як джерело обмінної ґрунтової кислотності. *Агрохімія і ґрунтознавство* : респ. міжвідом. темат. наук. зб. Київ: Урожай, 1977. Вип. 34. С. 45–49

72. Науковий звіт за 1960 р. лабораторії фізико-хімії та колоїдної технології ґрунтів УНДІҐ ім. О. Н. Соколовського. *Архів ННЦ ІҐА.* Оп. 1-Н. Спр. 16. 89 арк.

73. Науковий звіт за 1960 р. лабораторії фізико-хімії та колоїдної технології ґрунтів УНДІҐ ім. О. Н. Соколовського. *Архів ННЦ ІҐА*. Оп. 1н. Од. зб. 17. 324 арк.

74. Крупський М. К., Гасан П. А. Попередження фільтрації промислових стічних вод з відстійників методом коагуляційного кольматажу. *Агрохімія і ґрунтознавство* : респ. міжвідом. темат. наук. зб. Київ: Урожай, 1966. Вип. 2: Ґрунтові ресурси УРСР та їх використання. С. 141–148.

75. Крупський М. К., Демидієнко О. Я., Білоненко Г. М. Вивчення фізико-хімічних процесів при створенні протифільтраційного екрана методом кольматації з внутрішньоґрунтового сольового прошарку. *Агрохімія і ґрунтознавство* : респ. міжвідом. темат. наук. зб. Київ: Урожай, 1968. Вип. 7: Водно-фізичні і хімічні властивості ґрунтів і підґрунття України. С. 108–114.

76. Отчет о применении коллоидно-инфлюкционного метода для повышения водонепроницаемости напорных железобетонных труб / УНИИП, Ин-т «Укргипрокоммунстрой». Харьков, 1962.

77. Вивчення природної радіоактивності ґрунтів УРСР та змін цієї радіоактивності протягом часу : науковий звіт за 1960 р. *Архів ННЦ ІҐА.* Оп. 1н. Спр. 17. Арк. 275–324.

78. Крупский Н. К., Александрова А. М., Лысенко М. Н. Содержание подвижных форм марганца в почвах Харьковской области. *Агрохимия и почвоведение*: респ межведом. темат. науч. сб. Киев: Урожай, 1967. Вып. 3: Агрохимические свойства почв Украины и эффективность удобрений. С. 3–7.

UDC 001:631.4:631.8(477)(091) "Krupskyi"

Professor M. K. Krupskyi (1903–1986): life path and main milestones of scientific creativity

V. V. Kunets*, T. M. Laktionova, I. F. Parasochka

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine
**E-mail*: victoriya.viva@ukr.net

The article is devoted to the study of the life path, scientific and pedagogical activities of the outstanding Ukrainian soil scientist and agrochemist Mykola Kostiantynovych Krupskyi, in particular, the period of formation of his scientific interests. With the help of archival and source analysis, an attempt was made to reproduce the early stage of the formation of the scientist's personality, the beginning of his scientific and pedagogical activity. The biography of M. K. Krupsky as one of the organizers of soil science in Ukraine in the first half of the 20th century is detailed, and his scientific priorities are indicated. After completing a postgraduate course at the research cathedra of Soil Science at the Kharkiv Agricultural Institute, M. K. Krupskyi moved to teaching (1929), and later he was appointed to the position of associate professor of the same cathedra (1930). Pedagogical talent and scientific abilities of the scientist did not go unnoticed; therefore, M. K. Krupskyi was awarded the academic title of associate professor in 1938, before obtaining a candidate's degree. Neither external factors – the Second World War, nor enormous physical strain – evacuation to the city of Katta-Kurgan, Samarkand region, and the leadership position of the head of the Department of agrochemistry at Khark. Agric. Inst. (1941–1943) did not prevent M. K. Krupskyi from successfully defending his dissertation and received the degree of Candidate of Agricultural Sciences (1942). In post-war times and the period of restoration of the country's national economy, he was actively engaged in scientific activities, while not leaving his teaching work. First - as a senior researcher of the soil science laboratory of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (1945–1956), then as the head of the laboratory of physical chemistry and soil colloid technology (1956–1959), and later as the director of the Ukrainian Research Institute of Soil Science (Kharkiv) (1959–1974). M. K. Krupskyi is a methodologist of soil science, a follower of genetic soil science and the developer of a number of methods for determining the composition and properties of soil; he left a significant scientific legacy. The research activity of the scientist directly related to conducting a large-scale survey of the soils of Ukraine, their mapping, and development of the basic principles of agricultural land typology, agro-soil and soil-ameliorative zoning. The scientist developed the colloid-chemical direction in the study of soil, founded by academician O. N. Sokolovskyi. M. K. Krupskyi was one of the initiators of the creation of the Ukrainian Society of Soil Scientists — a special body of scientific and public opinion (1928). With his active participation, the project of the Charter of the future Society was developed and proposed. Pedagogical talent, high erudition and encyclopedic knowledge, which were characteristic of the scientist, helped him to gather the best scientific potential and in the future to become the founder of a large scientific school of soil scientists. Based on the results of the search, it was possible to restore the creative team of researchers of different generations who worked under the leadership of the recognized leader — M. K. Krupskyi.

***Keywords**:* M. K. Krupskyi; history of science; soil science; large-scale soil survey; mapping; salinization; filtration; occlusion; colloidal chemistry; Ukrainian Society of Soil Scientists; scientific school.

***Citing*:** Kunets, V. V., Laktionova, T. M., & Parasochka, I. F. (2024). Professor M.K. Krupskyi (1903–1986): life path and main milestones of scientific creativity. *AgroChemistry and Soil Science,* 96, 58-74. https://doi.org/10.31073/acss96-07 [in Ukrainian].

References

1. Autobiography of Mykola Kostiantynovych Krupskyi. *Archive of the Kharkiv Agricultural Institute named after V. V. Dokuchaev, MSG of the USSR, Kharkiv* (hereinafter, the *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*.). Personal file of M. K. Krupskyi No. 332, Sheet 22–22 reverse [in Ukrainian].

2. Personal card of PhD student M. K. Krupskyi. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*.. Personal file of M. K. Krupskyi No. 332. Sheet 2–3 [in Ukrainian].

3. Certificates of graduation from technical school. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheets 23, 54 [in Ukrainian].

4. Certificate No. 1164 about studying at the Uman Agricultural Technical College. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 24 [in Ukrainian].

5. According to the materials of the All-Ukrainian meeting of soil scientists (28-29.V.1928). *Proceedings of the Research Department of Soil Science*. Kharkiv, 1930. P. 211–222 [in Ukrainian].

6. Krupskyi, M. K. (1928). First All-Ukrainian meeting of soil scientists. *Bulletin of agricultural science and experience*, 5(5), 136–138 [in Ukrainian].

7. Excerpt from the order No. 126 on the Kharkiv Agric. Inst. dated Dec. 24, 1928. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst.* Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 9. [in Ukrainian].

8. Excerpt from the order No. 3 on the Kharkiv Grain Institute, dated July 11, 1930. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst.* Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 13 [in Ukrainian].

9. Krupskyi, M. K. and others. (1929). *Soil map of the Luhansk district*. Scale 1 : 150,000. Published by TSAHL [in Ukrainian].

10. Krupskyi, M. K. (1930). *Schematic map of liming areas*. Published by UNIIAI. [in Ukrainian] [in Ukrainian].

11. Krupskyi, M. K. (1931). *The age of the earth*. Kharkiv: State Agricultural Publishing House [in Ukrainian].

12. Krupskyi, M. K. (1932). Soils and their fertility. *Agricultural invention*, 2 [in Ukrainian].

13. Krupskyi, M. K. (1933). Soil and plant productivity. *Agricultural literacy*, 1. Kharkiv: State Agricultural Publishing House [in Ukrainian].

14. Excerpt from the order on the Kharkiv Grain Institute dated August 13, 1930. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 10 [in Ukrainian].

15. Excerpt from the order No. 28 on the Kharkiv Agric. Inst. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 12 [in Ukrainian].

16. Personnel record sheet of the Kharkiv Agric. Inst. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 21 [in Ukrainian].

17. Characteristics of M. K. Krupskyi. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi No. 332, Sheet 68 [in Ukrainian].

18. Excerpt from the order No. 89 on the Kharkiv Agric. Inst. dated July 22, 1934. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 14 [in Ukrainian].

19. Krupskyi, M. K. (1934). *Methods of soil research*. *Methodical manual for house-laboratories*. Kharkiv: State Agricultural Publishing House [in Russian].

20. Krupskyi, M. K. (1935). *Methods of research of fertilizers*. Kharkiv: State Agricultural Publishing House [in Russian].

21. Krupskyi, M. K. (1937). *Methodical instructions for the course of soil science for correspondence students*. Kharkiv: Publishing house of the Kharkiv Agricultural Institute [in Russian].

22. Krupskyi, M. K., & Kocherga, S. F. (1938). Experience of preventing filtration in hydraulic structures by means of alkalization. *Notes of the Kharkiv Agricultural Institute,*1(2), 39–119. Kharkiv [in Russian].

23. Krupskyi, M. K., & Kovdrya, Z. I. (1938). On the issue of hydrophilicity and hydrophobicity of soils with different degrees of solonetzization. *Notes of the Kharkiv Agricultural Institute,*1(3), 173-176. Kharkiv [in Russian].

24. Excerpt from the protocol of the Higher Attestation Commission of the All-Union Committee on Higher Education Affairs under the RNK USSR dated January 11, 1938. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 18 [in Ukrainian].

25. The decision of the Higher Attestation Commission dated March 11, 1938 on awarding the academic title of associate professor to M. K. Krupskyi. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 55 [in Ukrainian].

26. Excerpt from Order No. 332 on the Kharkiv Agric. Inst. of 10/4/1938. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 20 [in Ukrainian].

27. Krupskyi, M. K. (1938). Humus in the absorption complex of the soil. Message 3. Comparative hydrophilicity of humus and clay. *Notes of the Kharkiv Agricultural Institute,*1(2), 135–142. Kharkiv [in Ukrainian].

28. Krupskyi, M. K., & Kovdrya, Z. I. (1938). On the characterization of the interaction of calcium carbonate and gypsum with silicic acid. *Notes of the Kharkiv Agricultural Institute,*1(2), 121–133. Kharkiv. [in Russian].

29. The reply of the director of the Frunze DG Koshman to a letter addressed to Academician O. N. Sokolovsky dated August 7, 1940. *Archive of NSC ISSAR.* F. Soil Science Laboratory of the Academy of Sciences of the USSR (Kharkiv). Case "Alkalization of soils and grounds as an effective and inexpensive method of preventing water losses through filtration in canals, reservoirs and dams", Shift 7 [in Ukrainian].

30. Excerpt from Order No. 1 on the Kharkiv Agric. Inst. of 1/10/1941 (Katta-Kurgan). *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 26 [in Ukrainian].

31. Copy of M. K. Krupsky's PhD diploma. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 44 [in Ukrainian].

32. Certificate of creative participation in the work on the development and implementation of the method of alkalization of soils and grounds. *Archive of NSC ISSAR.* F. Soil Science Laboratory of the Academy of Sciences of the USSR (Kharkiv). Case "Alkalization of soils and grounds as an effective and inexpensive method of preventing water losses through filtration in canals, reservoirs and dams", Shift 6–6 reverse [in Russian].

33. Demidienko, A. Ya. (1958). *Prevention of filtration by alkalization on carbonate loess-like rocks and loesses during construction of irrigation systems and reservoirs*: diss. Cand. Sci. (Agric. Sc.) / Ukrainian Research Institute of Soil Science. Kharkiv [in Russian].

34. Krupskyi, M. K., & Boichenko, P. O. (1943). Guide to conducting solonetzation using the method of A. N. Sokolovsky. Special Purpose Expedition of the OGGN USSR Academy of Sciences. Moscow [in Russian].

35. Copy of the letter of the Commission of the Committee of Geological and Geographical Service of the Red Army dated November 9, 1943. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 34 [in Ukrainian].

36. Excerpt from Order No. 18 dated 11/12/1943 on the appointment of M. K. Krupsky as an assistant to the deputy director for scientific work of the Kharkiv Agric. Inst. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet 36 [in Ukrainian].

37. Order of the All-Union Committee for Higher Education Affairs under the RNC USSR No. 2137/k dated August 13, 1945. *Archive of the Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi ,No. 332, Sheet 37 [in Ukrainian].

38. Excerpt from Order No. 525-k on the Kharkiv Agric. Inst of October 18, 1947. Archive of *Kharkiv Agric. Inst*. Personal file of M. K. Krupskyi, No. 332, Sheet. 47 [in Ukrainian].

39. Krupskyi, M. K. (1946). On the use of salinization for storing saline solutions and acidic liquids. *Notes of the Kharkiv Agricultural Institute,* V(XLII), 371–378. Kharkiv [in Russian].

40. Krupskyi, M. K. (1947). Characterization of the humate part of soils using oxidation curves. *Notes of the Kharkiv Agricultural Institute,* VI(XLIII), 31. Kharkiv [in Russian].

41. Krupskyi, M. K. (1947). Colloidal-chemical technology of phosphorites. *Notes of the Kharkiv Agricultural Institute,* Lab. of Soil Sciences of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, VI(XLIII), 33. Kharkiv. [in Russian].

42. Krupskyi, M. K. (1945). On the theory and practice of soil alkalization. *Notes of the Kharkiv Agricultural Institute (formerly Novoaleksandriyskiy),* IV, 200-206. Kharkiv: Publishing House of the Kharkiv Agric. Inst. [in Russian].

43. Report of the Soil science laboratory of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR for 1950*. Archive of NSC ISSAR*. F. Soil Science Laboratory of the Academy of Sciences of the USSR (Kharkiv), 144 sheets [in Russian].

44. Sokolovsky, O. N. (1953). The main directions of the development of domestic soil science (Historical and critical essay). Scientific works of the Soil science laboratory of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1, 5-31. Kharkiv [in Ukrainian].

45. Solonetsization as a method of combating filtration during construction of ponds and reservoirs: a brief report by senior researcher N. K. Krupskiy for 1951. *Archive of NSC ISSAR*. F. Soil Science Laboratory of the Academy of Sciences of the USSR (Kharkiv). Research part 12 sheets [in Russian].

46. Gasan, P. A., & Krupskyi M. K. (1953). Experience of using solonetsization of soils to prevent filtration from a reservoir. *Hydraulic engineering and melioration,* 2, 12–17 [in Russian].

47. Gasan, P. A. (1958). Colmatage as a method of preventing filtration from ponds, reservoirs, canals and wastewater storage facilities: author's abstr. dis. ... cand. of agric. sci. / Kharkiv Agric. Inst. [in Russian].

48. Orders of the director of the laboratory No. 1–111 of 1951. Order No. 15 of March 22, 1951. *Archive of NSC ISSAR*. F. Soil Science Laboratory of the Academy of Sciences of the USSR (Kharkiv), Sheet 15. [in Ukrainian].

49. Agroeconomic justification for the protective embankment of the Konskie and Vazavlukskie floodplains and the Kamenny Pod in the Kakhovka Reservoir zone for their effective agricultural use: scientific report for 1951. *Archive of NSC ISSAR*. F. Soil Science Laboratory of the Academy of Sciences of the USSR (Kharkiv), 383 sheets [in Russian].

50. Soils of the Nogai massif of the South Ukrainian Canal zone as an object of irrigation: scientific report for 1952. *Archive of NSC ISSAR*. F. Soil Science Laboratory of the Academy of Sciences of the USSR (Kharkiv), Case 16. 256 sheets [in Russian].

51. Krupskyi, M. K., Pelipets, V. O., & Litovchenko, M. S. (1965). Study of the efficiency of various types and forms of nitrogen fertilizers supplied by coke plants. *Scientific conference (June 15–18, 1965): abstracts of reports* / Kharkiv Agricultural Institute, Issue 3, 48–49 [in Russian].

52. Krupskyi, M. K., Litovchenko, M. S., Kazakov, A. O., & Penkina, A. N. (1967). Optimum doses of mineral fertilizers for winter wheat and sugar beet. *Proceedings of the scientific conference (April 24–28, 1967)* / Kharkiv Agricultural Institute, Issue 2, 33-35. [in Russian].

53. Krupskyi, M. K., Litovchenko, M. S., Kazakov, A. O., & Penkina, A. N. (1968). The influence of mineral fertilizers on the yield and quality of winter wheat grain. *Proceedings of the scientific conference (May, 1968)* / Kharkiv Agricultural Institute, Issue 2, 65–66 [in Russian].

54. Krupskyi, M. K., Bereznitskaya, N. I., & Sulimova, L. I. (1967). Effect of mineral fertilizers on corn yield on deep chernozem. *Proceedings of the scientific conference (April 24–28, 1967)* / Kharkiv Agricultural Institute, Issue 2, 38–39 [in Russian].

55. Krupskyi, M. K., & Levenets, P. P. (1961). Forms of mineral fertilizers for local pre-sowing application under crops on deep chernozems of Ukraine. *Scientific conference (May 1961): abstracts of reports* / Kharkiv Agricultural Institute, Issue 1, 36–37 [in Russian].

56. Krupskyi, M. K., & Yazykova A. G. (1970). Changes in agrochemical properties of ordinary chernozems under intensive chemicalization and farming culture. *Proceedings of a scientific conference (June 1970)* / Kharkiv Agricultural Institute, Issue 3, 62–63 [in Russian].

57. Order on the Ukr. Research Institute of Soil Science No. 52 of June 2, 1959. Archive of the NSC ISSAR, Case: Orders of the director of the institute for 1959, No. 1–115, Description 1-L, Part 18, Sheet 56 [in Ukrainian].

58. Instruction and methodical materials for soil survey of collective farms and state farms of the Ukrainian SSR / Ukr. Research Institute of Soil Science. UASGN, Kharkiv, 1957 [in Ukrainian].

59. *Methodological manual on laboratory and field analysis during the survey of soils of collective and state farms of the Ukrainian SSR* (1957). Compiled by M. K. Krupskyi et al. Ukr. Research Institute of Soil Science. Kharkiv, 1957. [in Russian].

60. Krupskyi, M. K., Kazakov, A. O., & Litovchenko, M. S. (1961). New in large-scale soil survey. *Scientific conference (May 1961): abstracts of reports* / Kharkiv Agricultural Institute, Issue 1, 20–22 [in Russian].

61. *Soil map of the Ukrainian SSR.* (1968). / Ukr. Research Institute of Soil Science named after O. N. Sokolovsky, Ukrzemproekt; compiled by O. I. Samchuk; cartographer N. O. Saranchova; chief ed. M. K. Krupskyi; chief cartographer V. M. Rebezo. 1 : 200,000. [Kyiv]: "Ukrzemproekt" Institute, 156 sheets [in Ukrainian].

62. Hryn, G. S., & Krupskyi, M. K. (1964). General principles of agricultural land typology. In: *Soils of Ukraine and their agricultural characteristics* (pp. 85-93). Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].

63. Krupskyi, M. K., & Polupan, M. I. (Eds.). (1979). *Atlas of soils of the Ukrainian SSR.* Kyiv: Urozhai [in Russian].

64. Krupskyi, M. K., & Laktionov, M. I. (1959). On the issue of colloidal-chemical and chemical studies of chernozem humus as a dispersed system. *Proceedings of the Ukr. Research Institute of Soil Science,* IV, 109–120 [in Russian].

65. Krupskyi, M. K., & Laktionov, M. I. (1960). On the issue of colloidal-chemical and chemical studies of soil humus as a polydisperse system. *Proceedings of the Kharkiv Agricultural Institute,* XXVII(LXIV), 189–203 [in Russian].

66. Scientific report for 1959 of the laboratory of physico-chemistry and colloid technology of soils of Ukr. Research Institute of Soil Science named after O. N. Sokolovsky. Archive of the NSC ISSAR. Description 1-N, Case 4, 278 sheets [in Ukrainian].

67. Krupskyi, M. K., Aleksandrova, A. M., & Gorban, Yu. V. (1961). Potentiometric titration curves of soil suspensions in non-aqueous solvents. *Soil Science*, 5, 106–109 [in Russian].

68. Aleksandrova, A. M., Krupskyi, M. K., & Gubareva, D. N. (1962). Comparative measurement of soil pH using different electrodes. In: *Modern methods and devices for determining the composition, properties and state of substances* (pp. 167-173), Issue 1. pH and rH-metry. Moscow [in Russian].

69. Krupskyi, M. K., Aleksandrova, A. M., & Gorban, Yu. V. (1966). The use of non-aqueous solvents in the study of soil acidity. *Agrochemistry and Soil Science,* 2, 3–10 [in Ukrainian].

70. Krupskyi, M. K., Aleksandrova, A. M., & Daragan, Yu. V. (1968). Method of separate determination of exchangeable hydrogen and aluminum under their joint presence in the soil. *Soil Science,* 12, 129–134 [in Russian].

71. Aleksandrova, A. M., Krupskyi, M. K., Daragan, Yu. V. & Prykhodko, O. D. (1977). Aluminum as a source of exchangeable soil acidity. *Agrochemistry and Soil Science,* 34, 45–49 [in Ukrainian].

72. Scientific report for 1960 of the laboratory of physico-chemistry and colloid technology of soils of Ukr. Research Institute of Soil Science named after O. N. Sokolovsky. *Archive of the NSC ISSAR*, Description 1-N, Case 16, 89 sheets [in Ukrainian].

73. Scientific report for 1960 of the laboratory of physico-chemistry and colloid technology of soils of Ukr. Research Institute of Soil Science named after O. N. Sokolovsky. *Archive of the NSC ISSAR*, Description 1-N, Case 17, 324 sheets [in Ukrainian].

74. Krupskyi, M. K., & Gasan, P. A. (1966). Prevention of filtration of industrial wastewater from settling tanks by the method of coagulation clogging. *Agrochemistry and Soil Science*, 2, 141–148 [in Ukrainian].

75. Krupskyi, M. K., Demydienko, O. Ya., & Bilonenko, G. M. (1968). Study of physico-chemical processes during the creation of an anti-filtration screen by the method of occlusion from the intrasoil salt layer. *Agrochemistry and Soil Science,* 7, 108-114. [in Ukrainian].

76. Report on the application of the colloid-influx method to improve the water resistance of pressure reinforced concrete pipes (1962). / Research Institute of Soil Science named after O. N. Sokolovsky, In-t "Ukrgiprokommunstroy". Kharkiv, 1962 [in Russian].

77. Study of the natural radioactivity of soils of the Ukrainian SSR and changes in this radioactivity over time: scientific report for 1960. *Archive of NSC ISSAR*. Description 1-N, Case 17, Sheets 275–324 [in Ukrainian].

78. Krupskyi, M. K., Aleksandrova, A. M., & Lysenko, M. N. (1967). Content of mobile forms of manganese in soils of the Kharkiv region. *Agrochemistry and Soil Science*, 3, 3–7 [in Russian].

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

АГРОХІМІЯ і ҐРУНТОЗНАВСТВО

міжвідомчий тематичний науковий збірник

Випуск 96

Відповідальний за випуск канд. с.-г. наук Т. М. Лактіонова

Адреса редакції: 61024, Харків, вул. Чайковська, 4,
тел.: (057) 704-16-69
e-mail: agrochemsoilsci.org@gmail.com;

www. agrochemsoilsci.org

Підп. до друку 4.12.2024.Формат 60×84 1/8. Папір офсетний
Друк цифровий. Гарнітура Arial. Ум. друк. арк. 8,84.
Наклад 100 прим. Зам. № 1/12/24. Ціна договірна.

Виготовлювач ФОП Панов А. М. Свідоцтво серії ДК № 4847 від 06.02.2015 р.
м. Харків, вул. Жон Мироносиць, 10, оф. 6,
Тел. +38(057) 714-06-74, +38(050)976-32-87; email: copy@vlavke.com