



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ



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

АГРОХІМІЯ і ҐРУНТОЗНАВСТВО

МІЖВІДОМЧИЙ
ТЕМАТИЧНИЙ
НАУКОВИЙ
ЗБІРНИК

95

Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник.
Випуск 95. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2023. 74 с.

AGROCHEMISTRY and SOIL SCIENCE. Collected papers.
No. 95. Kharkiv: NSC ISSAR, 2023. 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 сільськогосподарської та біологічної науки за спеціальностями:
201 – Агрономія і 091 – Біологія і 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 Респ.)
А.Д. Балаєв д.с.-г.н.; Національний ун-т біоресурсів і природокористування України
Т.Ю. Биндич к.б.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
В.А. Величко д.с.-г.н.; Державне видавництво «Аграрна наука» НААН
З.Г. Гамкало д.б.н.; Львівський національний ун-т імені Івана Франка
Г.М. Господаренко д.с.-г.н.; Уманський національний ун-т садівництва
Ю.М. Дмитрук д.б.н.; Чернівецький національний ун-т ім. Ю. Федьковича
В.В. Іванина д.с.-г.н.; Інститут енергетичних культур і цукрових буряків НААН
Т.М. Лактіонова к.с.-г.н. (відповідальний секретар); ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
М.В. Лісовий д.с.-г.н.; ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»
Т.Г. Лях д.с.-г.н.; Ін-т педології, агрохімії та захисту ґрунтів "Н. Дімо" (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 (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.; Чернівецький національний ун-т ім. Ю. Федьковича
С.Г. Чорний д.с.-г.н.; Миколаївський національний аграрний університет

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

www.agrochemsoilsci.org

Індексування та реферування:

База даних CrossRef; Реєстр наукових фахових видань України;
Портал Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського;
Загальнодержавна реферативна база даних (РБД) «Україніка наукова»;
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 № 24 від 19.12.2023 р.

ISSN 0587-2596
e-ISSN 2616-6852
DOI: <https://doi.org/10.31073/acss95>

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

ЗМІСТ / CONTENT

ВЛАСТИВОСТІ Й РЕЖИМИ ЗРОШУВАНИХ ҐРУНТІВ *PROPERTIES and MODES of IRRIGATED SOILS*

Чорний С. Г., Ісаєва В. В.

Вплив зрошення мінералізованими водами на процеси засолення ґрунтів
Південно-Бузької та Кам'янської зрошувальних систем
Chorny S. G., Isaieva V. V. Impact saline water irrigation on soil salinization processes in the
Southern Bug and Kamianska irrigation systems 4

Носоненко О. А., Захарова М. А.

Динаміка галогенезу чорнозему звичайного, зрошуваного мінералізованими
водами
Nosonenko O. A., Zakharova M. A. Dynamics of halogenesis in ordinary chernozem irrigated
with mineralized waters 13

Воротинцева Л. І., Панарін Р. В.

Варіабельність характеристик поживного режиму в зрошуваному ґрунті за різних
систем удобрення
Vorotyntseva L. I., Panarin R. V. Variability of nutrient regime characteristics in irrigated soil
under different fertilization systems 24

МОНІТОРИНГ СТАНУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ *MONITORING the CONDITION of SOIL COVER*

Биндич Т. Ю., Пліско І. В., Шерстюк О. І., Романчук К. Ю.

Сучасні підходи до фонових моніторингу ґрунтового покриття за даними
космічного сканування
Byndych T. Yu., Plisko I. V., Sherstyuk O. I., Romanchuk K. Yu. Modern approaches to
background monitoring of soil cover by space scanning data 36

ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ ЗА АНТРОПОГЕННИХ ТА КЛІМАТИЧНИХ ВПЛИВІВ *CHANGES in SOIL PROPERTIES UNDER ANTHROPOGENIC and CLIMATIC INFLUENCES*

Гетьман Я. В., Найдьонова О. Є.

Динаміка чисельності мікроорганізмів у ґрунтовій масі чорнозему опідзоленого
після обробки фунгіцидами різного походження
Hetman Y. V., Naidonova O. E. Dynamics of the microorganisms' number in the soil mass of
podzolized chernozem after treatment with fungicides of various origins 47

Дегтярьов В. В., Щербakov О. Ю.

Уміст гумусу в чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України у зв'язку з
глобальними змінами клімату
Dehtiarov V. V., Shcherbakov O. Yu. Humus content in chernozems typical of the Left-Bank
Forest-Steppe of Ukraine in connection with global climate change 60

Колісник М. С., Поліщук В. В.

Рациональне використання ґрунтової вологи за застосування абсорбенту у посівах
маточних буряків цукрових
Kolisnyk M. S., Polishchuk V. V. Rational use of soil moisture when using absorbent in crops
of royal sugar beet 69

ВЛАСТИВОСТІ Й РЕЖИМИ ЗРОШУВАНИХ ҐРУНТІВ SOIL PROPERTIES and MODES of IRRIGATED SOILS

УДК 631.4

Вплив зрошення мінералізованими водами на процеси засолення ґрунтів Південно-Бузької та Кам'янської зрошувальних систем

С. Г. Чорний^{1*}, В. В. Ісаєва²¹Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна²Миколаївський національний аграрний університет, Миколаїв, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 11.09.2023 Отримано після доопрацювання 03.11.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.2023	В Україні розвиток зрошення стримується дефіцитом якісних поливних вод. Полив мінералізованими поливними водами викликає засолення ґрунтів, що негативно впливає на продуктивність рослинництва, якість ґрунтового покриву, стан поверхневих вод. Метою статті є аналіз впливу зрошувальної води різної мінералізації на засолення ґрунтів Південно-Бузької та Кам'янської зрошувальних систем. В польових та лабораторних дослідженнях використовувалися методики та критерії лабораторії засолення Міністерства сільського господарства США та Food and Agriculture Organization. Дослідження показали, що поливи здійснюються водою, яка має середній ризик щодо засолення ґрунтів ($EC_w = 0,7 - 3,0$ дСм/м). Водночас існує певна просторова диференціація щодо якості поливної води. Поливи земель Південнобузької зрошувальної системи здійснюються водою з електропровідністю $0,90 - 1,07$ дСм/м, а поливи земель Кам'янської зрошувальної системи здійснюються водою з електропровідністю $1,86 - 2,65$ дСм/м. Мінералізація зрошувальної води визначає ступінь засолення ґрунтів. Якщо ґрунти Південно-Бузької зрошувальної системи не засолені (EC_e становить менше ніж $2,0$ дСм/м), то в ґрунтах Кам'янської зрошувальної системи спостерігається значне накопичування солей (значення EC_e досягає $5,5$ дСм/м). За класифікацією Food and Agriculture Organization такі ґрунти відносяться до засолених. Аналіз показників толерантності окремих сільськогосподарських культур до засолення показав, що на зрошуваних землях Південно-Бузької зрошувальної системи можна вирощувати будь-які щодо солестійкості сільськогосподарські культури. А на землях Кам'янської зрошувальної системи без втрати врожайності можна вирощувати лише помірно чутливі та найменш чутливі до засолення ґрунтів сільськогосподарські культури. Проведені дослідження дозволяють скоректувати структуру посівних площ та структуру сівозмін з огляду на солестійкість певних сільськогосподарських культур.

* E-mail: s.g.chorny@gmail.com

Форма цитування: Чорний С. Г., Ісаєва В. В. Вплив зрошення мінералізованими водами на процеси засолення ґрунтів Південно-Бузької та Кам'янської зрошувальних систем. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 4-12. <https://doi.org/10.31073/acss95-01>

1. Вступ

Засолення є однією з головних проблем сучасного сільського господарства. Очікується, що зі зміною клімату з більш тривалими посухами та підвищенням рівня моря ця проблема ще більше загостриться. Згідно з ФАО (Food and Agriculture Organization) глобальна площа засолених ґрунтів охоплює 424 мільйони гектарів [1]. Зростання засолення викликає особливе занепокоєння для глобальної системи постачання продовольства [2].

Засолення ґрунтів в результаті зрошення низькоякісними поливними водами є пересічним явищем в Україні. В країні засолені ґрунти займають відносно невелику площу – 1,92 млн га; з яких, за даними ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії» [3] 1,71 млн га у сільськогосподарському використанні. Серед зрошуваних земель налічується близько 350 тис. га засолених, з них 70–100 тис. га так званих «вторинно-засолених» ґрунтів, тобто ґрунтів у яких джерелом надлишкових солей є, у більшості випадків, поливні води [3]. Засолення ґрунтів погіршує розвиток сільськогосподарських рослин, оскільки знижує осмотичний потенціал ґрунтового розчину, що обмежує поглинання води та поживних елементів рослиною, підвищує токсичність деяких іонів, таких як натрій, хлор і бор, до рівнів, що значно перевищують межі толерантності рослин, пригнічує діяльність корисних ґрунтових мікроорганізмів. Тому засолення ґрунтів загалом негативно впливає на продуктивність рослинництва, якість ґрунтового покриву, стан поверхневих вод [4, 5].

У країнах з посушливим кліматом розвиток зрошення стримується дефіцитом якісних поливних вод. Використання поливних вод з високим умістом водорозчинних

солей, наприклад, у Північному Китаї для вирощування озимої пшениці та кукурудзи, викликає засолення ґрунту. Комбінація різних за мінералізацією поливних вод зумовлює зменшення небезпеки засолення ґрунтів та ризику зниження врожайності [6]. Вторинне засолення вже давно спостерігається на іригаційних землях в районі півдня Португалії, що пов'язано з якістю зрошувальної води. Визначено, що найбільший ризик накопичування солей в ґрунтах, які використовуються під цитрусовими культурами та гранатами, спостерігається в посушливі роки. Іншими факторами, які впливають на засолення ґрунтів є тривалість періоду вегетації культури, розподіл опадів по періодах вегетації, умови дренажу ґрунту тощо. Існує потреба в індивідуальних іригаційних рішеннях, спрямованих на збереження ґрунтових і водних ресурсів [7].

Дослідженнями у Чаплинському районі Херсонської області було встановлено, що довготермінове зрошення приводить до появи нових елементарних ґрунотворних процесів, які викликають трансформацію вихідного ґрунту в антропогенно-перетворені ґрунти. Впровадження зрошення привело до підвищення загального вмісту водорозчинних солей до 0,14–0,21 % (а токсичних солей до 0,06–0,15 %), зміни їх якісного складу (співвідношення Ca/Na зменшилося у шарі 0–50 см від 9–10 у незрошуваному до 3–4 у зрошуваному ґрунті. Спостерігається також вилугування солей у нижні горизонти, унаслідок чого ступінь засолення кардинально підвищився [8].

Розвиток зрошення на півдні Одеської області також призвів до підвищення мобільності солей. Це сприяло активізації процесів солепереносу, змінило склад іонно-сольового комплексу ґрунтового-підґрунтової товщі. За використання вод підвищеної мінералізації (1–3 г/дм³) спостерігається періодичне соленакопичення в кореневмісному шарі з формуванням нових сольових акумуляцій у другому метровому шарі та глибше. Водночас відбувається трансформація складу солей і збільшення вмісту токсичних іонів, насамперед натрію, та звуження співвідношення вмісту кальцію і натрію. За використання для зрошення іригаційно неякісних вод, з мінералізацією більше ніж 3 г/дм³, і тривалого зрошення можливе засолення ґрунту у верхніх горизонтах профілю до слабого і навіть середнього ступеня [9, 10].

У роботі [11] визначається, що за час тривалого (впродовж 20 і 50 років) зрошення мінералізованою водою чорноземів звичайних в Донецькій області відбулося збільшення вмісту солей, переважно хлоридів і сульфатів натрію, а також перерозподіл їх за профілем ґрунту. Уміст загальних солей у шарі 0–25 см підвищився з 0,07 до 0,14 %, у т.ч. токсичних солей з 0,03 до 0,11 %. Відбулося засолення орного і підорного шарів ґрунту до слабого ступеня.

Рекультивация вже засолених ґрунтів є кошовною і складною справою. Метою статті було віднайти способи зменшення негативного впливу на ґрунт і рослини, мінералізованої зрошувальної води. Для того необхідно створити ефективну систему моніторингу еколого-меліоративного стану зрошуваних земель, що дозволить підібрати для засолених ґрунтів сільськогосподарські культури з різним ступенем солестійкості, і таким чином зменшити втрати врожаїв та збільшити економічну ефективність зрошення.

2. Матеріали та методи

Південно-Бузька зрошувальна система (ПБЗС) та Кам'янська зрошувальна система (КЗС), які розташовані в південному регіоні України на території Миколаївського району Миколаївської області та поєднані в один водогосподарський комплекс [12]. Джерелом зрошення для обох іригаційних систем є річка Південний Буг. По трасі транспортування поливної води були створені стаціонарні дослідні майданчики для спостереження за якістю поливної води. На цих майданчиках визначали агрономічну якість поливних вод за методикою лабораторії засолення Міністерства сільськогосподарства США та ФАО [13, 14, 15]. Катіонно-аніонний склад поливних вод визначали за існуючими державними стандартами України [16]. Визначали також ступінь впливу катіонів натрію на рослину та ґрунт за показником SAR (Sodium Adsorption Ratio) та індексом залишкового карбонату натрію (RSCI – Residual sodium carbonate index), який є показником впливу карбонатів і бікарбонатів на якість зрошувальної води.

Показник SAR розраховується наступним чином:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}, \quad [1]$$

де Na, Ca, Mg — значення вмісту катіонів натрію, кальцію та магнію в поливній воді, ммоль/дм³ [15].

Індекс RSCI розраховується як

$$RSCI = (HCO_3 + CO_3) - (Ca + Mg), \quad [2]$$

де HCO_3 та CO_3 — вміст аніонів гідроген-карбонату та карбонату, ммоль/дм³, Са та Mg — вміст катіонів кальцію та магнію, ммоль/дм³.

Дослідні ділянки для відбирання проб ґрунту були закладені на територіях, зрошуваних водою ПБЗС та КЗС. Перша локація (ПБЗС) — ділянка біля селища Зелений Гай (47°11'27.9"N 31°36'03.1"E). Друга локація (КЗС) — поле Навчально-наукового виробничого центру Миколаївського Національного аграрного університету (МНАУ) (46°55'03.3"N 31°40'58.7"E), зрошення дощуванням п'ять років. Третя локація (КЗС) — дослідна ділянка на полі ННПЦ МНАУ з краплинним зрошенням більше ніж п'ять років (46°56'11.6"N 31°39'08.0"E).

Ґрунт на всіх дослідних ділянках — чорнозем південний важкосуглинковий.

Проби ґрунту відбирали з таких шарів: 0–10, 10–20, 20–30, 30–50 і 50–70 см. Вміст солей у ґрунті визначали шляхом вимірювання електропровідності у ґрунтово-водній суспензії у співвідношенні 1:5 ($\text{EC}_{1:5}$) з подальшим перерахунком в електропровідність «насичених субстратів» (EC_e), на основі якої визначають ступінь засолення ґрунту та рівень солевитривалості окремих сільськогосподарських культур. Безпосереднє виготовлення насичених субстратів є надзвичайно трудомістким процесом і не має широкого застосування в дослідженнях засолення ґрунтів [17, 18]. Тому, як правило, попередньо визначену електропровідність ґрунтово-водної суспензії у співвідношенні 1:5 переводять у значення EC_e :

$$\text{EC}_e = \text{EC}_{1:5} \cdot k \quad [3]$$

де k — коефіцієнт перерахунку.

Коефіцієнт перерахунку k залежить від водоутримувальної здатності ґрунту, яка, своєю чергою, зумовлюється гранулометричним складом ґрунту [17, 18], який визначається за класифікацією Міністерства сільського господарства США [19].

Ще одним показником, який характеризує ступінь засоленості ґрунту є загальна кількість розчинних солей (Total soluble salts (TSS)). Його вимірюють в мг на кілограм ґрунту (ppm) або грамах на 100 г ґрунту. Електропровідність ґрунтово-водної суспензії тісно пов'язана з кількістю солей [20]. Величина TSS розраховується через величину $\text{EC}_{1:5}$ за формулою:

$$\text{TSS} = 640 \cdot \text{EC}_{1:5} \quad [4]$$

де TSS — загальна кількість розчинних солей, ppm; $\text{EC}_{1:5}$ — електропровідність у ґрунтово-водній суспензії у співвідношенні 1:5, дСм/м.

Електропровідність ґрунтово-водної суспензії та поливної води визначали кондуктометром EZODO CTS-406. Було використано загальноприйняті у ґрунтознавстві одиниці вимірювання електропровідності — децименс на метр (дСм/м). Гранулометричний склад ґрунту було визначено лазерним дифрактометром Mastersizer 3000E.

3. Результати

3.1. Оцінка якості поливної води

Кількісним показником небезпеки засолення ґрунту є електропровідність зрошувальної води. Попри те, що електропровідність змінюється в процесі транспортування в каналах та водосховищах у досить широких межах, за оцінками ФАО [13], вода належить до середнього ризику засолення ґрунтів ($\text{EC}_w = 0,7\text{--}3,0$ дС/м) (Табл. 1). Тобто вода має певні обмеження щодо її використання, що може призвести до зниження врожайності окремих не солестійких культур [14, 15, 21].

Окремою проблемою якості цієї зрошувальної води є концентрація в ній певних токсичних іонів, до яких зазвичай відносять катіони натрію та аніони хлору, а також іони деяких металів і напівметалів (В, Fe, Cu, Zn, Mn, Cr) [13, 14]. Напівметали знаходяться в мізерних кількостях і жодним чином не впливають на агрономічну якість води. Абсолютно аналогічна ситуація з хлором. Невеликий початковий вміст аніонів хлору в річці Південний Буг і навіть дещо збільшений вміст цього іону після транспортування води не перевищують порогового значення (3,0 ммоль/л). Це свідчить про відсутність негативного впливу цього аніону на рослини та ґрунт за критеріями ФАО [13, 22].

Але у зрошувальній воді ПБЗС та КЗС досить багато катіонів натрію. Якщо вміст катіонів натрію у воді Південного Бугу не перевищує 2,0 ммоль/л, то в процесі транспортування, після проходження води через низку водосховищ, вміст натрію збільшується в декілька разів, досягаючи значення 6,6 ммоль/л, що і призводить до зростання значень показника SAR.

Таблиця 1*Якість поливної води у зрошувальних системах*

Показник, одиниця вимірювання	Параметр показника якості води	
	Південно-Бузька ЗС	Кам'янська ЗС
Електропровідність (EC_w), дСм/м	0,90–1,07	1,86–2,65
pH	7,7–8,6	8,2–8,5
Мінералізація, мг/см ³	595–707	1223–1750
CO ₃ ²⁻ , ммоль/л	0–2,0	0–3,5
HCO ₃ ⁻ , ммоль/л	3,8–5,3	3,6–8,0
Cl ⁻ , ммоль/л	0,1–0,5	0,3–1,7
SO ₄ ²⁻ , ммоль/л	0,0–2,7	0,0–3,3
Mg ²⁺ , ммоль/л	0,0–0,4	0,0–0,9
Ca ²⁺ , ммоль/л	0,2–0,6	0,2–0,5
Na ⁺ , ммоль/л	1,3–2,2	4,4–6,6
K ⁺ , ммоль/л	0,2–0,3	0,4–0,6
Ступінь насиченості натрієм (SAR)	1,9–4,2	4,7–15,8
Індекс залишкового карбонату натрію (RSCI), ммоль/л	3,2–7,9	5,5–15,8

Існує середній ризик токсичної дії катіонів натрію, який виникає під час зрошення на землях ПБЗС ($SAR = 3–9$) та високий ризик токсичної дії катіонів натрію під час зрошення на землях КЗС ($SAR > 9$) (Табл. 1). Цей показник, згідно з [13], є основним критерієм визначення ступеня токсичності натрію для рослин. Основною причиною цього явища є нагрівання води під час її транспортування. За наявності надлишку карбонатів випаровування призводить до утворення нерозчинних карбонатів кальцію ($CaCO_3$) і карбонатів магнію ($MgCO_3$), які випадають з розчину в осад. В результаті збільшується відносний вміст катіонів натрію, а разом з цим збільшується значення SAR.

Важливим показником якості поливної води є вміст бікарбонатів. Індекс залишкового карбонату натрію (RSCI) є найбільш комплексною мірою впливу карбонатів і бікарбонатів на якість зрошувальної води, що, своєю чергою, визначає хімічний склад ґрунту. Цим показником оцінюють комбінований вплив аніонів і катіонів магнію та кальцію на ризики вірогідного збільшення катіонів натрію. Цей показник широко використовують для оцінки якості зрошувальної води в країнах з посушливим і напівпосушливим кліматом [22, 23]. Більшість авторів вважають, що значення RSCI у 2,5–5,0 ммоль/л є прийнятним для безпечного зрошення. У більшості випадків вода, яка використовується для зрошення земель ПБЗС та, особливо, КЗС, має значення RSCI значно вище порогового значення, що пов'язано з домінуванням бікарбонатів і невеликим вмістом двовалентних катіонів (Табл. 1). Тому, згідно зі значеннями RSCI, ця вода не дуже придатна для зрошення.

3.2. Загальний вміст солей

Очевидно, що тривале зрошення мінералізованою водою швидко призводить до засолення ґрунту з накопиченням у кореневій зоні водорозчинних солей, хімічний склад яких близький до хімічного складу поливної води. Зростання вмісту солей, своєю чергою, негативно впливає на стан сільськогосподарських культур, їх врожайність і вимагає спеціальних управлінських втручань. Одночасно, випадання природних опадів може приводити до розсолоння ґрунтів, особливо за осінньо-зимовий період. А отже очевидно, що існує певна внутрішньорічна динаміка вмісту солей в ґрунті, але загальний тренд направлений на поступове накопичення водорозчинних солей у зрошуваних ґрунтах.

Рівень засолення зазвичай оцінюють за електропровідністю насиченої ґрунтово-водної суміші (EC_e), але, оскільки приготування насичених екстрактів займає багато часу, то можна використовувати ґрунтово-водні суспензії у співвідношенні 1:5 ($EC_{1:5}$) з подальшим перерахуванням отриманих величин в EC_e (за формулою 1, див. вище). Коефіцієнт перерахунку (k) залежить від водоутримувальної здатності ґрунту, яка, своєю чергою, визначається гранулометричним складом ґрунту [4, 17, 18]. За класифікацією Міністерства сільського господарства США [19] гранулометричний склад ґрунтів у межах ПБЗС та КЗС визначається як мулистий суглинок («silty clay loam»). А отже, згідно з [17], коефіцієнт перерахунку для таких ґрунтів (k у формулі (1)) буде дорівнювати 8,6.

У таблиці 2 наведено результати вимірювання електропровідності ґрунту ($EC_{1:5}$ і EC_e) та відповідні дані щодо загального вмісту розчинних солей (TSS). Ці дані свідчать про те, що мінералізація зрошувальної води визначає ступінь засолення ґрунтів. Зрошення земель ПБЗС здійснюється водою з електропровідністю лише 0,90–1,07 дСм/м, яка містить 595–707 мг/см³ солей, а тому рівень засолення ґрунтів (EC_e) становить менше

ніж 2,0 дСм/м, що за чинними оцінками [17] дозволяє назвати цей ґрунт незасоленим, попри помітне (на 25–30 %) збільшення EC_e та TSS у зрошуваних ґрунтах порівняно з незрошуваними. В орному шарі (0–30 см) таке збільшення досягає 28 %, а в шарах ґрунту 30–70 см — 50 %. В шарі ґрунту 0–70 см на незрошуваній ділянці міститься приблизно 2,61 т/га водорозчинних солей, а на зрошуваній — 3,35 т/га.

Водночас зрошення земель КЗС мінералізованими водами (EC_w в 2,02–2,65 дСм/м, які містять 1330–1750 мг/см³ солей) призвело до значного (у 3–4 рази) збільшення вмісту солей у ґрунтах. У кореневмісному шарі цих ґрунтів значення EC_e досягають 5,5 дСм/м, а значення TSS — 400 ppm, коли на суходолі ці параметри не перебільшують 1,3 дСм/м, а TSS 130 ppm (Табл. 2).

Таблиця 2

Вміст солей та електропровідність ґрунту на території КЗС та ПБЗС

Шар ґрунту, см	Електропровідність		Загальний вміст розчинних солей (TTS), ppm
	EC _{1:5} , дСм/м	EC _e , дСм/м	
КЗС (без зрошення)			
0-10	0,12	1,03	76,80
10-20	0,20	1,72	128,00
20-30	0,12	1,03	76,80
30-50	0,10	0,86	64,00
50-70	0,10	0,86	64,00
0-70 (середнє значення)	—	0,64	76,80
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	4,14
КЗС (зрошення дощуванням)			
0-10	0,33	2,84	211,20
10-20	0,52	4,47	332,80
20-30	0,47	4,04	300,80
30-50	0,33	2,84	211,20
50-70	0,31	2,67	198,40
0-70 (середнє значення)	—	3,19	237,71
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	12,80
КЗС (крапельне зрошення, під стрічкою)			
0-10	0,18	1,55	115,20
10-20	0,40	3,44	256,00
20-30	0,43	3,70	275,20
30-50	0,36	3,10	230,40
50-70	0,32	2,75	204,80
0-70 (середнє значення)	—	2,91	216,69
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	11,67
КЗС (крапельне зрошення, між стрічками)			
0-10	0,27	2,32	172,80
10-20	0,50	4,30	320,00
20-30	0,64	5,50	409,60
30-50	0,55	4,73	352,00
50-70	0,39	3,35	249,60
0-70 (середнє значення)	—	4,04	300,80
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	16,20
ПБЗС (без зрошення)			
0-10	0,14	1,20	89,60
10-20	0,08	0,69	51,20
20-30	0,07	0,60	44,80
30-50	0,07	0,60	44,80
50-70	0,05	0,43	32,00
0-70 (середнє значення)	—	0,65	48,46
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	2,61
ПБЗС (зрошення дощуванням)			
0-10	0,18	1,55	115,20
10-20	0,1	0,86	64,00
20-30	0,1	0,86	64,00
30-50	0,08	0,69	51,20
50-70	0,07	0,60	44,80
0-70 (середнє значення)	—	0,68	62,17
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	3,35

Значення EC_e більше ніж 2,0 дСм/м дозволяють класифікувати ці ґрунти як засолені, що призводить до помітного зниження врожайності більшості сільськогосподарських культур.

На засолення ґрунтів КЗС, як в кореневмісному шарі, так у всьому ґрунтовому профілі впливає спосіб зрошення. Найбільше зростання EC_e спостерігається за крапельного зрошення, особливо на глибині 20–50 см між поливними стрічками, де електропровідність досягає 5–6 дСм/м, TSS — 300–400 ppm (Табл. 2). У добре зволоженому ґрунті під стрічкою крапельного зрошення солі вимиваються вертикальним потоком води, тоді як між стрічками, де вологість ґрунту мінімальна, в результаті випаровування волога підіймається до поверхні ґрунту, що призводить до концентрації солей у поверхневих шарах ґрунту [24]. В цілому, що стосується ґрунтів КЗС, то в шарі ґрунту 0–70 см на незрошуваній ділянці міститься приблизно 4,14 т/га водорозчинних солей, у ґрунтах, які зрошуються дощуванням — 12,8 т/га, а де застосовується краплинне зрошення — 11,67 та 16,20 т/га.

Що стосується розподілу солей по ґрунтовому профілю (Табл. 2), то в ґрунтах КЗС, які зрошуються високо мінералізованими водами, головне місце, де накопичуються солі — це шар ґрунту 20–40 см. В суходільних ґрунтах та в ґрунтах ПБЗС, які зрошуються низько мінералізованими водами, високих концентрацій солей в окремих горизонтах не спостерігається, вони рівномірно розподілені по профілю ґрунту.

3.3. Вплив засолення ґрунту на сільськогосподарські рослини

Основною причиною пригнічення, та інколи загибелі рослин у засолених ґрунтах є високий осмотичний тиск ґрунтового розчину, який перевищує тиск клітинного соку рослин, внаслідок чого зменшується надходження води в окремі тканини, збільшується транспірація, погіршується асиміляція, дихання та утворення цукрів, що зрештою призводить до висихання й загибелі рослин. Цей процес має назву фізіологічна посуха. Різні сільськогосподарські культури, залежно від їхньої солестійкості, по-різному реагують на високі концентрації солей в ґрунтовому розчині (Табл. 3).

Таблиця 3

Солестійкість сільськогосподарських культур, найбільш поширених на землях ПБЗС та КЗС.

Група культур	Чутливість культур до засолення ґрунту – діапазон значень EC_e			Максимальне значення EC_e , за якого не знижується врожайність (дСм/м)
	чутливі (0–1,9 дСм/м)	помірно чутливі (2,0–3,9 дСм/м)	не чутливі (> 3,9 дСм/м)	
Польові	Горох			1,3
	Кукурудза			1,7
			Ячмінь	8,0
			Сорго	4,0
			Соя	5,0
			Буряк цукровий	7,0
			Пшениця озима і яра	6,0
Овочеві	Квасоля			1,0
	Капуста білоголова			1,8
	Капуста цвітна			1,0
	Цибуля			1,3
	Картопля			1,7
		Огірок		2,5
		Шпинат		2,0
		Томати		2,5
		Кавун		2,0
			Буряк столовий	4,0
Кормові	Трава садова			1,7
	Конюшина червона			1,5
	Конюшина біла			1,5
		Люцерна		2,8
		Трава суданська		2,3
		Вика		3,0
			Ячмінь	6,0
			Райграс	4,6
			Пирій	7,5

Найпростіший спосіб запобігти зниженню врожайності через засолення ґрунтів — це вирощування більш солестійких культур. Більшість культур витримують засолення ґрунту до певного порогового рівня, після якого врожайність знижується більш-менш лінійно зі збільшенням засоленості ґрунту [17, 25].

У таблиці 3 показано ступінь толерантності до засолення деяких, найбільш поширених на землях ПБЗС та КЗС, сільськогосподарських культур. Також до переліку включені культури, які потенційно можуть вирощуватися на цих землях. Ці дані дають можливість зробити певні рекомендації щодо оптимізації структури посівних площ на зрошуваних землях ПБЗС та КЗС. Зокрема, очевидно, що на зрошуваних землях ПБЗС, які не засолені, можна вирощувати будь-які щодо солестійкості сільськогосподарські культури. Найбільші значення EC_e в окремих шарах ґрунту ($EC_e = 1,5\text{--}1,6$ дСм/м) не є критичними і не призводять до зниження врожайності.

Що стосується зрошуваних земель КЗС, то тут ситуація складніша. У зв'язку з відносно високою небезпекою засолення ґрунтів на цих землях без втрати врожайності можна вирощувати культури лише помірно та найменш чутливі до засолення ґрунтів ($EC_e > 2$ дСм/м). Теперішня практика вирощування на цих землях в овочевих сівозмінах капусти білоголової та цибулі призводить до зменшення урожайності приблизно на 30 %. До того ж значні площі на землях КЗС зайняті посівами кукурудзи на зерно, яка поливається дощувальними агрегатами і, судячи з даних таблиць 2 та 3, при засоленні ґрунтів у 3,2 дСм/м, знижує врожайність практично вдвічі.

А отже врахування засолення ґрунту на зрошуваних землях у плануванні структури посівних площ та сівозмін дозволить збільшити продуктивність фермерських господарств та рентабельність виробництва.

4. Висновки

Отже, електропровідність поливної води змінюється в процесі транспортування в каналах та водосховищах у досить широких межах, але така вода належить до середнього ризику засолення ґрунтів ($EC_w = 0,7\text{--}3,0$ дСм/м). Водночас існує певна диференціація щодо якості поливної води. Так поливи земель ПБЗС здійснюються водою з електропровідністю 0,90–1,07 дСм/м, яка містить 595–707 мг/см³ солей, а поливи земель КЗС здійснюються водою з електропровідністю 1,86–2,65 дСм/м з умістом 1330–1750 мг/см³ солей.

Мінералізація зрошувальної води визначає ступінь засолення ґрунтів. Якщо ґрунти ПБЗС не засолені (EC_e становить менше ніж 2,0 дСм/м, а запас солей в шарі 0–70 см дорівнює лише 3,4 т/га), то в ґрунтах КЗС на зрошенні спостерігається значне (у 3–4 рази) збільшення вмісту солей порівняно з суходолом (значення EC_e досягає 5,5 дСм/м, а запас солей в шарі 0–70 см досягає 16,2 т/га). Згідно з чинною класифікацією такі ґрунти відносяться до засолених.

Аналіз розподілу солей по ґрунтовому профілю показав, що в ґрунтах КЗС, які зрошуються високомінералізованими водами, головним місцем, де накопичуються солі, є шар ґрунту 20–40 см. В ґрунтах ПБЗС, які зрошуються низькомінералізованими водами, високих концентрацій солей в окремих горизонтах не спостерігається, вони рівномірно розподілені по профілю ґрунту.

Аналіз показників толерантності окремих сільськогосподарських культур до засолення ґрунту показав, що на зрошуваних землях ПБЗС, які практично не засолені, можна вирощувати будь-які щодо солестійкості сільськогосподарські культури. А на землях КЗС, у зв'язку з високою небезпекою засолення ґрунтів без втрати врожайності можна вирощувати лише помірно та найменш чутливі до засолення ґрунтів сільськогосподарські культури. Наявна практика вирощування в овочевих сівозмінах білоголової капусти та цибулі призводить до 30 % зменшення урожайності, а вирощування кукурудзи на зерно на цих землях призводить до зниження врожайності практично удвічі.

Подальші дослідження процесів засолення ґрунтів на землях ПБЗС та КЗС повинні бути пов'язані з якісним складом солей, зокрема з більш детальним вивченням впливу певних катіонів та аніонів на ріст та розвиток саме тих сільськогосподарських культур, які вирощуються на цих землях.

Список використаних джерел

1. FAO. Global Map of Salt Affected Soils Version 1.0. 2021. Retrieved from <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/>.
2. Negacz K., Malek Z., De Vos A., Vellinga P. Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. *Journal of Arid Environments*. 2022. № 203. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104775>
3. Екологічний стан ґрунтів України. / С.А. Балюк, В.В. Медведєв, М.М. Мірошніченко [та ін.]. *Український географічний журнал*. 2012. № 2. С. 38–42. https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ-2012-2-38_0.pdf
4. Vargas R., Pankova E. I., Balyuk S. A., Krasilnikov P. V., Khasankhanova G. M. (Eds.). Handbook for saline soil management. Rome: FAO. 2018. 132 p.

https://www.researchgate.net/publication/325050118_Handbook_for_Saline_soil_management_Eurasian_Soil_Partnership_implementation_plan

5. Ehtaiwesh A. F. The effect of salinity on nutrient availability and uptake in crop plants. *Journal of Applied Science*. 2022. №9. P. 55–73. <https://doi.org/10.47891/sabujas.v0i0.55-73>.
6. Xiu-wei L., Feike T., Su-ying C., Li-wei S., Hong-yong S., Xi-ying Z. Effects of saline irrigation on soil salt accumulation and grain yield in the winter wheat-summer maize double cropping system in the low plain of North China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2016. № 15(12). P. 2886–2898. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61328-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61328-4).
7. Water use, soil water balance and soil salinization risks of Mediterranean tree orchards in southern Portugal under current climate variability: Issues for salinity control and irrigation management. / T. B. Ramos, H. Darouich, A. R. Oliveira [et al.]. *Agricultural Water Management*. 2023. № 283. 108319. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108209>.
8. Воротинцева Л. І., Ніколюк В. І. Агрогенні зміни властивостей темно-каштанового цілинного та орного ґрунту за різного використання та зрошення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2021. Вип. 91. С. 12–21. <https://doi.org/10.31073/acss91-02>.
9. Чорноземи зрошуваних земель Одеської області: монографія / Красєха Є.М. Біланчин Ю. М. (Ред.). Одеса: ОНУ. 2016. 194 с. http://dspace.onu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/20770/3/Chornozem_mas.pdf
10. Цуркан О. І. Ретроспективний та сучасний стан чорноземів Нижньодністровської зрошувальної системи. *Вісник Одеського національного університету. Серія Географія та геологія*. 2019. Т. 24. Вип. 1(34). С. 119–129. [http://liber.onu.edu.ua/pdf/visn_geo_1\(34\)_2019.pdf](http://liber.onu.edu.ua/pdf/visn_geo_1(34)_2019.pdf)
11. Найдюнова О. Є., Воротинцева Л. І. Агрогенна трансформація чорнозему звичайного за тривалого зрошення мінералізованою водою. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 2. 47–52.
12. Чорний С. Г., Ісаєва В. В. Просторово-часова трансформація якості поливних вод на Південно-Бузькій та Кам'янській зрошувальних системах. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2022. № 93. С. 33–42. <https://doi.org/10.31073/acss93-04>
13. Ayers R. S., Westcot D. W. Water Quality for Agriculture. FAO irrigation and drainage paper. 29. Rome: FAO. 1994. 97 p. <https://www.fao.org/3/t0234e/t0234E00.htm>
14. Zaman M., Shahid S. A., Heng L. Irrigation water quality. In: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*, 2018. P. 113–131. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96190-3_5
15. Chorny S. G. Isaeva V. V. Agronomic evaluation of irrigation water on the Southern Buh and Kamianska irrigation systems. *Journal of water and land development*. 2022. № 54. P. 77–83. <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/141557/edition/124436/content>
16. Чорний С. Г. Оцінка якості ґрунтів. Навчальний посібник. Миколаїв. МНАУ. 2018. 233 с. https://www.researchgate.net/publication/370498297_OCINKA_AKOSTI_GRUNTIV.
17. Hazelton P., Murphy B. Interpreting Soil Test Results. What Do All the Numbers Mean? Collingwood: CSIRO Publishing. 2016. 152 p. <https://doi.org/10.1071/9780643094680>
18. Kargas G., Chatzigiakoumis I., Kollias A., Spiliotis D., Massas I., Kerkides P. Soil Salinity Assessment Using Saturated Paste and Mass Soil: Water 1:1 and 1:5 Ratios Extracts. *Water*. 2018. № 10. 1589. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110661>.
19. Soil survey manual. Soil Science Division Staff. Agriculture Handbook № 18. USDA. Washington, D.C. 2017. 605 p. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf>
20. Richards L. A. (Ed.). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA Agriculture Handbook № 60. Washington DC: USDA. 1954. 160 p. https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf
21. Grieve C. M., Grattan S. R., Maas E. V. Plant salt tolerance. In: *Agricultural salinity assessment and management*. Wallender WW, Tanji KK, (Eds.). ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 71, 2nd ed. Reston, VA, US: ASCE. 2013. P. 405-459. <https://doi.org/10.1061/9780784411698.ch13>
22. Nikolaou G., Neocleous D., Christophi C., Heracleous T., Markou M. Irrigation ground water quality characteristics: a case study of Cyprus. *Atmosphere*. 2020. № 11, 302. <https://doi.org/10.3390/atmos11030302>
23. Hussain G., Alquwaizany A., Al-Zarah A. Guidelines for irrigation water quality and water management in the Kingdom of Saudi Arabia: an overview. *Journal of Applied Sciences*. 2010. № 10(2). P. 79–96. <https://scialert.net/abstract/?doi=jas.2010.79.96>
24. Hanson B. R., Bendixen W. E. Drip irrigation salinity under controls soil row crops. *California Agriculture*. 1995. № 49(4). P. 19–23. <https://ucanr.edu/repository/fileAccessPublic.cfm?fn=ca4904p19-169913.pdf>
25. Ayers R. S. Quality of water for irrigation // *Journal of the irrigation and Drainage Division*. 1977. Т. 103. №. 2. С. 135-154.

UDC 631.4

Impact saline water irrigation on soil salinization processes in the Southern Bug and Kamianska irrigation systems

S. G. Chorny^{1*}, V. V. Isaieva²

¹ Black Sea National University named after Petro Mohyla, Mykolaiv, Ukraine

² Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, Ukraine

*E-mail: s.g.chorny@gmail.com

In Ukraine, irrigation development is hampered by a shortage of high-quality irrigation water. Irrigation with mineralized irrigation water causes soil salinization, which negatively affects crop productivity, soil quality, and surface water conditions. The purpose of this article is to analyze the impact of irrigation water of different mineralization on soil salinity in the Southern Bug and Kamianske irrigation systems. The field and laboratory studies used the methods and criteria of the salinity laboratory of the US Department of Agriculture and the Food and Agriculture Organization. The

studies showed that irrigation is carried out with water that has an average risk of soil salinity ($EC_w = 0.7-3.0$ dS/m). At the same time, there is some spatial differentiation in the quality of irrigation water. The lands of the Southern Bug irrigation system are irrigated with water with an electrical conductivity of 0.90-1.07 dS/m, and the lands of the Kamianska irrigation system are irrigated with water with an electrical conductivity of 1.86-2.65 dS/m. The mineralization of irrigation water determines the degree of soil salinity. While the soils of the Southern Bug irrigation system are not saline (EC_e is less than 2.0 dS/m), the soils of the Kamianske irrigation system have a significant accumulation of salts (EC_e reaches 5.5 dS/m). According to the Food and Agriculture Organization classification, such soils are classified as saline. Analysis of the salinity tolerance of individual crops showed that any crops of any salt tolerance can be grown on the irrigated lands of the Southern Bug irrigation system. And on the lands of the Kamianske irrigation system, only moderately sensitive and least sensitive crops to soil salinity can be grown without loss of yield. The conducted research allows us to adjust the structure of sown areas and the structure of crop rotations in terms of salt tolerance of certain crops.

Keywords: drip irrigation; irrigation water quality; soil electrical conductivity; soil salinity; sprinkling

Citing: Chorny, S. G., Isaieva, V. V. (2023). Impact saline water irrigation on soil salinization processes in the Southern Bug and Kamianska irrigation systems. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 4-12. [doi:10.31073/acss95-01](https://doi.org/10.31073/acss95-01)... [in Ukrainian].

УДК 631.416.5:631.416.7:631.67.03:631.811.4

Динаміка галогенезу чорнозему звичайного, зрошуваного мінералізованими водами**О. А. Носоненко, М. А. Захарова***Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 03.11.2023 Отримано після доопрацювання 08.12.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.2023	У статті представлено результати дослідження особливостей просторової та часової динаміки властивостей чорнозему звичайного (<i>Calcic Chernozem</i>) під впливом багаторічного зрошення слабомінералізованою водою (водосховище Сасик) та агроміліоративних заходів в умовах стаціонарного польового досліду на території Дунай-Дністровської зрошувальної системи в Одеській області. Досліджуваними факторами були режим зрошення, застосування хімічного меліоранта — фосфогіпсу та внесення органічних і мінеральних добрив під культури семипільної сівозміни. Визначено динаміку якості поливної води (вміст токсичних солей, pH, CO_3^{2-} , Cl^- , частка катіонів $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) впродовж 12 років зрошення. У пробах ґрунту визначали: сольовий склад водної витяжки; вміст обмінних катіонів (кальцій, магній, натрій, калій); вміст органічної речовини; гранулометричний склад. Досліджено в польових умовах морфологічну будову ґрунтового профілю з використанням методики еколого-агроміліоративного обстеження зрошуваних земель. За результатами досліджень встановлено, що зрошення протягом 12 років чорнозему звичайного зумовило збільшення вмісту в ґрунтовому розчині водорозчинних токсичних солей, звуження відношення Ca/Na до 10 разів і розвиток процесу іригаційного осолонцювання ґрунту, який є стабільним — чергуються стадії осолонцювання й тимчасової динамічної рівноваги. Ступінь вторинної солонцюватості при цьому послідовно наростає від слабого до сильного на дванадцятий рік зрошення. Застосування фосфогіпсу і органо-мінеральної системи удобрення обмежує процес іригаційного осолонцювання, стабілізувавши на рівні слабого ступеня, але не зупиняє накопичення у кореневмісному шарі токсичних продуктів катіонного обміну — солей сульфату натрію, що спричиняє слабкий ступінь засолення ґрунту. Очевидно, в умовах сезонно-оборотного режиму солей щорічне внесення фосфогіпсу дозою 3 т/га протягом 10 і більше років є надмірним.
Ключові слова: агроміліоративні заходи; водорозчинні солі у ґрунті; динаміка галогенезу; обмінні катіони; слабомінералізована поливна вода; чорнозем звичайний;.	

* E-mail: *zakharova_maryna@ukr.net

Форма цитування: Носоненко О. А., Захарова М. А. Динаміка галогенезу чорнозему звичайного, зрошуваного мінералізованими водами. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 13-23. <https://doi.org/10.31073/acss95-02>

1. Вступ

Проблеми зрошення тісно пов'язані з кількістю, якісним складом і режимом водорозчинних солей у зрошуваних ґрунтах. Водорозчинні солі не тільки безпосередньо впливають на фізіологічний стан рослин і якість рослинної продукції [1, 2, 3], але й практично на всі властивості й режими ґрунтів.

Багатьма дослідниками встановлено, що зрошення прісними (до 1 г/дм³ сухого залишку) водами ґрунтів ділянок із заляганням підґрунтових вод глибше 10 м спричиняє розсолоння цих ґрунтів разом з материнськими породами [4, 5]. Існують також відомості про розсолоння ґрунту за глибини підґрунтових вод 1–3 м, але за умови їх низької мінералізації [6].

Стабільне засолення чорноземних ґрунтів, у разі їх зрошення як прісними, так і мінералізованими водами, відмічене за умови підйому мінералізованих підґрунтових вод, що спричиняє капілярне підтягування солей до ґрунтової товщі [7, 8]. Незначне соленакопичення може відбуватися внаслідок тривалого зрошення чорноземів водами з мінералізацією 1,5–3,0 г/дм³ на глибинах 60–150 см за сезонно-зворотного сольового режиму [8]. Ряд авторів констатують, що сезонно-зворотний тип сольового режиму розвивається одночасно зі зменшенням кількості солей у зрошуваних чорноземах. У березні–квітні найсильніше знесолена верхня частина профілю цих ґрунтів до глибини 40–50 см у межах терасової рівнини та 70–80 см на вододільному плато. У серпні–жовтні спостерігається збільшення вмісту водорозчинних солей [9, 10].

Явища солеобміну в зрошуваних чорноземах тісно пов'язані зі станом вбирного комплексу та можливістю іригаційного осолонцювання цих ґрунтів. Факти осолонцювання чорноземів зафіксовано як за їх зрошення мінералізованими [11, 12, 13], так і прісними водами [14]. При цьому головну роль відіграє не абсолютна кількість катіонів Na^+ у

зрошувальній воді, а співвідношення $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ та почергова зміна засолення ґрунту його розсолонням [4, 11, 15, 16].

Щодо змін стану вбирного комплексу чорноземів півдня України під впливом зрошення мінералізованими водами відзначаються зниження ємності катіонного обміну [10], зростання вмісту обмінного магнію та натрію і, як наслідок, розвиток процесу осолонцювання [10, 17, 18]. Процес осолонцювання полягає в заміщенні обмінного кальцію у ґрунтовому вбирному комплексі (ГВК) на одновалентні катіони, передовсім натрій, що надає ґрунтовим колоїдам здатності до пептизації й зумовлює, таким чином, істотні зміни низки агрономічно значущих властивостей ґрунту (погіршення стану макро- та мікроструктури, збільшення брилистості, твердості, кіркоутворення, липкості, зменшення фільтраційної здатності, обмеження доступності макро- та мікроелементів живлення для рослин, фульватизації та підвищення рухомості органічної речовини, пригнічення корисної мікрофлори тощо) у несприятливому для культурних рослин та здійснення агротехнологічних процесів напрямі [18].

У теперішній час вітчизняні та закордонні вчені, що досліджують проблеми галогенезу зрошуваних ґрунтів, приділяють увагу, зокрема, таким питанням:

- використання технологій збережувального землеробства (SWC — soil and water conservation), зокрема, заощадження прісної води за рахунок використання мінералізованої для отримання високих врожаїв озимої пшениці [19, 20];
- вплив різноманітних добрив і меліорантів (зокрема, жому та фільтраційного осаду [21], біовугілля [22]) на хімічний склад ґрунту і рослин, урожайність сільськогосподарських культур (озимої пшениці) і родючість ґрунтів;
- вплив удосконалення обробітку ґрунту на його властивості [23] та врожайність зерна в сівозміні озима пшениця–кукурудза [24];
- вплив якості зрошувальної води на накопичення важких металів і мінеральних елементів у овочевій продукції [25].

Окремо стоїть проблема використання фосфогіпсу як меліоранту, що послаблює або запобігає осолонцюванню ґрунтів та особливості впливу цього заходу на їхній сольовий стан. Зокрема, вченими Казахстану [26] внесення фосфогіпсу розглядається як засіб, що зменшує негативний вплив магнію на солонцюватих ґрунтах південного Казахстану в умовах зрошуваної культури бавовнику. Обробки фосфогіпсом показали значно кращий результат, ніж контроль, з огляду на поліпшення якості ґрунту зі зниженням рівня відсотка обмінного магнію; посилення руху води в ґрунті й кризь нього у зв'язку зі збільшенням накопичення вологи в кореневій зоні для використання корінням рослин; підвищення ефективності зрошення; підвищення врожайності бавовни та досягнення економічного ефекту. Автори рекомендують вносити меліорант восени, перед утворенням снігового покриву дозами 3–8 т/га. Проте, вплив фосфогіпсу на кількість і якість водорозчинних солей у ґрунті у цій роботі не висвітлюється.

Українськими дослідниками [27] наводяться результати досліджень внесення фосфогіпсу на зрошуваних понад 50 років з річки Самара (Україна) середньозасолених ґрунтах у зоні Північного Степу. Проте, класифікаційна позиція ґрунтів досліді не наводиться. Автори вказують, що внесення фосфогіпсу спричинило зменшення вмісту гідрокарбонатів у ґрунті та зміни типу засолення із содово-сульфатного на сульфатний. При цьому автори характеризують якість зрошувальної води та ступінь засолення ґрунту за натрій-адсорбційним коефіцієнтом (SAR), який є недосконалим, оскільки не враховує загальний вміст солей, їх аніонний склад, вміст магнію та властивості зрошуваних ґрунтів.

Згідно з дослідженнями, які проводилися також у зоні Північного Степу України [28], встановлено надходження в ґрунт катіону натрію з поливною водою, а сульфатного аніону з фосфогіпсом. При цьому внесення фосфогіпсу на іригаційно солонцюватих ґрунтах за зрошення та без нього призвело до збільшення загальної суми солей в орному шарі ґрунту порівняно з початковими параметрами. Нагромаджувався переважно сульфат натрію, який у подальшому мігрував униз по ґрунтовому профілю до глибини 45–75 см. Разом з цим збільшувалася кількість іонів Ca^{2+} по всьому профілю ґрунту.

Доцільним застосування фосфогіпсу у сільському господарстві роблять сполуки кальцію, сірки, кремнію і фосфору, які входять до його хімічного складу. Разом з цим, до складу фосфогіпсу входять ще й сполуки натрію, хлору, фтору, важких металів тощо, які вказують на можливі проблеми під час їх застосування [29]. Тому, способи, норми й ефективність застосування фосфогіпсу в сільському господарстві є дуже складними питаннями і залежать від його хімічного складу, властивостей ґрунтів й агротехнологій застосування, що потребує детального дослідження.

Наведений огляд наукової літератури свідчить, що питанням просторової та часової динаміки галогенезу чорноземів півдня України за їх зрошення мінералізованими

водами в умовах стаціонарних польових дослідів приділено недостатньо уваги. Даному питанню присвячено цю статтю.

Мета роботи — установити особливості впливу зрошення слабомінералізованою водою та агроеліоративних заходів на просторову та часову динаміку сольових характеристик (рН водний, загальний вміст солей, вміст токсичних солей), складу обмінних катіонів і ступеня солонцюватості чорнозему звичайного в умовах багаторічного стаціонарного дослідів.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

2.1. Об'єкти дослідження

Дослідження проводили в Одеській області на території Дунай-Дністровської зрошувальної системи (ДДЗС) в межах сучасного Білгород-Дністровського (колишнього Татарбунарського) адміністративного району на території Білоліської сільської ради в польовому стаціонарному багаторічному досліді («Білоліський стаціонар»).

Для опису морфологічної будови ґрунтового профілю використано польовий метод досліджень, який ґрунтується на методиці еколого-агроеліоративного обстеження зрошуваних земель¹.

Вихідним ґрунтом дослідних ділянок був чорнозем звичайний (*Calcic Chernozem*). Головні параметри властивостей чорнозему звичайного: вміст CaCO_3 від 2 % в орному шарі до 15 % в горизонті його максимальної акумуляції (50–100 см); Ca/Na у водній витяжці в шарі 0–50 см — 3–6, вміст обмінного Na^+ , в шарі 0–25 см — 0,2–0,4 ммоль/100 г ґрунту; загальний вміст гумусу в шарі 0–25 см — 2,8–3,2 %, у шарі 25–50 см 2,0–2,2 %, вміст мулу (< 0,001 мм) в шарі 0–50 см — 32–35 %, вміст фізичної глини (< 0,01 мм) у шарі 0–50 см — 47–52 %.

Зрошення проводили мінералізованою водою з водосховища Сасик.

2.2. Схема стаціонарного польового дослідів «Білоліський стаціонар»

Варіанти дослідів:

1. Незрошуваний контроль — без зрошення, хімічної меліорації та удобрення;
2. Зрошуваний контроль — нормальний режим поливів за розрахункового шару ґрунту 0,5–0,7 м та 80 % польової вологоємності, без хімічної меліорації та удобрення;
3. Зрошення — нормальний режим поливів протягом 12 років, внесення фосфогіпсу щорічно 3 т/га протягом перших 9 років, без удобрення;
4. Комплекс агроеліоративних заходів, що включає: зрошення — нормальний режим поливів протягом 12 років; хімічну меліорацію — внесення фосфогіпсу щорічно 3 т/га протягом перших 9 років; органо-мінеральну систему удобрення — внесення під усі культури доз мінеральних добрив з розрахунку на програмований урожай + гній по 42 т/га тричі за ротацію сівозміни (під кукурудзу силосну і зернову та кормові буряки, тобто по 18 тонн на 1 га сівозмінної площі).

Середньорічна сумарна доза внесення мінеральних добрив — 300 кг д. р. на 1 га сівозмінної площі, за макроелементами — $\text{N}_{140}\text{P}_{100}\text{K}_{60}$. Форми мінеральних добрив: нітрат амонію (NH_4NO_3 , близько 35 % N); суперфосфат простий ($(\text{CaH}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O} + 2\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, близько 20 % P_2O_5); хлорид калію (KCl , близько 55 % K_2O).

Дослід складався з семи полів, площею по 4 га, розгорнутої семипільної сівозміни з таким чергуванням культур: 1 і 2 поля — люцерна, 3 — пшениця озима, 4 — буряк кормовий, 5 — кукурудза на зерно, 6 — кукурудза на силос, 7 — ячмінь озимий + люцерна. Починаючи з дев'ятого року зрошення замість озимого ячменю висівали ярий, а замість кормових буряків — соняшник. На 13-й рік проведення дослідів зрошення було припинене, і розміщення культур по полях сівозміни було таким: 1 поле — ячмінь ярий, 2 — пшениця озима, 3 — люцерна, 4–5 — пшениця озима, 6 — кукурудза на силос, 7 — соняшник.

Валовий хімічний склад фосфогіпсу виробництва ПАТ «Суміхімпром», що вносили у досліді, наведено в таблиці 1. Вміст діючої речовини у фосфогіпсі становить 70 %.

¹ Методика еколого-агроеліоративного обстеження зрошуваних земель. Посібник 2 до ВНД 33-5.5-11-02 Інструкція з проведення ґрунтово-сольової зйомки на зрошуваних землях України. Харків, 2002. 22 с.

Таблиця 1

Валовий хімічний склад фосфогіпсу, який використовували для меліорації ґрунту в досліді «Білоліський стаціонар»

Елементи і сполуки	Вміст, %
SiO ₂	5,17
TiO ₂	0,33
Al ₂ O ₃	0,79
Fe ₂ O ₃	0,61
MnO	0,01
MgO	0,79
CaO	34,24
Na ₂ O	2,11
K ₂ O	0,19
P ₂ O ₅	5,82
S	19,76
Cl	0,03
F	0,30
Co	0,005
Ni	0,007

2.3. Відбирання проб ґрунту і води, підготовка їх до аналізування

Проби ґрунту відбирали перед закладенням досліду і щорічно у два строки — перед посівом і після збирання й обліку урожаю культур у 3 точках на кожному варіанті з шарів 0–25, 25–50, 50–75, 75–100 см відповідно до ДСТУ 4287².

Підготовку до аналізів та попереднє оброблення зразків ґрунту, що підлягали фізико-хімічному аналізу, проведено за ДСТУ ISO 11464:2001³.

Проби води відбирали з магістрального каналу в межах Білоліської сільської ради тричі протягом поливного сезону (червень, липень, серпень) з наступним усередненням результатів аналізів за рік).

2.4. Аналітичні методи

Аналітичне визначення параметрів властивостей ґрунту виконано згідно з чинними нормативними документами: сольовий склад водної витяжки — за ДСТУ 7908⁴, ДСТУ 7909⁵; ДСТУ 7943⁶, ДСТУ 7944⁷, ДСТУ 7945⁸; вміст обмінних кальцію та магнію за методом Тюріна за ДСТУ 7604:2014⁹; вміст обмінного натрію та калію за ДСТУ 7912:2015¹⁰; вміст органічної речовини за ДСТУ 4289:2004¹¹; гранулометричний склад за ДСТУ 4730:2007¹².

Концентрацію іонів та pH у поливній воді визначали за методикою їх визначення у водній витяжці з ґрунту. Клас якості води визначали згідно з ДСТУ 2730:2015¹³.

3. Результати досліджень

3.1. Морфологічна будова профілю чорнозему звичайного

Наводимо морфологічну характеристику профілю незрошуваного чорнозему звичайного слабогумусованого важкосуглинкового на лесоподібному суглинкові. Розріз закладено на території науково-виробничого польового досліду «Білоліський стаціонар». Стан поверхні ґрунту — культивация після збирання зернових.

Характеристика генетичних горизонтів:

H — 0–25 см. Гумусовий верхній (орний), темно-сірий, грудкувато-зернистий, сухий, густо пронизаний корінням рослин, крихкий, донизу ущільнений. Перехід поступовий.

² ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Чинний з 2005–07–01. Київ: Держспоживстандарт України. 2005. 10 с.

³ ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT). Чинний з 2008–01–01. Київ: Держспоживстандарт України. 2012. 18 с.

⁴ ДСТУ 7908:2015. Якість ґрунту. Визначення хлорид-іона у водній витяжці. Чинний з 2016-07-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 10 с.

⁵ ДСТУ 7909:2015. Якість ґрунту. Визначення сульфат-іона у водній витяжці. Чинний з 2016-07-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 7 с.

⁶ ДСТУ 7943:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів карбонатів і бікарбонатів у водній витяжці. Чинний з 2016-09-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 9 с.

⁷ ДСТУ 7944:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів натрію і калію у водній витяжці. Чинний з 2016-09-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 6 с.

⁸ ДСТУ 7945:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів кальцію і магнію у водній витяжці. Чинний з 2016-09-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 7 с.

⁹ ДСТУ 7604:2014. Якість ґрунту. Визначення обмінного кальцію та обмінного магнію у карбонатних ґрунтах методом Тюріна. Чинний з 2015-07-01. Київ: Мінекономрозвитку України. 2015. 11 с.

¹⁰ ДСТУ 7912:2015. Якість ґрунту. Метод визначення обмінного натрію. Чинний з 2016-09-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 9 с.

¹¹ ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. Чинний з 2005-07-01. Київ: Держспоживстандарт України. 2004. 14 с.

¹² ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначення гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н. А. Качинського. Чинний з 2008-01-01. Київ: Держспоживстандарт України. 2008. 18 с.

¹³ ДСТУ 2730 : 2015. «Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії». Чинний від 2016-07-01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 10 с.

H(p) — 25–55 см. Гумусовий перехідний, підорний. Дещо темніший за орний, щільніший, грудкувато-горіхувато-зернистий, пронизаний корінням. У нижній частині зустрічаються вкраплення менш гумусованого ґрунту коричнюватого відтінку. Перехід поступовий.

hp/k — 55–73 см. Перехідний, неоднорідний за забарвленням — коричнюватий, донизу з палевим відтінком, щільний, свіжий, пронизаний корінням, грудкуватий. Скипає від HCl з 58 см. Перехід до наступного горизонту різкий за забарвленням.

Rk(h) — 73–150 см. Горизонт «білозірки», жовто-палевий лесоподібний суглинок, щільний, грудкуватий, строкатий від «білозірки» у вигляді крихких білих скупчень CaCO_3 розміром до 2 см неправильної овальної форми. Зустрічаються кротовини темного кольору та окремі копроліти. Перехід різкий за забарвленням і щільністю до наступного горизонту.

Rk — 150–200 см. Ґрунтотворна порода, жовто-палевий лесоподібний суглинок, свіжий, однорідний за забарвленням і щільністю, тонкопористий, грудкувато-пилюватий. Зрідка зустрічаються кротовини.

3.2. Якість поливної води

Для зрошування використовували слабомінералізовану воду з водосховища Сасик, щорічну характеристику якості якої (за середньорічними значеннями) представлено у табл. 2.

Таблиця 2

Багаторічна динаміка якості зрошувальної води

Рік зрошення	Показники якості води, середньорічні значення				
	вміст токсичних солей, eCl^- (еквівалентів хлору), ммоль/дм^3 — критерій небезпеки вторинного засолення ґрунту	pH — критерій небезпеки підлучення ґрунту	CO_3^{2-} , ммоль/дм^3 — критерій небезпеки підлучення ґрунту і токсичного впливу на рослини	Cl^- , ммоль/дм^3 — критерій токсичного впливу на рослини	відношення суми $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ до суми всіх катіонів, %, з урахуванням Mg^{2+} — критерій небезпеки осолонцювання ґрунту
Перед початком	22,0	8,7	0,8	12,6	67,0
1	14,3	8,3	0,2	10,7	61,1
2	19,3	8,6	0,5	12,6	65,8
3	20,1	8,3	0,3	14,4	72,2
4	18,1	8,2	0,2	14,2	66,2
5	21,1	8,5	0,5	14,9	65,1
6	15,9	7,9	0,3	12,5	50,3
7	14,6	7,8	0	13,7	60,7
8	15,8	8,4	0,3	11,5	67,1
9	14,9	7,9	0,1	11,6	68,8
10	16,8	7,6	0	14,9	66,7
11	17,9	8,1	0	16,9	70,3
12	17,4	7,8	0	15,4	75,8
13	20,2	7,8	0	16,7	79,9
Після завершення	19,9	7,9	0	17,4	75,3

За роки досліджень мінералізація зрошувальної води була в межах 1,2–1,7 г/дм^3 , pH становив 7,6–8,7, вміст аніону CO_3^{2-} коливався від 0 до 0,8 ммоль/дм^3 , проте в останні чотири роки поливів був відсутній, аніон хлору містився в концентраціях від 10 до 18 ммоль/дм^3 , сума солонцюючих катіонів натрію і калію – від 11 до 17 ммоль/дм^3 , у середньому 14 мекв/дм³, за складом солей вода сульфатно-хлоридна магнієво-натрієва.

Оцінку якості зрошувальної води за агрономічними критеріями наведено у таблиці 3.

3.3. Основні сольові характеристики чорнозему звичайного

Через інтенсивне зрошення на Білолеському стаціонарі відбулося істотне накопичення токсичних солей в орному й підорному шарах (0–50 см) зрошуваного ґрунту (Табл. 4). При цьому значним залишається варіювання цього показника по роках залежно від умов атмосферного зволоження зимово-весняного (дополивного) періоду.

Таблиця 3

Оцінка якості зрошувальної води за агрономічними критеріями

Рік зрошення	Клас якості води згідно з ДСТУ 2730:2015 за небезпекою:			
	вторинного засолення ґрунту	підлучення ґрунту	токсичного впливу на рослини	осолонцювання ґрунту
Перед початком	2	2	2	3
1	2	2	2	3
2	2	2	2	3
3	2	2	2	3
4	2	2	2	3
5	2	2	2	3
6	2	2	2	3
7	2	1	2	3
8	2	2	2	3
9	2	1	2	3
10	2	1	2	3
11	2	1	2	3
12	2	1	2	3
13	2	1	2	3
Після завершення	2	1	2	3

Таблиця 4

Багаторічна динаміка основних сольових характеристик чорнозему звичайного у шарі 0–50 см на варіантах Білопільського стаціонару. Термін спостережень — навесні до початку поливів

Рік зрошення	Параметри сольових характеристик ґрунту по варіантах дослідів							
	без зрошення		зрошення		зрошення + фосфогіпс 3 т/га щорічно протягом 10 років		зрошення + комплекс агрозаходів	
	токсичні солі, %	Ca Na	токсичні солі, %	Ca Na	токсичні солі, %	Ca Na	токсичні солі, %	Ca Na
4	0,04	2,8	0,06	0,7	0,08	1,2	0,10	2,3
5	0,05	2,5	0,11	0,1	0,11	1,0	0,19	1,9
6	0,03	1,2	0,04	0,7	0,08	1,3	0,11	1,7
7	0,04	0,7	0,06	0,4	0,12	2,0	0,17	1,5
8	0,06	0,8	0,07	0,4	0,13	0,6	0,18	0,9
9	0,04	0,6	0,07	0,4	0,13	1,0	0,18	1,5
10	0,03	1,2	0,08	0,3	0,16	0,9	0,22	1,0
11	0,01	3,1	0,04	0,4	0,07	0,8	0,08	0,8
12	0,01	2,8	0,05	0,3	0,05	0,5	0,07	0,6
13	0,06	1,0	0,08	0,5	0,07	0,9	0,12	1,1
14(післядія)	0,04	1,6	0,04	0,6	0,05	0,7	0,09	0,8

Інтенсивне зрошення слабомінералізованими водами з водосховища Сасик спричинило розвиток різного ступеня вторинного іригаційного осолонцювання чорнозему звичайного в шарі 0–25 см (Табл. 5).

4. Обговорення результатів

Згідно з ДСТУ 2730:2015. «Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії»¹³ (Табл. 3), у більшості років поливів вода з водосховища Сасик була обмежено придатною для зрошення (2 клас) за небезпекою підлучення зональних чорноземних зрошуваних ґрунтів, а в останні 5 років поливів — придатною (1 клас) за цим критерієм, в усі роки зрошення обмежено придатною (2 клас) за небезпекою їх засолення і токсичного впливу на рослини, непридатною (3 клас) за небезпекою осолонцювання ґрунтів.

Оскільки підсумкова оцінка дається за найгіршим показником, досліджувані води були непридатними для зрошення зональних чорноземів звичайних важкосуглинкових (3 клас) за небезпекою їх осолонцювання.

Таблиця 5

Багаторічна динаміка рівня солонцюватості чорнозему звичайного у шарі 0–25 см на варіантах Білопільського стаціонару. Термін спостережень — навесні до початку поливів

Рік зрошення	Ознаки і ступінь солонцюватості по варіантах дослідів							
	без зрошення		зрошення		зрошення + фосфогіпс 3 т/га щорічно протягом 10 років		зрошення + комплекс агрозаходів	
	Na ⁺ +K ⁺ , % від суми основ	ступінь солонцюватості	Na ⁺ +K ⁺ , % від суми основ	ступінь солонцюватості	Na ⁺ +K ⁺ , % від суми основ	ступінь солонцюватості	Na ⁺ +K ⁺ , % від суми основ	ступінь солонцюватості
до початку	3,0	н.с.						
2	не визн.	не визн.	4,8	сл.	3,5	сл.	3,5	сл.
3	не визн.	не визн.	4,8	сл.	3,8	сл.	4,1	сл.
4	2,9	н.с.	5,2	сл.	4,1	сл.	4,1	сл.
5	2,7	н.с.	5,5	сл.	4,6	сл.	5,2	сл.
6	2,7	н.с.	5,5	сл.	3,4	сл.	3,2	сл.
7	3,0	н.с.	6,1	сер.	3,8	сл.	5,2	сл.
8	3,3	н.с.	8,2	сер.	4,4	сл.	5,8	сл.
9	3,0	н.с.	9,7	сер.	6,7	сер.	7,3	сер.
10	2,1	н.с.	6,7	сер.	6,1	сер.	6,4	сер.
11	2,1	н.с.	8,8	сер.	6,8	сер.	7,6	сер.
12	2,6	н.с.	10,3	сил.	7,1	сер.	9,3	сер.
13	2,9	н.с.	5,8	сл.	5,0	сл.	5,8	сл.
14 (після завершення)	2,7	н.с.	5,8	сл.	4,8	сл.	5,5	сл.

Примітка. Ступінь солонцюватості: н.с. — не солонцюватий; сл. — слабкий; сер. — середній; сил. — сильний

Вміст водорозчинних, у тому числі токсичних, солей у ґрунті незрошуваного контролю має тенденцію до зниження протягом періоду спостережень і, згідно з ДСТУ 7827:2015¹⁴, цей ґрунт є незасоленим. Відношення вмісту водорозчинного кальцію до водорозчинного натрію (Ca/Na), що є показником небезпеки розвитку процесів осолонцювання ґрунту (за значень менше 1), на цьому варіанті коливається від 0,6 до 3,1, але у 8 роках спостережень із 11 має значення більше одиниці.

Зрошуваний ґрунт також був незасоленим в усі роки спостережень, проте відношення Ca/Na було стабільно нижчим одиниці (0,1–0,7), отже, протягом усього періоду зрошення існувала небезпека розвитку процесу осолонцювання (що й підтверджується даними складу обмінних катіонів).

Ґрунт варіанта з внесенням фосфогіпсу мав слабкий ступінь засолення на десятий рік зрошення (згідно з ДСТУ 7827¹⁴) і наближався до межі цього ступеня у 7–9 роки (0,12–0,13 % токсичних солей). Відношення Ca/Na коливалось в інтервалі 0,5–2,0, значення цього показника було більше одиниці у 5 роках із 11. За небезпекою осолонцювання ґрунт цього варіанта посідає проміжне положення між ґрунтами зрошуваного і незрошуваного контролів.

За вмістом токсичних солей, згідно з даними таблиці 4, ґрунт варіанта із внесенням фосфогіпсу, органічних і мінеральних добрив мав слабкий ступінь засолення у 5-му і від 7 до 10-го років зрошення, проте відношення Ca/Na знаходилось у межах 0,6–2,3, значення більше одиниці у 7 роках із 11. За небезпекою осолонцювання ґрунт цього варіанта майже не відрізнявся від ґрунту незрошуваного контролю.

Застосування агро меліоративних заходів істотно обмежувало процес осолонцювання зрошуваного чорнозему звичайного, проте спричиняло слабкий ступінь засолення в окремі роки досліджень. Причиною цього, на наш погляд, є нагромадження в орному й підорному шарах токсичної солі Na₂SO₄ (згідно з даними аналізу якісного складу солей). Очевидно, тут причиною став сульфат внесений з добривами та меліорантом. З фосфогіпсом виробництва ПАТ «Сумихімпром» (валовий хімічний склад наведено в табл. 1), якого за період зрошення було внесено 30 т/га, також було внесено 11,7 т/га сульфат-аніону, що становить близько 0,36 % від маси ґрунту.

Окрім того, згідно з даними табл. 1, за період проведення досліджень, з фосфогіпсом на 1 га було внесено діючої речовини поживних елементів: P₂O₅ — 1746 кг, K₂O — 57 кг, а також 470 кг натрію, 142 кг магнію, 128 кг заліза, 90 кг фтору, 9 кг хлору, по 2 кг марганцю і нікелю, 1,5 кг кобальту.

¹⁴ ДСТУ 7827:2015. Якість ґрунту. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної засоленості. Чинний з 2016-07-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 7 с.

Натрій надійшов у ґрунт з поливною водою та був витіснений із ґрунтового вбирного комплексу (ГВК) орного й підорного шарів кальцієм фосфогіпсу. Згідно з даними аналізу сольового складу зрошувальної води, за середнього багаторічного вмісту натрію в ній 14 ммоль/дм^3 , що становить $0,322 \text{ г/дм}^3$, за весь період зрошення на 1 га поливної площі було внесено 3,22 тонни цього солонцюючого катіону. У перерахунку на масу орного шару ґрунту така кількість становить близько 0,1 %.

За витискання кальцієм із вбирного комплексу ґрунту натрію, у ґрунтовому розчині можливе накопичення 0,1–0,2 % токсичного сульфату натрію, що відповідає слабкому ступеню засолення ґрунту.

Слід також брати до уваги, що натрій і сульфат-іони надходять у ґрунт також з органічними і мінеральними добривами, і натрій також міститься у фосфогіпсі (Табл. 1).

Режим сульфату натрію Na_2SO_4 має сезонно-оборотний характер (вилуговування осінньо-зимово-весняними опадами й накопичення протягом вегетаційного періоду), але опадів, очевидно, недостатньо для стабільного вилуговування водорозчинних солей у більш глибокі шари ґрунто-підґрунтя. Проводити промивання ґрунту прісною водою можливості не було. Схарактеризоване явище підводить до висновку, що за щорічного внесення фосфогіпсу доза 3 т/га протягом 10 і більше років є надмірною.

На 11–14 роки досліджень, як видно з таблиці 4, завдяки скороченню та припиненню зрошення і внесення фосфогіпсу, відбулося деяке вирівнювання сольових характеристик на різних варіантах досліду.

Дані щодо сольового складу ґрунту і впливу на нього досліджуваних чинників цілком підтверджуються наявною в науковій літературі інформацією [27, 28].

Динаміка водорозчинних солей у зрошуваних ґрунтах нерозривно пов'язана зі станом ГВК, насамперед зі складом увібраних катіонів, який і мають, перш за все, на увазі, коли говорять про фізико-хімічні властивості ґрунту. Як відомо з класичних праць [15, 30], заміщення кальцію у ГВК на натрій надає ґрунтовим колоїдам здатності до пептизації й зумовлює, таким чином, суттєві зміни цілої низки агрономічно значущих властивостей ґрунту (стану макро- та мікроструктури, крихкості, твердості, липкості, фільтраційної здатності, доступності макро- та мікроелементів живлення для рослин, стану органічної речовини, мікрофлори тощо).

Згідно з даними таблиці 5, незрошуваний чорнозем звичайний за сумарним вмістом обмінних Na^+ і K^+ є несолонцюватим за ДСТУ 3866-99¹⁵.

Зрошення чорнозему звичайного мінералізованою водою з водосховища Сасик протягом першого ж року спричинило надходження до ГВК ґрунту в орному шарі близько 1 ммоль/100 г ґрунту натрію з поливної води (Табл. 5). Протягом наступних років склад обмінних катіонів в ґрунті орного шару був більш-менш стабільним, рівень вторинної солонцюватості коливався на межі слабого й середнього ступенів, іригаційний натрій наявний в обмінній та водорозчинній формах у підорному й нижчих шарах ґрунту.

На восьмий рік зрошення було відмічено нове підвищення вмісту обмінного натрію (до $2,1 \text{ ммоль/100 г}$ ґрунту); цей рівень, з тенденцією до подальшого зростання, зберігався до дванадцятого року зрошення включно. Ступінь солонцюватості — середній або сильний. Можна припустити, що це явище пов'язане з переходом вбирання натрію з екстраміцелярного на більш глибокий інтраміцелярний рівень колоїдних міцел [31].

В останні роки спостережень (13 і 14) ґрунт досліду дещо розсолонцювався, очевидно, через скорочення та припинення зрошення (Табл. 5).

З даних таблиці 5 випливає також, що застосування фосфогіпсу, як окремо, так і в складі комплексу агро меліоративних заходів, в умовах поливів чорнозему слабомінералізованою водою не спроможне усунути повністю іригаційне осолонцювання, а лише дещо зменшує ступінь солонцюватості. На те є, очевидно, кілька причин:

1) недостатня розчинність фосфогіпсу, а точніше — його діючої речовини, сульфату кальцію, у воді (не більше 2 г/дм^3 за найсприятливіших умов), що не дає можливості досягнути концентрації в ґрунтовому розчині катіонів Ca^{2+} , достатньої для недопущення натрію в ГВК;

2) швидка пасивація в ґрунті водорозчинного кальцію фосфогіпсу, перш за все, шляхом утворення слаботорозчинного CaCO_3 за схемою: $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{Na}^+ + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow 2 \text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow + \text{CaCO}_3\downarrow$, оскільки, згідно з законами хімії водних розчинів, протікання реакції завжди зміщується в бік утворення води, осаду або газу, тобто зменшення кількості вільних іонів у розчині. Також ця реакція є механізмом накопичення в ґрунті токсичної солі Na_2SO_4 (див. характеристики сольового стану ґрунту);

¹⁵ ДСТУ 3866-99. ґрунти. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості. Чинний з 2000-01-01. Київ: Держстандарт України. 1999. 6 с.

3) неможливість повного видалення продукту обміну між ГВК ґрунту і кальцієм меліоранту — сульфату натрію, який гальмує й призупиняє процес розсолонцювання ґрунту, за межі кореневмісного шару. Для вилугування Na_2SO_4 необхідні промивні поливи прісними водами, а мінералізовані води збільшують надходження до ґрунтової товщі токсичних, насамперед натрієвих, солей (див. також [28]). Водорозчинні кальцієві солі при цьому вимиваються з орного шару, як правило, незворотно, оскільки випадають в осад у глибших шарах за наведеною в пункті 2 схемою. Отже, фосфогіпс, в даному випадку, не є засобом боротьби із засоленням, оскільки не видаляє наявні в ґрунті токсичні солі, а взаємодія кальцію із вбирним ґрунтовим комплексом без промивання прісною водою сприяє появі їх додаткових кількостей.

5. Висновки

1. Установлено, що під впливом тривалого (12 років) зрошення слабомінералізованою водою, обмежено придатною (2 клас) за небезпекою засолення та періодично непридатною (2 або 3 класи) за небезпекою осолонцювання важкосуглинкових чорноземних ґрунтів, вміст токсичних водорозчинних солей у чорноземі звичайному має тенденцію до підвищення, не досягаючи градації слабого ступеня засолення. Якісний склад солей при цьому погіршується, внаслідок чого істотно (у 4–10, а в окремі періоди й більше разів) зростає відношення вмісту водорозчинного кальцію до водорозчинного натрію (Ca/Na), що є показником небезпеки розвитку процесів осолонцювання ґрунту.

2. Внесення фосфогіпсу та органічних і мінеральних добрив призвело до розширення відношення Ca/Na у ґрунтовому розчині, проте за вмістом токсичних солей ґрунт цього варіанта мав слабкий ступінь засолення у 5 і 7–10 роках зрошення переважно через накопичення в орному й підорному шарах токсичної солі сульфату натрію. Джерелом сульфатів стали фосфогіпс і добрива, натрій надходив з поливною водою та із вбирного комплексу ґрунту шляхом витискання кальцієм фосфогіпсу. Очевидно, в умовах сезонно-оборотного режиму солей щорічне внесення фосфогіпсу дозою 3 т/га протягом 10 і більше років є надмірним.

3. Зрошення чорноземів звичайних мінералізованою водою з водосховища Сасик спричиняє розвиток процесу їх іригаційного осолонцювання. Цей процес є стадійним (чергуються стадії осолонцювання й тимчасової динамічної рівноваги). Ступінь вторинної солонцюватості при цьому послідовно наростає від слабого до сильного на дванадцятий рік поливів.

4. Застосування агроеліоративних заходів, перш за все, хімічної меліорації кальцієвими меліорантами (найпоширеніший з них – фосфогіпс) поливних вод і зрошуваних ґрунтів не спроможне цілком усунути процес іригаційного осолонцювання, а здатне лише обмежити його, стабілізувавши на рівні слабого ступеня, але з накопиченням у кореневмісному шарі токсичних продуктів катіонного обміну (насамперед Na_2SO_4).

Список використаних джерел

1. Строгонов Б. П. Физиологические основы солеустойчивости растений (при разнокачественном засолении почвы): монография. Москва: Издательство академии наук СССР. 1962. 368 с.
2. Deo Ram, Kanwar J. Effect of saline irrigation water on the growth and chemical composition of wheat. *J. Indian Soc. Soil Sc.* 1968. 16(4). P. 365–370.
3. Mizrahi I., Pasternak D. Effect of salinity on quality of various agricultural crops. *Plant Soil.* 1985. 89(3). P. 301–307.
4. Антипов-Каратаев И. Н., Филиппова В. Н. Влияние длительного орошения на процессы почвообразования и плодородие почв степной полосы европейской части СССР: монография. Москва: Издательство академии наук СССР. 1955. 205 с.
5. Гринь Г. С., Швеца А. С., Фидель К. Н. О поведении воднорастворимых солей в почво-грунтах юга Украинской ССР при орошении. *Труды УНИИП.* 1958. Том III. С. 3–94.
6. Русько М. П. Вплив зрошення на рівень підґрунтових вод і хімічний склад ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство.* Міжвід. тем. наук. збірник. 1971. Вип. 17. С. 55–71.
7. Ладних В. Я. Особливості водно-солевого режиму ґрунтів західної приморської частини Краснознам'янського зрошуваного масиву. *Агрохімія і ґрунтознавство.* Міжвід. тем. наук. збірник. 1969. Вип. 7. С. 92–100.
8. Новикова А. В. Прогнозирование вторичного засоления почв при орошении: монография. Киев: Урожай. 1975. 184 с.
9. Полупан Н. И., Нестеренко А. Ф. Особенности почвообразования при орошении на юге Украины. *Почвоведение.* 1982. №8. С. 5–14.
10. Позняк С. П. Орошаемые черноземы юго-запада Украины: монография. Львов: ВНТЛ. 1997. 240 с.
11. Можейко А. М., Воротник Т. К. Гипсование солонцеватых каштановых почв УССР, орошаемых минерализованными водами, как метод борьбы с осолонцеванием этих почв. *Труды УНИИП.* 1958. Том. III. С. 111–208.

12. Вороник Т. К., Ладних В. Я., Соловйова В. М. Зміни фізико-хімічних властивостей темно-каштанових ґрунтів і чорнозему південного при зрошенні лужними водами. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 1973. Вип. 23. С. 85–93.
13. Горбач Н. М., Водяницький В. И. Солевой режим почв в садах, орошаемых минерализованными водами, в связи со способом полива. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 1988. Вип. 51. С. 83–87.
14. Фармаковская Ю. Н., Самойлова В. М. Слитизация черноземов при орошении. *Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение*. 1993. №1. С. 47–61.
15. Гедройц К. К. Учение о поглотительной способности почв: монография. Москва–Ленинград: Сельхозгиз. 1932. 203 с.
16. Гаврилович Н. Ю. Кальцієво-натрієва іонообмінна рівновага в солонцевих ґрунтах Української РСР. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 1981. Вип. 42. С. 70–74.
17. Крейда Н. А., Михайлюк В. И., Кичук И. Д. О деградации черноземов на Дунай-Днестровской оросительной системе. *Почвоведение*. 1989. №5. С. 74–79.
18. Зрошувані землі Дунай-Дністровської зрошувальної системи: еволюція, екологія, моніторинг, охорона, родючість: колективна монографія; за ред. С. А. Балука. Харків: Антіква. 2001. 260 с.
19. Abakumov E., Yuldashev G., Darmonov D., Turdaliev A., Askarov K., Khaydarov M., Mirzayev U., Nizamutdinov T., Davronov K. Influence of mineralized water sources on the properties of calcisol and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants (Basel)*. 2022. 11(23). 3291. <https://doi.org/10.3390/plants11233291>.
20. Tanto T., Laekemariam F. Impacts of soil and water conservation practices on soil property and wheat productivity in Southern Ethiopia. *Environ. Syst. Res.* 2019. 8. 13. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0142-4>.
21. Gonfa A., Bedadi B., Argaw A. Effect of bagasse ash and filter cake amendments on wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) yield and yield components in nitisol. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 2018. 7. P. 231–240. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0209-7>.
22. El-sayed M. E. A., Hazman M., Abd El-Rady A. G., Almas L., McFarland M., Shams El Din A., Burian S. Biochar reduces the adverse effect of saline water on soil properties and wheat production profitability. *Agriculture*. 2021. 11. 1112. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111112>.
23. Li X., Wei B., Xu X., Zhou J. Effect of deep vertical rotary tillage on soil properties and sugarcane biomass in rainfed dry-land regions of Southern China. *Sustainability*, 2020. 12(23), 10199. <https://doi.org/10.3390/su122310199>.
24. Zhang Y., Wang S., Wang H., Ning F., Zhang Y., Dong Z., Wen P., Wang R., Wang X., Li J. The effects of rotating conservation tillage with conventional tillage on soil properties and grain yields in winter wheat-spring maize rotations. *Agric. For. Meteorol.* 2018. 263. P. 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.08.012>.
25. Osma E., Mutlu S., Aksoy A., İlhan V. Effect of irrigation water on accumulation of heavy metal and mineral element in some vegetables. *J Inst Sci & Tech*, 2016; 6(2): 49–58. <https://doi.org/10.21597/jist.2016218847>.
26. Vyshpolsky F., Mukhamedjanov K., Bekbaev U., Ibatullin S., Yuldashev T., Noble A., Mirzabaev A., Aw-Hassan A., Qadir M. Optimizing the rate and timing of phosphogypsum application to magnesium-affected soils for crop yield and water productivity enhancement. *Agricultural Water Management. Volume 97, Issue 9*, September 2010; P. 1277–1286. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.02.020>.
27. Onoprienko D. M., Makarova T. K., Tkachuk A. V., Hapich H. V., Roubik H. The influence of phosphogypsum on the salt composition of salinated soil. *Меліорація і водне господарство*. №1, 2023. С. 102–112. <https://doi.org/mivq202301-350>.
28. Onoprienko, D. M., Shepel', A. V., & Makarova, T. K. Influence of phosphogypsum on the chemical composition of aqueous extract from soil. *Agrology*. 2019. 2(3). P. 151–155. <https://doi.org/10.32819/019022>.
29. Mesić M., Brezinščak L., Zgorelec Ž., Perčin A., Šestak I., Bilandžija D., Trdenić M., Lisac H. The Application of Phosphogypsum in Agriculture. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2016. 81(1). Retrieved November 2, 2023, from <https://acs.agr.hr/acs/index.php/acs/article/view/1152>
30. Соколовский А. Н. Избранные труды. *Почвоведение и агрохимия*: монография. Киев: Урожай. 1971. 368 с
31. Горбунов Н. И. Минералогия и физическая химия почв: монография. Москва: Наука. 1978. 292 с

UDC 631.416.5:631.416.7:631.67.03:631.811.4

Dynamics of halogenesis in ordinary chernozem irrigated with mineralized waters

O. A. Nosonenko, M. A. Zakharova*

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

*E-mail: zakharova_maryna@ukr.net

The purpose of the study is to establish the regularities of the spatial and temporal dynamics of the content of water-soluble salts and the composition of exchangeable cations in ordinary chernozem (Calcic Chernozem) under the influence of irrigation with weakly mineralized water and agromelioration measures in the conditions of a long-term stationary experiment. Methods were used: field - to explore the morphological structure of soil profile, studying the influence of irrigation and agro-melioration measures on the saline and physico-chemical properties of chernozems, laboratory-analytical – to determine saline and physico-chemical parameters, mathematical and statistical – to assess the reliability of research results. Results. Irrigation of ordinary chernozem with weakly mineralized water from the Sasyk reservoir for 12 years led to an increase in the content of water-soluble toxic salts in the soil and a deterioration of their qualitative composition due to the narrowing of the Ca/Na ratio in the soil solution to 10 times and the development of the process of their irrigation sodification. This process is staged: there are stages of sodification and temporary dynamic equilibrium. At the same time, the degree of secondary sodicity gradually increases from weak to strong by the twelfth year of irrigation. The use of chemical melioration (application of phosphogypsum) and the organo-mineral fertilization system limits the process of irrigation sodification (stabilizing it at a weak level). However, it causes accumulation in the root layer of toxic products of cation exchange - toxic salt of sodium sulfate, which causes a weak degree of soil salinization. Conclusions. It was found that under the influence of long-term (12 years) irrigation with

weakly mineralized water, the process of irrigation sodification develops in ordinary chernozem, which has a staged character. The use of agro-reclamation measures, first of all, chemical reclamation by applying phosphogypsum and organo-mineral fertilizer system can only limit the process of irrigation sodification, stabilizing it at a low level, but it can cause the development of low-level salinization. Obviously, under the conditions of a seasonally rotating salt regime, the annual application of phosphogypsum at a dose of 3 t/ha for 10 or more years is excessive.

Keywords: *agricultural improvement measures; water-soluble salts in the soil; dynamics of halogenation; exchangeable cations; weakly mineralized irrigation water; ordinary chernozem;*

Citing: Nosonenko O. A., Zakharova M. A. (2023). Dynamics of halogenesis in ordinary chernozem irrigated with mineralized waters. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 13-23. [in Ukrainian]. [doi: 10.31073/acss95-02](https://doi.org/10.31073/acss95-02)

УДК 631.4:631.37

Варіабельність характеристик поживного режиму в зрошуваному ґрунті за різних систем удобрення

Л. І. Воротинцева*, Р. В. Панарін

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 02.12.2023 Отримано після доопрацювання 15.12.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.2023	У статті висвітлено результати дослідження впливу зрошення та різних систем удобрення на поживний режим чорнозему типового важкосуглинкового (Chernic Phaeozem) як індикатор його якості. Дослідження проводили у тривалому стаціонарному польовому досліді Інституту овочівництва та баштанництва НААН (Харківська область) за краплинного зрошення придатною водою. З аналізу метеорологічних умов виявлено, що упродовж вегетаційного періоду у роки дослідження кількість опадів була нижчою за середнє багаторічне значення, а температура повітря, навпаки, вищою. Дослідили стан рослинного покриву та ґрунту на 8 варіантах з різними системами удобрення під двома культурами овочево-кормової сівозміни. Контролювали вміст у ґрунті поживних речовин, гумусу та pH в кінці вегетації культур. З використанням спектральних індексів NDVI та NDMI за показниками біомаси та густоти стояння рослин, як індикаторів забезпеченості ґрунту поживними речовинами та вологою, проаналізовано динаміку розвитку рослин. У 2022 році за вирощування буряку столового найвищі значення NDVI (0,72–0,75) та відповідно найкращий стан та густоту рослинності було зафіксовано у серпні за насиченого зеленого кольору вегетуючих рослин. Максимальні значення індексу вологості (NDMI) (0,47) — у липні, що характеризує густоту рослин як високу та відсутність водного стресу. За вирощування ячменю з підсівом багаторічних трав у 2023 році найбільшу густоту рослин та формування зеленої фітомаси було зафіксовано у червні та наприкінці серпня. Значення NDMI у цьому році були нижчими, ніж у попередньому, що свідчить про нижчу вологість ґрунту через відсутність зрошення та посушливі умови року. Встановлено, що за тривалого зрошення гідрокарбонатною водою відбулося підвищення значень pH_{H_2O} ґрунту порівняно з вихідними даними до початку зрошення, однак реакція ґрунтового середовища в шарах 0–30 та 30–50 см класифікувалася як нейтральна. На варіантах з різними системами удобрення вміст органічного вуглецю в ґрунті був достовірно вищим, ніж на контролі, і коливався від 2,25 до 2,44 % (шар 0–30 см). За різних систем удобрення вміст рухомих сполук поживних речовин характеризувався варіабельністю та вищими значеннями порівняно з контролем. Наприкінці вегетаційного періоду ступінь насиченості мінеральним азотом ґрунту варіантів з органічною, органо-мінеральною та біологічною системами удобрення класифікувався як низький, за винятком варіанту з інтенсивною системою удобрення (високий). Вміст рухомих сполук фосфору відповідав дуже високому рівню, і найвищому — за поєднаного внесення органічних і мінеральних добрив у сівозміні; вміст калію оцінювався переважно як високий та дуже високий. Найвищий рівень врожайності забезпечувала органо-мінеральна система удобрення.

* E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

Форма цитування: 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 "ІГ" ім. О.Н. Соколовського". С. 24-35. <https://doi.org/10.31073/acss95-03>

1. Вступ

У формуванні кліматично орієнтованого аграрного сектора економіки значна роль належить зрошенню, застосування якого забезпечує регулювання вологозабезпеченості ґрунту, підвищення доступності та засвоюваності рослинами поживних речовин, сталі врожаї та стабільність продовольчої безпеки нашої країни. У багатьох країнах світу актуальним є збільшення площ зрошення, оптимізація використання обмежених водних ресурсів шляхом зниження витрат води на зрошувану площу, використання для іригації стічних вод тощо [0, 2]. У зв'язку з цим упродовж останніх 20 років особливо поширеними є дослідження із застосування краплинного зрошення як ресурсозберезувального способу поливу сільськогосподарських культур, впливу його на властивості ґрунту та продуктивність культур [3, 4].

Зрошення позитивно впливає на врожайність культур, але є фактором трансформації теплового, хімічного та водного режимів ґрунту, змінюючи його фізичні, фізико-хімічні, біологічні та агрономічні характеристики. Діагностика властивостей зрошуваних ґрунтів є основою для комплексного оцінювання їх стану, розроблення

управлінських рішень, спрямованих на збалансоване їх використання, збереження родючості, якості та здоров'я ґрунтів [5]. При цьому вкрай важливим є стале управління ґрунтовими ресурсами та збалансоване їх використання.

Ґрунту має приділятися значна увага, оскільки його характеристики неабияк важливі у боротьбі зі зміною клімату, для захисту біорізноманіття, екосистем та підтримки продовольчої безпеки. Здорові ґрунти є ключовим фактором, що сприятиме досягненню цілей Європейського зеленого курсу (**European Green Deal**), таких як кліматична нейтральність, нульове забруднення, стійка аграрна політика (Стратегія «Від лану до столу») [6].

Нова ґрунтова стратегія Європейського Союзу до 2030 року (new EU Soil strategy for 2030) інтегрована в Європейський зелений курс та встановлює заходи із захисту та відновлення ґрунтів, а також забезпечення їх сталого використання. Вона спрямована на те, щоб ґрунтови екосистеми були здорові та більш стійкі і могли в подальшому виконувати свої важливі функції. Захист ґрунтів, стале управління ними, відновлення деградованих ґрунтів має бути загальним стандартом [7]. [Ґрунтова стратегія ЄС до 2030 року](#) встановлює шлях до досягнення здорових ґрунтів до 2050 року за допомогою заходів і рамок, які сприяють досягненню цілей [Європейського зеленого курсу](#).

Ґрунт є середовищем існування та розвитку для рослин і тварин, визначає продуктивність вирощуваних культур та якість аграрної продукції і через ланцюги живлення впливає на здоров'я людини. Тому актуальним є вивчення поживного режиму ґрунту, забезпеченості його основними макро- та мікроелементами з метою отримання повноцінних продуктів харчування та управління якістю ґрунту.

В цілому у світі дисбаланс поживних речовин визначено як одну з десяти основних загроз ґрунту, що впливають на його здоров'я. Здорові та добре забезпечені поживними речовинами ґрунти є ключовими для досягнення продовольчої безпеки. Збалансоване надходження поживних речовин до ґрунту має важливе значення для отримання сталого врожаю сільськогосподарських культур та визначає харчову цінність отриманої продукції [8, 9]. Для планування заходів з підвищення родючості ґрунтів, розроблення оптимальної системи удобрення, усунення дефіциту поживних речовин слід мати актуальну інформацію про баланс поживних елементів.

Ґрунт є джерелом поживних речовин для рослин, однак за несприятливих умов сільськогосподарські культури піддаються численним абіотичним стресам, таким як екстремальна температура, посуха, нестача води, поживних речовин і мікроелементів, що суттєво підвищує негативні наслідки дефіциту живлення [10]. Недостатнє застосування добрив призводить до виснаження ґрунту, що негативно впливає на його якість та продуктивність вирощуваних культур. Доступність поживних речовин у ґрунті залежить від низки чинників, таких як джерело поживних речовин, рівень зволоження та властивості ґрунту.

В умовах посухи мікроелементи відіграють значну роль у забезпеченні продовольчої безпеки та якості харчування. Збагачення ґрунту і вирощуваних культур мікроелементами є економічно сталим підходом до покращення поживної якості отримуваної продукції [11]. Дослідженнями [12] встановлено, що дефіцит мікроелементів є обмежувальним чинником продуктивності вирощуваних культур та впливає на родючість ґрунту. При цьому найбільш поширеним є одночасний дефіцит декількох елементів в орних ґрунтах (цинку, бору, міді, заліза, молібдену). Це пов'язано із внесенням добрив, які містять недостатню кількість мікроелементів, та біологічним виносом їх із ґрунту корінням рослин. Важливе значення має співвідношення поживних речовин у ґрунті: як між макроелементами, так і між мікроелементами. Часто у ґрунтах спостерігається дисбаланс у співвідношенні поживних речовин.

Особливо актуальними є дослідження поживного режиму ґрунту в умовах зрошення, оскільки зволоження впливає на рухомість та розподіл елементів живлення, підвищуючи їх міграційну здатність та просторову неоднорідність розподілу [13]. Так, дослідженнями встановлено, що за краплинного зрошення розподіл вмісту N-NO₃ та N-NH₄ практично повторював закономірність розподілу вологи в ґрунті. Максимальною кількістю поживних речовин була в зоні водовипуску, а потім відмічалася тенденція до зниження їх концентрації зі зростанням латеральної віддаленості, оскільки рухомість поживних речовин зумовлюється рухом вологи [14].

Спосіб зрошення зумовлює ступінь однорідності розподілу вологи у ґрунті, фізико-хімічні властивості ґрунту, перетворення азотних добрив та динаміку випаровування аміаку [15–17]. Встановлено, що в цілому внесення добрив за краплинного зрошення призводить до мінімуму вилугування азоту та втрати аміаку [15].

Дослідженнями R. [Zhang](#) et al. [18] встановлено, що зрошення та внесення азоту, а також їх взаємодія достовірно вплинули на загальний вміст у ґрунті азоту, доступного

фосфору, калію та нітратного азоту. Збільшення частки органічних добрив, порівняно з мінеральними, призводило до поступового зниження накопичення летючого аміаку і підвищення врожайності та якості томатів [19].

Виявлено [20], що у деяких ґрунтах, які мали низький вміст фосфору, особливо наприкінці посушливого періоду, за зрошення його концентрація збільшувалася. Saad A. et al. [21] дослідили, що дефіцитне зрошення (50 % від зрошувальної норми) призвело до зниження врожайності вирощуваних культур та вплинуло на вміст поживних речовин у продукції. Було проведено експеримент зі зрошенням 100 % поливної норми, 75 і 50 %. Ефективність зрошувальних заходів та якість продукції знижувалась разом зі зниженням поливної норми. Регулювання вмісту азоту, фосфору та калію в рослинах має велике значення для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур [22]. Застосування зрошення та добрив мало позитивний вплив на накопичення N, P і K в сільськогосподарських культурах [23].

Інтенсивне землеробство, застосування високоврожайних сортів і макроелементних добрив є чинниками підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Але збільшення потреби культур у поживних речовинах призводить до зростання виносу як макро-, так і мікроелементів [10]. Для отримання сталих врожаїв сільськогосподарських культур забезпеченість ґрунту поживними речовинами має бути збалансованою.

Провідне значення для забезпечення оптимального режиму живлення рослин має сівозміна та система удобрення в сівозміні [24, 25]. Дослідженнями встановлено [26], що за орґано-мінеральної системи удобрення у ґрунті накопичується велика кількість поживних речовин в обмінних та водорозчинних формах, краще зберігається ґрунтова волога, що створює умови стабільного режиму мінерального живлення рослин. За даної системи удобрення буряку у польовій сівозміні у чорноземі опідзоленому накопичувалося більше мінеральних сполук азоту й рухомих сполук фосфору [27].

Для визначення стану рослинності, який є індикатором забезпеченості рослин поживними речовинами і вологою, застосовують також дистанційні методи моніторингу з використанням спектральних індексів, наприклад, NDVI, NDMI та ін., які є числовими показниками якості рослин на ділянці поля.

Отже, важливим напрямом є моніторингові дослідження просторового розподілу показників поживного режиму за зрошення та різних систем удобрення овочевих культур з метою оптимізації стану ґрунту та збереження його родючості.

Метою статті є висвітлення результатів дослідження впливу зрошення та різних систем удобрення на характеристики поживного режиму чорнозему типового як індикатор його якості.

2. Об'єкти та методи досліджень

Дослідження проводили у тривалому стаціонарному польовому досліді у межах виробничого поля Інституту овочівництва і баштанництва НААН у Харківському районі Харківської області. Географічні координати – 49°45'58.00" пн.ш., 36°01'31.30" сх.д.

Стаціонар було закладено у 1967 році в 4-пільній овочевій сівозміні (огірок, томат, капуста, картопля), а після четвертої ротації його було реконструйовано і до сівозміни 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.

Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем типовий важкосуглинковий (Chernic Phaeozem) з умістом фізичної глини (< 0,01 мм) у шарі 0–30 см від 50 до 57 %.

Ділянка зрошується прісною водою із річки Мжа. Впродовж останніх років для овочевих культур застосовують краплинний спосіб зрошення. У 2022 році дослідження проводили за вирощування буряку столового сорту «Бордо Харківський», у 2023 — ячменю з підсівом багаторічних трав (люцерни). За даними Інституту овочівництва і баштанництва НААН, у 2022 році було проведено два поливи буряку столового краплинним способом, зрошувальна норма становила 180 м³/га. Схемою досліді передбачено полив лише овочевих культур, ячмінь вирощували в богарних умовах. Технологія вирощування культур у досліді загальноприйнята для зони Лісостепу України.

Загальна площа дослідної ділянки — 58,3 м² (8,33×7,0 м), облікова — 36,4 м² (5,6×6,5 м); повторність — 4-разова; розміщення ділянок — систематичне у два яруси.

Схема досліді загалом включала 12 варіантів, але ми проводили дослідження на 8 ключових варіантах з різними системами удобрення (Табл. 1).

Таблиця 1
Схема дослідів (2022 і 2023 рр.)

Варі-ант	Система удобрення	Мінеральні добрива	Гній ¹ (післядія)	Мікробні препарати; мікродобрива	Спосіб; доза; строк внесення
Буряк столовий (2022 р.)					
1	Без добрив	—	—	—	—
2	Сидеральна	—	—	Азотофіт	обробка насіння; 1 л/т
				Фосфогумін	в рядки; 8 кг/га; з посівом
				Органік баланс	позакореневе; 2 л/га; 3 строки
3	Орґано-мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	14 т/га	—	—
4	Органічна	—	21 т/га	—	—
5	Мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	—	—	—
6	Органічна	—	14 т/га	—	—
9	Інтенсивна	N ₃₉₀ P ₁₀₀ K ₂₁₀	—	Нутрівант плюс універсальний	2 кг/га; 3 строки
12	Біологічна	—	9 т/га + сидерати	Азотофіт	обробка насіння; 1 л/т
				Фосфогумін	в рядки; 8 кг/га; з посівом
				Органік баланс	позакореневе, 2 л/га; 3 строки
Ячмінь з підсівом люцерни (2023 р.)					
1	Без добрив	—	—	—	—
2	Сидеральна	—	—	Органік баланс	обробка насіння, 1 л/т
3	Орґано-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 сівозміної площі

¹ На 1 га сівозмінної площі

Для характеристики поживного режиму проби ґрунту відбирали два рази — навесні (до посіву культур) та наприкінці вегетаційного періоду (перед збиранням врожаю). З кожного варіанту відбирали по п'ять індивідуальних проб з двох шарів (0-30 і 30-50 см).

У пробах ґрунту визначали: загальний вміст гумусу згідно з ДСТУ 4289; вміст нітратного та амонійного азоту — за ДСТУ 4729; вміст рухомих сполук фосфору й калію — за методом Чирикова за ДСТУ 4115; реакцію ґрунтового середовища (рН водний) — за ДСТУ 8346.

Впродовж поливного періоду відбирали проби зрошувальної води та визначали сольовий склад згідно з ДСТУ 7908:2015, ДСТУ 7909:2015, ДСТУ 7944:2015, ДСТУ 7945:2015, ДСТУ 7943:2015 і вміст важких металів згідно з [29].

Для моніторингу й діагностики стану ґрунту за станом рослинності було використано спектральні індекси — нормований індекс відмінностей рослинності (NDVI) та нормований індекс відмінностей зволоженості (NDMI), які обраховуються за даними багатоспектрального космічного сканування. Для аналізування було обрано супутникові знімки Sentinel-2 L2A для досліджуваної території за вегетаційні періоди 2022 та 2023 року.

Результати експериментів обробляли з використанням методів математичної статистики (кореляційно-регресійний аналіз) за допомогою програм Statistica та Microsoft Excel.

3. Метеорологічні умови у період досліджень

Клімат Харківської області характеризується як помірно континентальний. На рис. 1 наведено дані багаторічної динаміки середньої температури повітря впродовж вегетаційного періоду та кількості опадів за вегетаційний період, а також багаторічні дані за цими показниками (за період 2010-2023 рр.).

Слід зазначити, що 2022 і 2023 роки були посушливими, кількість опадів за вегетаційний період становила відповідно 235,1 і 317,2 мм, що нижче середнього багаторічного значення. Середня температура впродовж вегетаційних періодів відповідно у ці роки становила 20,9 та 19,1°С, що вище середнього багаторічного значення. Посушливість клімату впливає на значення показників поживного режиму ґрунту,

розчинність, рухомість та доступність поживних речовин для рослин, що визначає розвиток рослин, формування врожаю та якості продукції. Тому для отримання сталих врожаїв овочевих культур за посушливих умов вегетаційного періоду одним із ефективних заходів є зрошення.

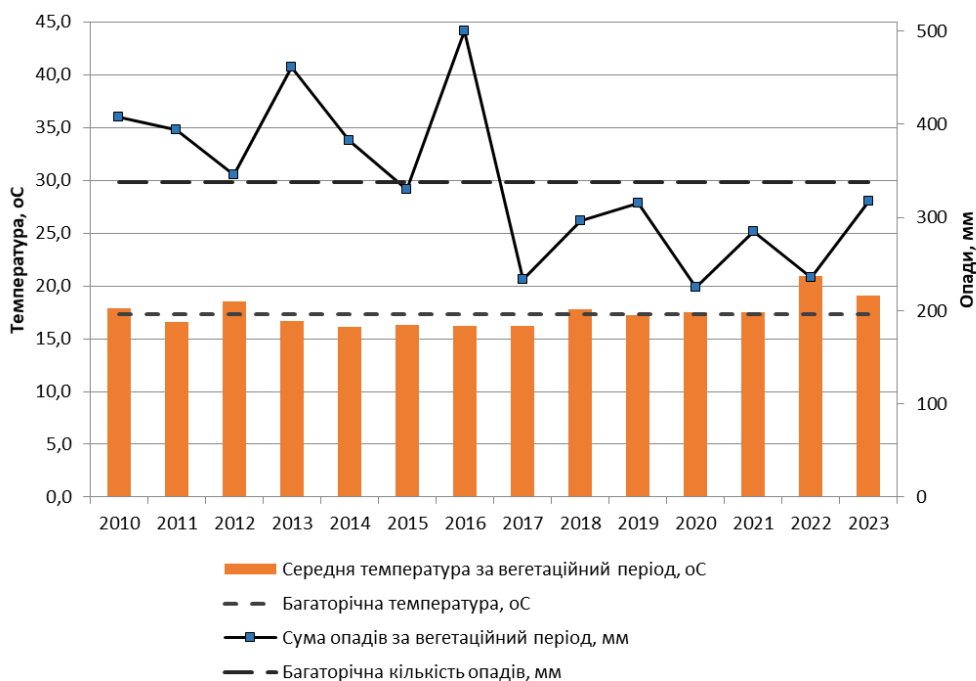


Рис. 1. Багаторічна динаміка середніх значень температури та опадів у Харківській області за вегетаційний період [29]

4. Результати досліджень

4.1. Якість зрошувальної води

Результати хімічного аналізу зразків зрошувальної води, відібраних впродовж поливного періоду (Табл. 2), дозволяють оцінити її, за вмістом солей, як прісну з мінералізацією 0,64 г/дм³, за реакцією — як лужну з рН водним 8,2. За агрономічними критеріями, згідно з ДСТУ 2730, поливну воду оцінено як придатну для зрошення. За екологічними критеріями, згідно з ДСТУ 7286, воду також оцінено як придатну для зрошення. Вміст важких металів у зрошувальній воді наведено у таблиці 3.

Таблиця 2

Хімічний склад зрошувальної води (усереднені дані за 2022-2023 рр.)

Вміст солей, г/дм ³	рН	Вміст іонів, ммоль/дм ³							
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0,64	8,2	0,2	6,30	1,63	1,14	3,61	2,68	2,83	0,15

Таблиця 3

Вміст важких металів у зрошувальній воді (усереднені дані за 2022-2023 рр.)

Вміст важких металів, г/дм ³								
Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Cr
0,0009	0,003	0,007	0,05	0,005	0,003	0,003	0,001	0,004

4.2. Спектральні індекси — NDVI та NDMI

З використанням багатоспектральних космічних знімків для оцінювання поточного стану ґрунту, зокрема насиченості поживними речовинами та зволоженості, що безпосередньо зумовлює певний стан сільськогосподарських рослин, було застосовано спектральні індекси — Нормований індекс відмінностей рослинності NDVI (Normalized

difference vegetation index) та Нормований індекс відмінностей зволоженості *NDMI* (Normalized difference Moisture Index). Для розрахунку індексів було обрано супутникові знімки Sentinel-2 L2A. Проаналізовано знімки та мінливість значень даних впродовж вегетаційних періодів розвитку сільськогосподарських культур у 2022 та 2023 роках.

NDVI — це числовий показник якості та кількості рослинності на ділянці поля. Аналіз значень оптичних характеристик дозволяє оцінити густоту стояння рослин та розвиток активної біомаси, які, на наш погляд, можуть бути індикаторами забезпеченості рослин доступними поживними речовинами, що зумовлює розвиток зеленої фітомаси та визначає рівень врожайності вирощуваної культури.

За даними супутникових знімків 2022 року побудовано графік варіабельності значень вегетаційного індексу NDVI з квітня до жовтня за вирощування буряка столового (Рис. 2). У квітні, коли ґрунт ще не був вкритим рослинністю, значення NDVI були мінімальними (0,25). Найвищі значення (0,72–0,75) та, відповідно, найкращий стан рослин буряка столового і найбільшу густоту стояння було зафіксовано у серпні 2022 р. Саме період активного розвитку вегетуючих рослин відображається на знімках у вигляді насиченого зеленого кольору. Починаючи з вересня, значення показника знижувалися, а кількість зеленої маси зменшувалася, що пов'язано з фізіологією рослин та зменшенням накопичення хлорофілу у листі.

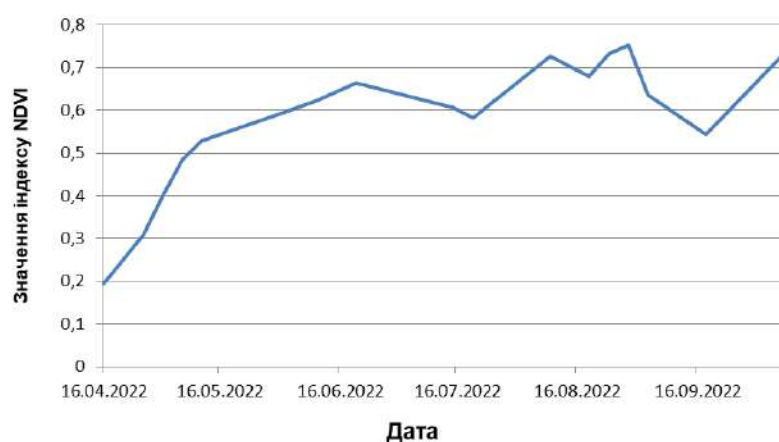


Рис. 2. Динаміка значень NDVI впродовж вегетаційного періоду в посівах буряку столового

У 2023 році вирощуваною культурою був ячмінь з підсівом багаторічних трав. У травні рослини добре розвивалися за наявності вологи у ґрунті та поживних речовин, значення NDVI впродовж місяця зросли з 0,48 до 0,69 (Рис. 3). Найбільша густота рослин та формування зеленої фітомаси було у червні, а значення вегетаційного індексу відповідно становили 0,76–0,77. У липні, після скошування ячменю та трав, зменшилося покриття ґрунту рослинністю, а з кінця серпня густота рослин внаслідок відростання зеленої маси багаторічних трав збільшилася, тому індекс NDVI зріс до 0,73, що характеризувало стан рослинності як дуже добрий. Починаючи з вересня, внаслідок посушливості та зменшення накопичення зеленої маси, відмічалася тенденція поступового зниження значень вегетаційного індексу, і у жовтні вони становили 0,53–0,36.

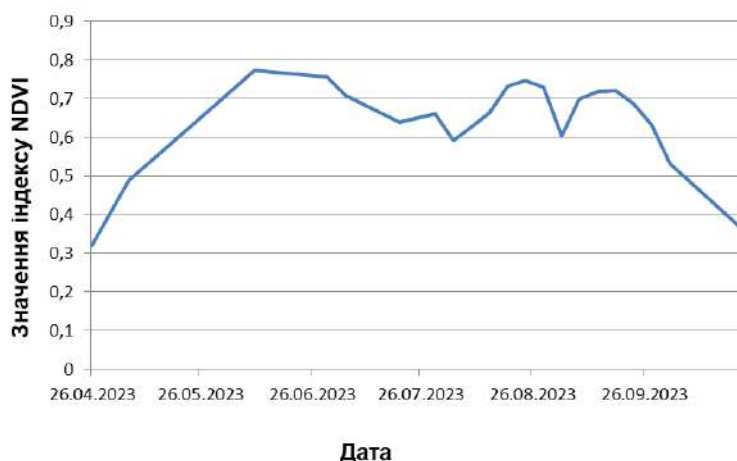


Рис. 3. Динаміка значень NDVI упродовж вегетаційного періоду в посівах ячменю з підсівом багаторічних трав

NDMI — спектральний показник, який використовується для оцінювання вмісту вологи в ґрунті та листях рослин. За його значеннями, наприклад, можливо зафіксувати водний стрес рослин. Розподіл значень NDMI упродовж вегетаційного періоду буряку столового у 2022 р. наведено на рисунку 4. У квітні–травні значення індексу були мінімальними, що свідчить про низьку густоту рослинного покриття та наявність водного стресу. З червня до липня, паралельно з розвитком рослин, величина NDMI підвищується та у липні досягає максимального значення 0,47, що характеризує густоту рослин як високу та вказує на відсутність водного стресу. Впродовж серпня–вересня значення даного показника становили 0,30–0,43, що свідчить про середню густоту стояння рослин та відсутність стресу внаслідок застосування зрошення та випадіння опадів (у вересні). Починаючи з початку жовтня, величина NDMI різко зменшилася, що пов'язано зі збиранням врожаю.

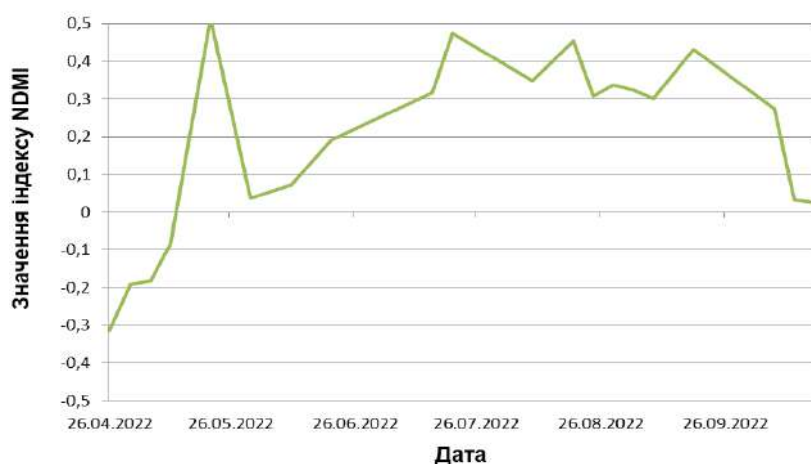


Рис. 4. Динаміка значень NDMI упродовж вегетаційного періоду в посівах буряку столового

Розподіл значень показника NDMI впродовж вегетаційного періоду ячменю з підсівом багаторічних трав у 2023 р. наведено на рисунку 5. Помітно, що вони були дещо нижчими, ніж у попередньому році. Це пов'язано з нижчим умістом вологи, оскільки вирощувана культура — ячмінь з підсівом люцерни, не поливалася, а умови вегетаційного періоду були посушливими. У квітні–травні значення індексу були мінімальними, що свідчить про низьку густоту стояння рослин. У червні значення NDMI були максимальними і становили 0,31, що пов'язано з більш високими значеннями вологості і найбільшим розвитком зеленої маси. Починаючи з липня і до серпня індекс вологості мав тенденцію до зниження, оскільки після збирання урожаю ячменю та скошування люцерни рослинний покрив був розрідженим. На початку вересня значення показника дещо підвищилися, а потім відмічається різке зниження, що пов'язано з посушливістю погоди та низькою вологістю ґрунту.

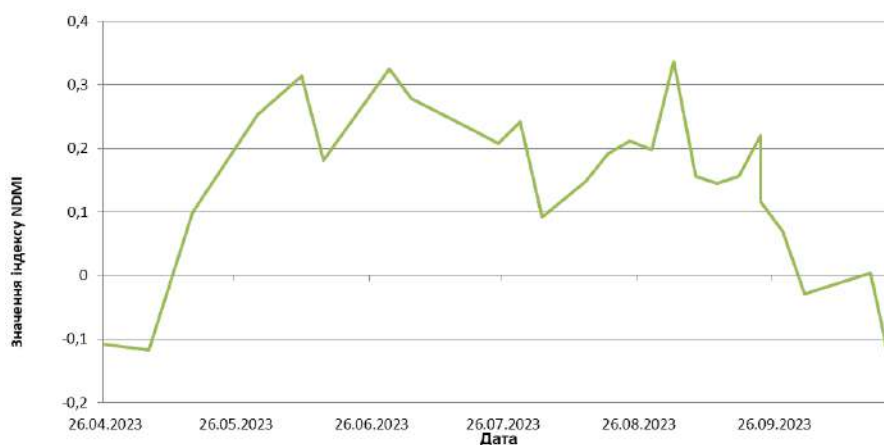


Рис. 5. Динаміка значень NDMI упродовж вегетаційного періоду в посівах ячменю з підсівом багаторічних трав

Вологість ґрунту крім дистанційних методів визначали також прямим вимірюванням (термостатно-ваговим методом) 15 травня та 15 вересня у 2023 році. Значення показника NDMI порівняли з даними вмісту вологи у ґрунті. У шарі 0–10 см 15 травня 2023 р. вміст вологи становив в середньому 20 % а значення індексу NDMI — 0,1. Восени (15 вересня 2023 р.) ґрунт містив у середньому 25 % вологи, а індекс NDMI — 0,14.

Використання індексів NDMI та NDVI надає можливість оцінити стан рослинності, забезпеченість рослин поживними речовинами та вологою з метою оптимізації сільськогосподарського виробництва, оскільки рослинність є індикатором стану ґрунту.

4.3. Вміст рухомих сполук азоту, фосфору і калію та інші характеристики родючості ґрунту

Чорнозем типовий, на якому розміщено стаціонарний польовий дослід, на час проведення досліджень характеризувався нейтральною реакцією ґрунтового середовища: значення рН водного в шарі 0–30 см на варіантах досліді варіювали у діапазоні 7,1–7,4, а в шарі 30–50 см — 7,0–7,2. За тривалого зрошення (впродовж 55 років) гідрокарбонатною водою відбулося підвищення значень рН порівняно з вихідними даними до початку зрошення ґрунту. Реакція ґрунтового середовища має значний вплив на мінеральне живлення рослин.

Вміст органічного вуглецю у ґрунті контрольного (без добрив) варіанту становив 2,16 % ($\pm 0,02$ %). На варіантах із тривалим застосуванням систем удобрення вміст його був достовірно вищим і коливався від 2,25 до 2,44 % (відповідно 3,9 та 4,2 % гумусу). Гумус є енергетичною основою біологічних процесів і має властивості фізіологічно активних речовин, що регулюють процеси росту і живлення рослин.

Поживний режим ґрунту визначається вмістом доступних для рослин сполук макро- та мікроелементів. **Азот** є одним із важливих елементів живлення, необхідних для оптимального розвитку рослин. Він впливає на ріст рослин, формування фітомаси та врожаю; входить до складу білків, ферментів, є компонентом хлорофілу; відіграє важливу роль у біохімічних процесах. При проведенні досліджень визначали вміст у ґрунті нітратного та амонійного азоту. Нітратний азот є дуже рухливим, динамічним, здатним мігрувати у нижні горизонти ґрунту та підґрунтові води. У зрошуваному ґрунті мобільність його підвищується.

Визначення вмісту нітратного азоту у ґрунті різних варіантів досліді показало варіабельність його значень і сезонну динаміку. У межах цієї статті ми представляємо результати вимірювань тільки наприкінці вегетаційного періоду 2022 року, тобто за дії зрошення (Рис. 6). Коефіцієнт варіації вмісту $N-NO_3$ у ґрунті різних варіантів досліді становив 0,6. Вміст нітратного азоту оцінювався, переважно, як низький, але між варіантами є істотна різниця: вміст нітратного азоту варіював в орному шарі ґрунту від 2,35 (контроль) до 17,29 мг/кг. Найбільш високим вміст нітратного азоту був на варіанті 9 з інтенсивною системою удобрення та внесенням у ґрунт N_{390} і у шарах ґрунту 0–30 та 30–50 см відповідно становив 17,29 і 16,27 мг/кг.

Вміст амонійного азоту у ґрунті варіантів з різними системами удобрення також достовірно відрізнявся (Рис. 7). При цьому аналогічно розподілу нітратного азоту максимальними його значення були на варіанті 9 з високою дозою внесення азоту. Навіть за вирощування буряку столового та виносу азоту з урожаєм вміст його у ґрунті наприкінці вегетаційного періоду залишався високим.

Важливим показником є вміст мінерального азоту у ґрунті (Рис. 8). Насиченість ґрунту мінеральним азотом, згідно з ДСТУ 4362, лише на контролі та варіанті 2 з сидеральною системою удобрення є дуже низькою.

Ступінь забезпеченості рослин мінеральним азотом ґрунту на варіантах з органічною, органо-мінеральною та біологічною системами удобрення класифікувався як низький, за винятком варіанту з інтенсивною системою удобрення (високий). Порівняно з контролем вміст мінерального азоту на варіантах досліді з удобренням підвищився на 3,32–23,24 мг/кг.

Важлива роль у живленні рослин належить **фосфору**, який бере активну участь у таких важливих процесах, що відбуваються в рослинах, як синтез вуглеводів, білків і жирів та фотосинтез. Він впливає на формування кореневої системи, сприяє стимуляції росту та цвітіння. Дослідженнями [30] встановлено, що достатня насиченість ґрунту фосфором сприяє прискореному розвитку рослин та оптимальному поглиненню поживних речовин і формуванню високих урожаїв.

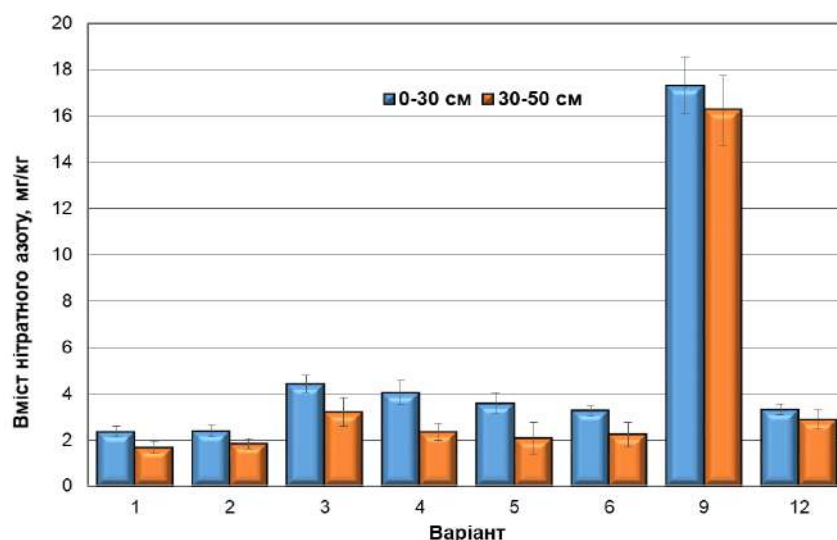


Рис. 6. Вміст нітратного азоту у ґрунті варіантів дослідів (2022 р.)

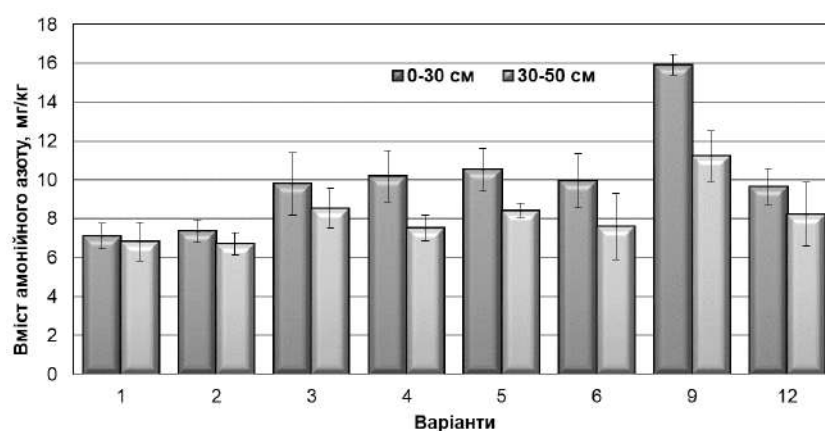


Рис. 7. Вміст амонійного азоту у ґрунті варіантів дослідів (2022 р.)

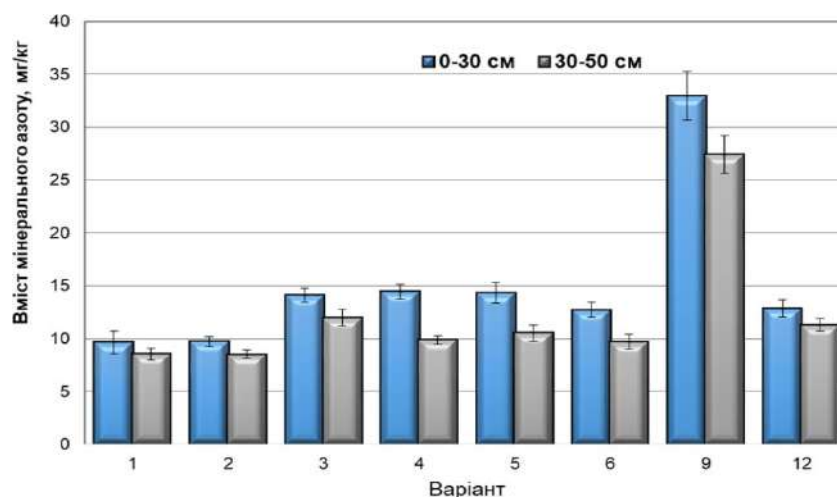


Рис. 8. Вміст мінерального азоту у ґрунті варіантів дослідів (2022 р.)

Аналіз результатів досліджень свідчить, що вміст рухомих сполук цього макроелементу характеризувався варіабельністю, і різниця між різними варіантами дослідів була істотною. Визначено позитивний вплив різних систем удобрення на вміст рухомих сполук фосфору у чорноземі типовому (Рис. 9). Мінімальними значення показника були на контрольному варіанті без застосування добрив і становили відповідно 186,69 мг/кг (шар 0–30 см) та 113,41 мг/кг (шар 30–50 см), що відповідає високому вмісту. На варіантах дослідів з різними системами удобрення вміст рухомих сполук фосфору коливався від 312,76 до 424,70 мг/кг у шарі 0–30 см та від 200,03 до 283,65 мг/кг у шарі

30–50 см, що відповідає дуже високому рівню. Найвищий вміст рухомих сполук фосфору в чорноземі типовому забезпечувало поєднане внесення органічних і мінеральних добрив у сівозміні.

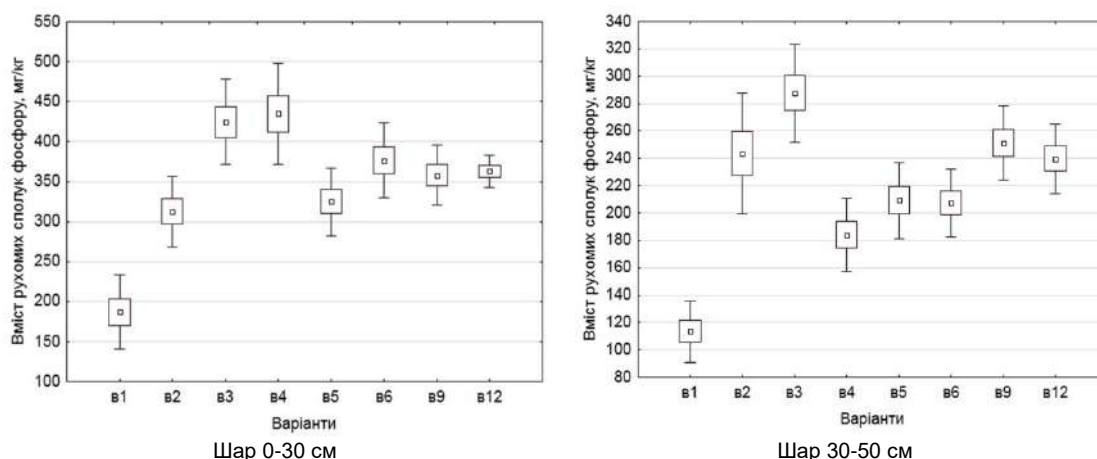


Рис. 9. Вміст рухомих сполук фосфору у ґрунті варіантів дослідів (2022 р.)

Калій як макроелемент також відіграє важливу роль у розвитку рослин та формуванні врожаю — покращує розвиток кореневої системи, регулює водний режим, підвищує стійкість рослин до посух, шкідників і хвороб. Результати досліджень свідчать, що всі системи удобрення, що вивчалися у досліді, сприяли підвищенню вмісту рухомих сполук калію (Рис. 10).

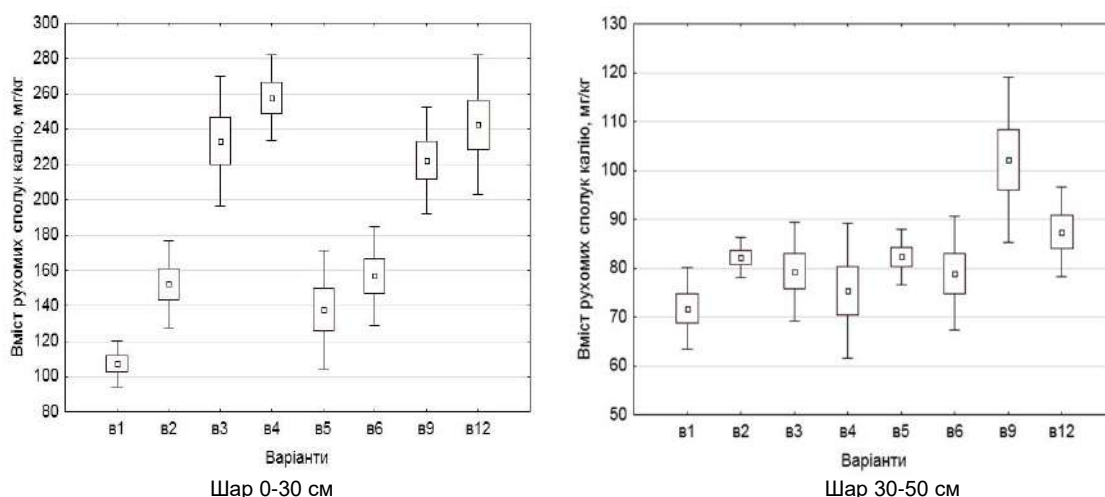


Рис. 10. Вміст рухомих сполук калію у ґрунті варіантів дослідів (2022 р.)

Рівень забезпеченості ґрунту калієм на контрольному варіанті характеризувався як підвищений з середніми значеннями вмісту відповідно 107,25 (шар 0–30 см) та 83,74 мг/кг (30–50 см). На варіантах із сидеральною, органічною, органо-мінеральною, мінеральною та біологічною системами удобрення вміст рухомих сполук калію у шарі 0–30 см варіював від 137,97 до 259,80 мг/кг. Найбільш високий вміст його зафіксовано на варіанті з максимальною дозою гною.

Поліпшення поживного режиму чорнозему типового за тривалого застосування органічних, мінеральних добрив, мікроелементів, сидеральної та біологічної системи в овочево-кормовій сівозміні позитивно впливало на ріст і розвиток рослин та формування врожаю буряку столового. За даними Інституту овочівництва і баштанництва НААН (2022 р.), на всіх варіантах дослідів врожай був достовірно вищим, ніж на контролі (без добрив). Найвищий рівень врожайності серед досліджуваних нами варіантів забезпечувала органо-мінеральна система удобрення (варіант 3) з приростом врожаю на рівні 37 т/га (порівняно з контролем без добрив).

4. Висновки

За результатами досліджень на чорноземі типовому Лівобережного Лісостепу встановлено, що застосування органічної, мінеральної, органо-мінеральної, сидеральної та біологічної систем удобрення за краплинного зрошення придатною водою різною мірою сприяло підвищенню насиченості ґрунту мінеральним азотом і рухомими сполуками фосфору та калію. Покращення поживного режиму ґрунту забезпечило підвищення врожайності буряку столового (за даними Інституту овочівництва і баштанництва НААН), при цьому найвищу прибавку отримано на варіанті з внесенням гною (14 т/га сівозмінної площі) + $N_{60}P_{60}K_{120}$.

Встановлено, що тривале застосування різних систем удобрення сприяло підвищенню вмісту органічного вуглецю порівняно з контрольним варіантом. За тривалого зрошення (впродовж 55 років) гідрокарбонатною водою відбулося підвищення значень рН водного ґрунтового розчину порівняно з вихідними даними до початку зрошення ґрунту.

Окрім польового методу для оцінювання стану ґрунту застосовано також дистанційні методи з використанням спектральних індексів NDMI та NDVI, які, за станом рослинності, надають змогу оцінити вплив ґрунтових та кліматичних чинників на розвиток рослин впродовж вегетаційного періоду.

На підставі аналізування кліматичних умов регіону досліджень доведено необхідність застосування зрошення для вирощування овочевих культур в умовах посушливості клімату, посилення доступності поживних речовин для рослин з метою отримання сталих врожаїв.

Список використаних джерел

1. Mackic K., Bajic I., Pejic B., Vljajic S., Adamovic B., Popov O., Simic D. Yield and Water Use Efficiency of Drip Irrigation of Pepper. *Water*. 2023. 15(16). 2891. <https://doi.org/10.3390/w15162891>
2. Mishra S., Kumar R., Kumar M. Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes – Environmental, health, and economic impacts. *Total Environment Research Themes*. 2023. 6. 100051. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100051>
3. Yang P., Wu L., Cheng M., Fan J., Li S., Wang H., Qian L. Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. *Water*. 2023. 15(9). <https://doi.org/10.3390/w15091733>
4. Singh A., Kumar S., Dhaloiya A., Kumar N., Mor A., Kumar A., Dhangar P., Dagar H. Soil water dynamics and yield response of broccoli (*Brassica oleracea*) under drip irrigation with different irrigation frequency. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2022. 92(12). P. 1447-1452. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i12.123503>
5. Воронинцева Л. І. Системний підхід до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. зб. Вип. 89. Харків: ННЦ ІГА. 2020. С. 41-50. doi: <https://doi.org/10.31073/acss89-05>
6. Європейський зелений курс. <https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobitnictvo/klimat-yeuropejska-zelena-ugoda>
7. Soil strategy for 2030. European commission. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land/soil-strategy_en#:~:text=the%20new%20eu%20soil%20strategy,halting%20desertification%20and%20land%20degradation.
8. The Status of the World's Soil Resources report. Rome, FAO 2015.
9. Hou Di Sustainable soil management for food security. *Soil Use and Management*. 2023. 39(1). P. 1-7. <https://doi.org/10.1111/sum.12883>
10. Dhaliwal S. S., Sharma V., Shukla A. K. Impact of micronutrients in mitigation of abiotic stresses in soils and plants - A progressive step toward crop security and nutritional quality. In L. S. Donald (ed.) *Advances in Agronomy*. 2022. Vol. 173. P. 1-78. <https://doi.org/10.3390/plants11192587>
11. Ansari S. A., Sittal T. Biofortification of food crops: an approach towards improving nutritional security in South Asia. *International Journal of Advances in Agricultural Science and Technology*. 2019. 6(12). P. 23-33. URL: <https://ijaast.com/2019.v6.i12pp.23-33>
12. Kihara J., Bolo P., Kinyua M., Rurinda J., Persson K. Micronutrient deficiencies in African soils and the human nutritional nexus: opportunities with staple crops. *Environmental Geochemistry and Health*. 2020. 42(9). P. 3015-3033. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00499-w>
13. Zhang F., Chen M., Jintao F., Zhang X., Li Y., Shao Y., Yingying X., Wang X. Coupling effects of irrigation amount and fertilization rate on yield, quality, water and fertilizer use efficiency of different potato varieties in Northwest China. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 287. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108446>
14. Mankotia S., Sharma J. C. Response of NPK fertilization and irrigation in nutrient and soil moisture distribution under high-density apple plantation in the NW Himalayan Region. *Communications In Soil Science and Plant Analysis*. 2023. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2262516>
15. Yao R., Li H., Zhu W., Yang J., Wang X., Yin C., Jing Y., Chen Q., Xie W. Biochar and potassium humate shift the migration, transformation and redistribution of urea-N in salt-affected soil under drip fertigation: Soil column and incubation experiments. *Irrigation Science*. 2021. Vol. 40. P. 267-282. [https://www.mdpi.com/2073-4441/15/20/3546 - B24-water-15-03546](https://www.mdpi.com/2073-4441/15/20/3546-B24-water-15-03546)
16. Yang J., Jiao Y., Yang W., Gu P., Bai S., Liu L., Yu J. Effects of sprinkler and furrow irrigation methods on NH_3 volatilization from agricultural soils. *China Environmental Science*. 2019. Vol. 39. P. 960-968.
17. Fan Y., Hao X., Ding R., Kang S. Soil water and nitrogen dynamics from interaction of irrigation and fertilization management practices in a greenhouse vegetable rotation. *Soil Science Society of America Journal*. 2020. Vol. 84. P. 901-913. <https://doi.org/10.1002/saj2.20048>

18. Zhang R., Nie L., Huang M., Yang H., Shi C., Wei Y., Song L., Zhu J., Bo H., Wang J., Nieet H. Effects of Irrigation and Nitrogen Application on Soil Nutrients in Triploid Populus tomentosa Stands. *Forests*. 2022. 13(7). <https://doi.org/10.3390/f13071046>
19. Tong L., Jiaxin C., Wei G., Yingjun S., Ping L. The influence of organic and inorganic fertilizer applications on nitrogen transformation and yield in greenhouse tomato cultivation with surface and drip irrigation techniques. *Water*. 2023. 15(20). <https://doi.org/10.3390/w15203546>
20. Yavitt J. B., Wieder R. K., Wright S. J. Soil nutrient dynamics in response to irrigation of a Panamanian tropical moist forest. *Biogeochemistry*. 1992. 19(1). P. 1-25. <https://doi.org/10.1007/BF00000572>
21. Saad A., Elhabbak A., Abbas M., Mohamed I., AbdelRahman M., Scopu A., Bassouny M. Can deficit irrigations be an optimum solution for increasing water productivity under arid conditions? A case study on wheat plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2023. 30(2). <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103537>
22. Li H., Yang X., Kang Y., Li W., Li H., Qin S. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium combined fertilization on the dry matter accumulation, distribution and yield of potato under ridge and furrow film mulch cropping. *Potato Research*. 2022. Vol. 66. P. 851-871. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09596-3>
23. Elrys A. S., El-Maati A., Abdel-Hamed M. F., Arnaout E. M., El-Tarabily S. M., Desoky K. A. Mitigate nitrate contamination in potato tubers and increase nitrogen recovery by combining dicyandiamide, moringa oil and zeolite with nitrogen fertilizer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 209. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111839>
24. Li A., Wu Y., Tai X., Cao S., Gao T. Effects of alfalfa crop rotation on soil nutrients and loss of soil and nutrients in semi-arid regions. *Sustainability*. 2023. 15(20). <https://doi.org/10.3390/su152015164>
25. Khan M. A., Shampa S. A., Hossain M. B. Change of Plant Nutrient Availability in Soils of Rice Root Zone and Root Free Areas under Different Fertilizer, Manure and Irrigation Management with Rice Cropping. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 2021. 19(1). P. 44-52. <https://doi.org/10.5455/JBAU.36895>
26. Іваніна В. В., Павук І. А., Мазур Г. М. Поживний режим чорнозему вилугуваного за різних систем удобрення буряків цукрових. *Вісник аграрної науки*. 2018. №4. С. 13–18.
27. Мартинюк А.Т. Поживний режим ґрунту і врожайність буряку цукрового після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 1. С. 42-46. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-1-42-46>
28. Методы определения микроэлементов в почвах, растениях и водах; под ред. И. Г. Важенина. Москва: Колос, 1974. 288 с.
29. Метеопост. Статистика погоди. Кліматичні дані за роками та місяцями. URL: <https://meteopost.com/weather/climate/>
30. Pedersen I. F., Christensen J. T., Sorensen P., Christensen B. T., Rubaek G. H. Early plant height: A defining factor for yields of silage maize with contrasting phosphorus supply. *Soil Use and Management*. 2022. 38(1). P. 537–548. <https://doi.org/10.1111/sum.12697>

UDC 631.4:631.37

Variability of nutrient regime characteristics in irrigated soil under different fertilization systems

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 article highlights the results of a research covering the influence of irrigation and different fertilization systems on the nutrient regime of typical heavy loam chernozem (Chernic Phaeozem) as an indicator of its quality. The research conducted in a long-term stationary field experiment of the Institute Of Vegetable And Melon NAAS (Kharkiv Region) under drip irrigation with suitable water. According to the analysis of meteorological conditions, during the growing season in the years of the study, the amount of precipitation was lower than the average long-term value, and the air temperature, on the contrary, was higher. The state of vegetation and soil on 8 variants with different fertilization systems under two crops of vegetable and fodder rotation was investigated. The content of nutrients, humus and pH in the soil at the end of the growing season of crops monitored. The dynamics of plant development analyzed using the NDVI and NDMI spectral indices for biomass and plant stand density indicators as indicators of soil nutrient and moisture availability. In 2022, for the cultivation of beets, the highest NDVI values (0.72–0.75) and, accordingly, the best state and density of vegetation recorded in August with the saturated green color of the growing plants. The maximum values of the moisture index (NDMI) (0.47) are in July, which characterizes the density of plants as high and no water stress. For the cultivation of barley with subsowing of perennial grasses in 2023, the highest plant density and formation of green phytomass recorded in June and at the end of August. NDMI values this year were lower than last year, indicating lower soil moisture due to lack of irrigation and dry conditions of the year. It found that during long-term irrigation with hydrocarbonate water, there was an increase in soil pH_{H2O} values compared to the initial data before the start of irrigation. However, the reaction of the soil environment in the 0–30 and 30–50 cm layers classified as neutral. On variants with different fertilization systems, the content of organic carbon in the soil was significantly higher than on the control, and ranged from 2.25 to 2.44 % (layer 0–30 cm). Under different fertilization systems, the content of mobile nutrient compounds was characterized by variability and higher values compared to the control. At the end of the growing season, the degree of saturation of the soil with mineral nitrogen in the variants of the experiment with organic, organo-mineral and biological fertilization systems was classified as low, with the exception of the variant with an intensive fertilization system (high). The content of mobile phosphorus compounds corresponded to a very high level, and the highest values were for the combined application of organic and mineral fertilizers in crop rotation; the potassium content mostly assessed as high and very high. The highest level of yield was fixated with organo-mineral fertilization system.

Keywords: soil; irrigation; nutrients; fertilization systems; spectral index.

Citing: 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. [doi:10.31073/acss95-03](https://doi.org/10.31073/acss95-03) [in Ukrainian].

МОНІТОРИНГ СТАНУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ MONITORING THE CONDITION OF SOIL COVER

УДК 631.471:631.481+528.854:528.855

Сучасні підходи до фонових моніторингу ґрунтового покриття за даними космічного сканування

Т. Ю. Биндич*, І. В. Плisko, О. І. Шерстюк, К. Ю. Романчук

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 24.11.2023 Отримано після доопрацювання 18.12.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.2023	Метою статті є оприлюднення практичної методології тематичної обробки даних супутникових знімків цілини як основи створення сучасної системи інформаційного забезпечення фонових моніторингу ґрунтів. Методичний підхід розроблено та опрацьовано за архівними даними супутника Landsat 8. Апробацію розроблених методичних підходів для фонових моніторингу проведено на прикладі ґрунтових досліджень на території заповідника «Михайлівська цілина», яка є єдиною збереженою ділянкою цілинно-лучного степу в Лісостеповій зоні України. Дослідження включали: статистичний аналіз та обробку різночасових космічних зображень цілинної ділянки, зокрема, розрахунок вегетаційного індексу NDVI та числову таксономію його кількісних значень за кластерним аналізом (метод ISODATA); аналіз архівних даних польового обстеження цієї території; геостатистичний аналіз просторової варіації показників ґрунту. Використання індексів рослинності, які отримані за різночасовими супутниковими знімками, представлено як непрямі показники для інтегрованої оцінки змін якості ґрунту та стану ґрунтового покриття. Порівняльний аналіз результатів дешифрування різночасових космічних зображень Михайлівської цілини проведено за інформаційною моделлю, що засновано на імовірнісній формалізації територіального поділу та описується за розрахунком кількох інформаційних показників складності. Аналіз цих показників свідчить про значне зниження складності просторової структури розподілу рослинності в період з 2014 по 2019 роки. Перевірку розробленого підходу проводили шляхом вибіркового визначення твердості ґрунту. Результати дисперсійного аналізу показали, що так звані контури «рослинності» на знімках, визначені на основі вегетаційного індексу NDVI, суттєво відрізняються за значеннями твердості ґрунту.
Ключові слова: багатоспектральне космічне сканування; ґрунтовий покрив; тематичне дешифрування; фоновий моніторинг; цілина	

* E-mail: tanyabyndych@gmail.com

Форма цитування: Биндич Т. Ю., Плisko І. В., Шерстюк О. І., Романчук К. Ю. Сучасні підходи до фонових моніторингу ґрунтового покриття за даними космічного сканування. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". С. 36-46. <https://doi.org/10.31073/acss95-04>

1. Вступ

Глобальні зміни клімату та інтенсифікація процесів деградації ґрунтів [1] актуалізують удосконалення методології та системи інформаційного забезпечення фонових (еталонного) моніторингу довкілля [2, 3] та, зокрема, ґрунтів [4]. Слід нагадати, що цей вид моніторингу є невід'ємною складовою глобальної системи моніторингу навколишнього середовища, але, на жаль, є слабо розвинутим у нашій країні, що в цілому, гальмує розвиток єдиної державної системи моніторингу довкілля. Важливо відзначити, що основним завданням фонових моніторингу ґрунтів є отримання даних про вхідну (початкову або нульову) оцінку властивостей ґрунтів, що аналогічно стану ґрунтового покриття (ГП) в природному середовищі, відомості про які використовуються й для встановлення напряму та інтенсивності антропогенної трансформації ґрунтів у межах сільськогосподарських угідь [5].

Аналіз світового досвіду розроблення та налагодження сучасних систем моніторингу довкілля свідчить не тільки про його спрямованість на створення та періодичне оновлення картографічних та аналітичних матеріалів про стан ґрунтів, але й про активне залучення високотехнологічних методів отримання, обробки та зберігання даних, які дозволяють реалізувати функціонування автоматизованих інформаційних систем для прогнозування змін ґрунтів та ГП залежно від виду та інтенсивності антропогенного впливу і використовуються для обґрунтування комплексу ґрунтозахисних заходів, що сприяє постійному вдосконаленню різноманітності використаних методів і підходів [5-8]. На 13-й зустрічі Сторін Конвенції ООН по

боротьбі з опустелюванням в Ордосі (Китай), представники різних країн наголосили на важливості залучення даних космічного сканування, як новітнього джерела об'єктивної інформації про стан земної поверхні, в існуючі системи моніторингу стану навколишнього середовища та екологічного управління земельними та ґрунтовими ресурсами [9]. Це обґрунтовано тим, що використання даних багатоспектрального космічного сканування (БСКС) високої роздільної здатності, які мають географічну відповідність, безперервність і регулярно оновлюються, в цілому, забезпечує дотримання високих вимог до точності та неупередженості здобутої у цифровому вигляді геопросторової інформації про національні ґрунтові ресурси.

Мета статті – висвітлення розробленого методичного підходу до використання даних БСКС як основи створення сучасної системи інформаційного забезпечення фонових моніторингу ґрунтів, що передбачає контурне дешифрування різночасових даних БСКС високого просторового розрізнення для заповідних ділянок та багаторічних перелогів для оцінювання змін у стані ГП з часом.

2. Об'єкти, матеріали і методи досліджень

Об'єкт досліджень – ГП у межах природоохоронних територій на прикладі заповідника «Михайлівська цілина» у Лісостепу. Предмет досліджень – оптичні характеристики природної рослинності, які дозволяють визначати стан ґрунтів на землях природоохоронного фонду. Для досягнення поставленої мети вирішувалися завдання, пов'язані з аналізуванням існуючих методичних підходів до проведення фонових моніторингу ґрунтів та ГП та опрацюванням розробленого методичного підходу.

Розробку методичного підходу для фонових моніторингу ґрунтів та його експериментальну перевірку проведено за даними БСКС земної поверхні, що відзняті в умовах розвитку природної рослинності в межах заповідника «Михайлівська цілина», який є єдиним збереженням в Україні осередком степової цілини з характерною лучно-степовою рослинністю та фауною, що розташований в одній з північно-східних фізико-географічних областей Лівобережно-Придніпровського краю Лісостепової зони України [10]. Цей район має переважно плоский широкохвилястий рельєф, річна кількість опадів на цій території становить від 450 до 550 мм, середньорічна температура повітря — від 6 до 7° С [11]. На ділянці заповідника, площею близько 50 га (Рис.1), зберігся різнотравно-типчаківий лучний степ з північними та південними видами степових рослин, у розвитку яких добре виражені сезонні зміни [12]. У ГП заповідника домінують чорноземи типові середньосуглинкові на лесі, які приурочені до вододільних плато та слабоболотних схилів [13]. За результатами фундаментальних ґрунтознавчих досліджень, що проводились на цій заповідній ділянці упродовж всієї історії її існування, визначено, що для ґрунтів цієї території є характерними достатньо висока природна родючість, добра гумусованість, значні запаси поживних речовин, насиченість ґрунтового колоїдного комплексу обмінними основами і, особливо, кальцієм, що визначає нейтральну (або близьку до неї) реакцію ґрунтового розчину [14-16].

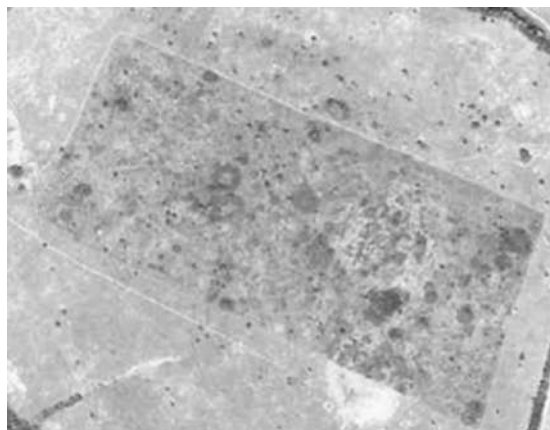


Рис.1. Космічне зображення території Михайлівської цілини

Методичний підхід розроблено та опрацьовано за архівними даними супутника Landsat 8 [17], що знаходяться у вільному доступі на сайті Геологічної Служби США [18]. Оскільки, як основний предмет спостережень, запропоновано розглядати оптичні характеристики природної рослинності, то підібрано зображення, що відзняті на початку вегетаційного періоду, а саме на початку травня у 2014 (дата зйомки 05.05.2014) та 2019 (дата зйомки 07.05.2019) роках.

Дослідження включали:

- статистичний аналіз та обробку різночасових космічних зображень цілинної ділянки, зокрема, розрахунок вегетаційного індексу NDVI [19] та числову таксономію його кількісних значень за кластерним аналізом (метод ISODATA [20]) з метою створення картосхеми розподілу природної рослинності за подібними оптичними характеристиками;
- аналіз архівних даних польового обстеження цієї території, проведеного разом співробітниками сектору дистанційного зондування та лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» в 2009 році;
- геостатистичний аналіз просторової варіації показників ґрунту, що здійснено за результатами аналітичних досліджень вибірових проб ґрунту;
- розробка та апробація методичного підходу для кількісного оцінювання та узагальнення співставлення різночасових картографічних матеріалів, що побудовано на основі даних БСКС природної рослинності заповідної ділянки, як сучасного підходу до фоновий моніторингу ґрунтів, заснованого на геоінформаційному принципі.

Під час досліджень використано дані відбору 48 ґрунтових проб, географічні координати точок відбору яких зареєстровані за допомогою GPS, за регулярною мережею (через кожні 100 метрів) та описи 2 ґрунтових розрізів для характеристики морфологічних особливостей ґрунтового профілю [21]. У польових умовах проведено вимірювання твердості ґрунту у трьох шарах (0–10, 10–20 і 20–30 см) — за ДСТУ 5096:2008¹⁶ (з використанням твердоміра Ревякіна) за випадковою мережею, зокрема в межах найбільших за площею класів контурів (3-й і 4-й), що встановлені за класифікацією оптичних характеристик рослинності за даними БСКС, відзнятих у 2014 році.

Під час досліджень використано методи геостатистичної обробки даних БСКС за допомогою геоінформаційних систем (ГІС) ENVI та TNT, а саме проведено: попередню обробку та трансформацію космічних зображень; розрахунок вегетаційного індексу NDVI [22]; загально статистичний аналіз та класифікування просторового розподілу значень NDVI, що отримано за даними БСКС у 2014 та 2019 роках.

3. Результати досліджень

3.1. Результати аналізу літературних відомостей.

На початковому етапі досліджень проаналізовано декілька існуючих способів фоновий моніторингу ґрунтів, які засновані на порівняльному аналізі параметрів ґрунтових властивостей в межах сільськогосподарських угідь, що визначено останнім часом, з певними характеристиками ґрунтів, які вважаються еталонними, природними або оптимальними та були встановлені для тих же ґрунтових властивостей на початкових етапах обстеження давньої розораної території.

Зокрема, проаналізовано загальновідомий спосіб фоновий моніторингу ґрунтів, який передбачає за вихідну оцінку об'єкту спостережень (еталону) використовувати показники ґрунтів на цілині або на заповідній ділянці, відносно якої проводяться порівняння даних, отриманих у рамках поточних визначень [5]. У разі неможливості отримання зазначеної оцінки через відсутність еталону, пропонується для цього використовувати дані початкового циклу спостережень. Наприклад, усі порівняння в агрохімічному обстеженні пропонується здійснювати з даними першого туру агрохімічної паспортизації земель, що розпочалася в

¹⁶ ДСТУ 5096:2008. Якість ґрунту. Визначання твердості ґрунту твердоміром Ревякіна [Чинний від 2009-03-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. - IV, 4 с.: (Національний стандарт України).

середині 60-х років XX сторіччя або використовувати дані, які визначені за результатами обстежень багаторічного перелогу, тобто, давно необроблюваних полів. Цей методичний підхід також передбачає за фонові у ґрунтово-агрохімічних та екологічних дослідженнях використовувати модальні фізичні, хімічні та біологічні характеристики ґрунтів, а також середній вміст елементів у породі (кларки) [22, 23]. В результаті аналізу такого підходу встановлено, що використання як інформаційної основи лише точкових даних аналітичних вимірювань ґрунтових властивостей не дозволяє їх ефективно застосовувати в сучасних системах моніторингу ґрунтів та довкілля, в яких превалює просторово-часовий аналіз інформації.

Також критично проаналізовано існуючий методичний підхід, який пропонує під час фонового моніторингу ґрунтів проводити співставлення реальних значень ґрунтових параметрів з оптимальними параметрами фізичних, фізико-хімічних (рН), агрохімічних (вміст гумусу та елементів живлення) властивостей ґрунтів для вирощування основних сільськогосподарських культур, які розглядаються як еталон [24]. При цьому, основна мета цього співставлення — у визначенні напрямку та інтенсивності трансформації ґрунтових процесів та режимів, що спричинено як глобальними змінами клімату, так й негативними наслідками господарчої діяльності людини. В результаті досліджень визначено, що своєрідним недоліком цього методичного підходу можна вважати недосконалість визначення значень еталонних параметрів для різних за генезисом ґрунтів та складність визначення або відсутність актуальної інформації щодо просторового аналізу змін властивостей ґрунтів.

На наш погляд, значний інтерес представляє спосіб фонового моніторингу ґрунтів на основі використання показників їх кислотно-основної буферності як важливих еталонних фізико-хімічних параметрів ґрунту [25]. Цей методичний підхід передбачає визначення у ґрунтових пробах, що наприклад, відібрані з дерново-підзолистого супіщаного ґрунту (шар 0-20 см, рілля та переліг), показників кислотно-основної буферності та їх оцінку. В результаті використання цього способу встановлено, що ступінь буферної ємності орних аналогів дерново-підзолистого ґрунту залежить від його гранулометричного складу та варіює в межах від 7,5 до 14,9 % у кислотному інтервалі та в межах від 39,3 до 51,3 % у лужному інтервалі, індекс кислотно-основної рівноваги змінюється від 0,19 до 0,29 [25]. Розробникам цього підходу вдалось довести, що ступінь буферної ємності аналогів дерново-підзолистого ґрунту на перелозі визначається його гранулометричним складом та варіює в межах від 8,9 до 18,6 % у кислотному інтервалі та в межах від 40,2 до 51,7 % у лужному, при цьому, індекс кислотно-основної рівноваги змінюється від 0,22 до 0,36. Оскільки у природних умовах кислотно-основна буферність залежить не тільки від твердої фази ґрунту, але й від кількісного та якісного складу «живої» фази ґрунту, від інтенсивності висхідних та низхідних потоків вологи, вмісту у ґрунтовому повітрі CO₂, то, згідно з думкою цих авторів, кислотно-основна буферність набуває ознак динамічного показника й, таким чином, характеризує здатність ґрунту не тільки протистояти змінам рН при додаванні кислоти або лугу, але й здатність відновлювати попередню величину рН у часі [25]. На наш погляд, реалізація цього способу на практиці ускладнена через використання багатьох еталонів, значний об'єм кошторисних лабораторних досліджень щодо визначення показників кислотно-основної буферності, а головне, отримання статистичної характеристики ґрунтової проби, яка також не має геоінформаційної складової, тобто, не враховує місцезнаходження її відбору. Це унеможлиблює здійснення просторово-часового аналізу інформації, який засновано на детальному урахуванні регіональних особливостей та просторових закономірностей змін стану земної поверхні та, зокрема, ГП за геоінформаційним принципом.

Найближчим, за технічною суттю, аналогом для розробки сучасного методу фонового моніторингу ГП є спосіб визначення ґрунтових комбінацій [26], який включає використання даних БСКС (у видимій та ближній інфрачервоній частині спектру) земної поверхні в умовах розвитку сільськогосподарської рослинності та передбачає обробку та класифікацію одержаних зображень за методом кластерного аналізу в ГІС. Отримані в такий спосіб картосхеми використовують для розробки систем опробування ґрунтів та здійснюють наземні дослідження з використанням приладів GPS для закладання ґрунтових розрізів та відбору ґрунтових проб, які відбирають в центрі виділу, поблизу його меж та з поверхневого шару. Співставлення картосхеми, яка побудована за подібною спектральною яскравістю сільськогосподарських рослин, з даними аналітичного дослідження проб ґрунту дозволяє

встановити розподіл ґрунтових комбінацій в межах сільськогосподарських угідь. Використання цього методичного підходу дозволяє одержати актуальні, а головне геопросторові дані, які й дозволяють визначати складність ҐП. Інтерпретація отриманих картосхем, побудованих за подібністю оптичних характеристик сільськогосподарської рослинності, передбачає встановлення особливостей просторового розподілу кластерних ареалів та визначення основних чинників їх створення шляхом співставлення, зокрема з цифровою моделлю рельєфу, що вказує на варіабельність значної кількості ґрунтових параметрів, які характеризують просторове змінювання низки ґрунтових процесів та режимів. Цікаво, що верифікація цього методичного підходу шляхом аналізування статистичних оцінок основних фізико-хімічних показників ґрунту — загального вмісту гумусу та вмісту гранулометричних фракцій фізичної глини ($< 0,01$ мм), дозволило встановити, що стан сільськогосподарської рослинності, який визначав її оптичні характеристики, виявився достатньо показовим для оконтурювання ґрунтових виділів або складових ҐП, які значимо відрізнялися за розглянутими показниками ґрунту [27]. У зв'язку з цим, цей методичний підхід запропоновано використовувати як експрес-метод визначення або аналізування складності ҐП території ще на підготовчому етапі проведення великомасштабних ґрунтових обстежень, що дозволяє обґрунтовано планувати та оптимізувати роботи на польовому етапі і досягти зниження собівартості їх проведення.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що недоліком цього методичного підходу є аналіз космічних зображень лише в межах сільськогосподарських угідь та в умовах вегетації однієї з видів сільськогосподарських рослин, що не дозволяє проводити різночасовий, просторовий аналіз їх стану періодично та отримувати достовірні дані саме для фонового моніторингу ґрунтів.

Таким чином, за результатами проведеного аналізу поставлено завдання — удосконалення способу використання даних БСКС для фонового моніторингу ҐП шляхом збільшення інформативності даних космічної зйомки в видимій та ближній інфрачервоній частинах спектра з використанням даних про оптичні характеристики природної рослинності під час її вегетації. Саме це надає можливість отримати більш достовірні дані для фонового моніторингу ґрунтів та ҐП, що необхідно для ухвалення своєчасних управлінських рішень щодо запобігання погіршенню їх якості.

Принципова можливість такого вдосконалення ґрунтується на класичному ландшафтно-індикаційному методі визначення ґрунту, який передбачає за зовнішніми компонентами ландшафту (зокрема, індикаторами природної рослинності) проводити визначення особливостей розташування та характеристики «прихованих» компонентів або об'єктів індикації (зокрема, ґрунту) [28]. У зв'язку з цим, чергування у просторі природних рослинних асоціацій та зміни у їх загальному стані з часом можна розглядати як критерії, які дозволяють опосередковано визначати змінювання цілої низки ґрунтових параметрів або режимів, які зумовлюють інтегровану властивість ґрунту — його родючість та можуть бути оцінені за даними космічного знімання. Таким чином, результати контурного дешифрування космічного зображення природної рослинності в межах перелогів або заповідних територій є важливою цифровою інформацією для визначення тенденцій та/або закономірностей змін просторової структури ҐП та розподілу окремих властивостей ґрунтів з часом, що слід використовувати, перш за все, для організації системи фонового моніторингу ґрунтів, а саме — для вирішення питань щодо обґрунтування об'єму та оптимізації польових обстежень, виносу точок відбору проб в натуру тощо.

3.2. Результати розробки методичного підходу.

На початковому етапі розробки вдосконаленого підходу здійснено загально-статистичний аналіз цифрової інформації як щодо прямих оптичних характеристик природної рослинності в межах заповідника «Михайлівська цілина», так і розрахованого на їх основі вегетаційного індексу NDVI. На думку авторів, числова таксономія кількісних значень зображення або групування їх похідних (вегетаційних індексів) у класи за подібними оптичними характеристиками (контури) дозволяє визначити особливості просторового

розподілу різних рослинних асоціацій. Тому на цьому етапі проведено загально-статистичний аналіз зображень для декількох, основних діапазонів сканування — третього, четвертого та п'ятого каналів, які відповідають зеленому, червоному та ближньому червоному діапазонам в інтервалі від 525 до 885 нм. Найбільш контрастними виявилися зображення у 3 та 4 каналах. За результатами статистичного аналізу зроблено висновок, що зображення містить п'ять, якісно різнорідних класів контурів, що в цілому, може відповідати кількості основних рослинних формацій, які визначено в межах лучного степу на території заповідника «Михайлівська цілина» за фундаментальними геоботанічними дослідженнями [29]:

1. *Cytiseta ruthenici* з асоціацією *Cytisus ruthenicus*, *Stipa capillata* + *Poa angustifolia* + різнотрав'я;
2. *Stipeta pennatae* з асоціацією *Stipa pennata* + *Poa angustifolia* + *Salvia pratensis*, *Fillipendula hexapetala*;
3. *Stipeta capillatae* з асоціацією *Stipa capillata* + *Festuca sulcata* + *Carex humilis* + *Salvia nutans*, *Fillipendula hexapetala*, *Carex nutans*;
4. *Helyctotrichoneta pubescentis*.
5. *Zerna riparia* Nevski та *Phlomis pungens* Willd.

На наступному етапі для космічних зображень, відзнятих у 2014 та 2019 роках, розраховано NDVI та здійснено класифікацію цих картограм за методом ISODATA кластерного аналізу за допомогою ГІС. Отримані в такий спосіб картографічні матеріали (Рис. 2), відображають розподіл контурів природної рослинності, що згруповані за подібністю оптичної яскравості рослин та значень NDVI.

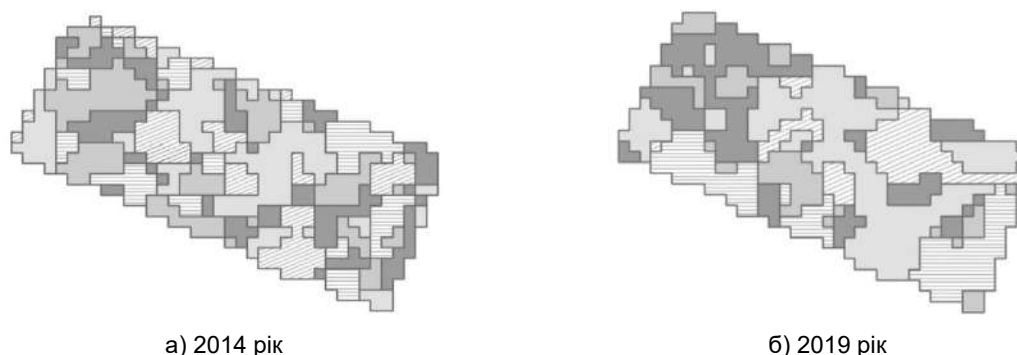


Рис. 2. Результати класифікування значень NDVI природної рослинності на ділянці заповідника «Михайлівська цілина» методом кластерного аналізу (за даними [29]).

З метою порівняльного аналізування результатів контурного дешифрування різночасових даних космічного сканування рослинного покриву Михайлівської цілини запропоновано використати кількісні показники інформаційного моделювання, що ґрунтуються на ймовірнісній формалізації територіальної диференціації або поділу території [30]. Слід нагадати, що на початковому етапі такого моделювання, визначаються площі кожного контуру та загальна площа для кожного з класів контурів (Табл. 1), які отримано за класифікацією різночасових картограм NDVI, а також розраховуються відношення площі кожного з класів контурів до загальної площі дослідної території, що становить 498 600 м².

На наступному етапі інформаційного моделювання результати територіального поділу формалізують ймовірностями складових у вигляді відношення площі кожного контуру та їх класів до загальної площі території, що передбачає оцінювання результатів за інформаційним показником різноманітності, який обчислюють за формулою 1, тобто, відомою формулою К. Шенона [31]:

$$H = -\sum p_i \log_2 p_i, \quad (1)$$

де H — показник різноманітності територіального поділу;
 p_i — ймовірність i -го елементу територіального розчленування.

Таблиця 1

Основні характеристики результатів контурного дешифрування космічних зображень ділянки заповідника «Михайлівська цілина»

Номер класу, символ на картосхемах (Рис. 1)	Загальна кількість контурів		Загальна площа контурів (в м ²)	
	2014 рік	2019 рік	2014 рік	2019 рік
1 	12	4	82800	94000
2 	14	13	120600	65050
3 	12	10	99000	114354
4 	13	6	118800	158696
5 	12	5	77400	66490

Таким чином, в результаті інформаційного моделювання визначено решту показників інформаційної моделі, які дозволяють деталізувати зміни територіального поділу досліджуваної ділянки заповідника «Михайлівська цілина» з часом. Зокрема, за площами кожного з побудованих виділів (S_i) встановлено значення ймовірності p_i , за яким знайдено табличне значення функції — $p_i \log_2 p_i$, а також визначено дійсний інформаційний показник складності. Також в результаті досліджень визначено показники невірноваженості (ΔH) та відносної невірноваженості (I), які дозволяють оцінити, наскільки складність територіальної диференціації залежить від числа елементів просторової структури та співвідношення їхніх площ [30].

4. Обговорення результатів

Співставлення кількісних показників інформаційної моделі поділу зображення ділянки заповідника «Михайлівська цілина», що отримано за результатами контурного дешифрування різночасових картограм NDVI, надає можливість оцінити зміни у стані рослинного покриву з часом.

Зокрема, аналіз показників інформаційної моделі показав суттєве зниження інформаційного показника складності просторової структури розподілу рослинності в межах заповідної території за роки з 2014 до 2019 відповідно з 5,26 до 3,99 одиниць. Крім того, у цей період також встановлено зростання значень показників невірноваженості (від 0,72 до 1,06) та відносної невірноваженості (від 0,12 до 0,21) територіального поділу «рослинних» контурів. Ці показники інформаційного моделювання дозволяють опосередковано визначити зміни у стані природної рослинності, спричинені зміною природних умов та, зокрема — ґрунтових режимів, що пов'язано з глобальними змінами клімату. Аналіз цих інформаційних показників дозволив встановити певні зміни у просторовому розподілі природної рослинності, що ймовірно може вказувати й на зменшення природного різноманіття цілинних територій, що безумовно обґрунтовує необхідність ретельного контролю стану заповідної ділянки та проведення наземних ґрунтових обстежень в її межах найближчим часом з метою прямого визначення змін ґрунтових властивостей в системі фонових моніторингу ґрунтів.

Показник складності в інформаційній моделі територіального поділу відображує зміни як числа складових частин, так й співвідношення їх площ, що також представляє кількісну експрес-оцінку зміни складу земного покриву у часі внаслідок кліматичних змін або антропогенної деградації у ґрунтах. Таким чином, використання запропонованого методичного підходу представляє доцільність тільки за умов застосування космічних зображень, відзнятих у подібних умовах стану земної поверхні, а також за однакових методів та налаштувань класифікації зображень, що забезпечує коректність їх порівняння.

Для інтерпретації результатів використання запропонованого підходу проаналізовано дані наземних обстежень ділянки заповідника «Михайлівська цілина» в 2009 році, що отримано за регулярною мережею відбору проб з поверхневого шару ґрунту (0-30 см). Шляхом геостатистичної обробки даних лабораторно-аналітичних досліджень відібраних проб ґрунту встановлено, що зміни просторового розподілу оптичних характеристик рослинності за період з 2014 до 2019 років не можуть бути спричинені за рахунок зрушення або значущої зміни основних, найбільш стабільних ґрунтових властивостей (гранулометричний склад,

загальний вміст гумусу та вміст поживних речовин тощо), за якими територія Михайлівської цілини має цілком однорідний ґП.

Зрозуміло, що в умовах дефіцитного фінансування наукових установ, сучасне геоботанічне та ґрунтове обстеження Михайлівської цілини, що дозволило би встановити причини такої зміни у просторовому розподілі рослинності шляхом прямого визначення як її характеристик, так і ґрунтових параметрів, є мало ймовірнісною подією.

У зв'язку з цим, як експрес метод оцінювання змін ґрунтових умов, які могли спричинити зміни у стані природної рослинності та, як слідство, зміни площі та розподілу «рослинних» контурів, під час досліджень використано дуже ємну та достатньо інформативну для ґрунтознавця характеристику — твердість ґрунту, яка знаходиться у функціональній залежності як від стабільних показників ґрунту (гранулометричного складу та структури ґрунту), так і від достатньо динамічних фізичних показників, які зумовлюються атмосферними умовами – щільності будови та вологості ґрунту [32]. Також важливо відзначити, що у випадку польових досліджень на землях заповідного фонду, визначення твердості ґрунту є особливо доречним у зв'язку з простотою проведення польових вимірювань, під час яких не здійснюється руйнування будови ґрунту. Крім того, цей показник є незамінним для оцінювання як умов проростання рослин, так і їх розвитку, в тому числі для оцінювання можливості кореневих волосків освоювати не тільки між-, але й внутрішньоагрегатний простір [32]. Показник твердості також характеризує як міцність грудочок ґрунту, так і якість їх складення, причому таку оцінку практично не можна отримати, використовуючи традиційний показник щільності будови ґрунту [33].

Таким чином, часткову верифікацію результатів використання розробленого методичного підходу та оцінювання його ефективності проведено шляхом вибіркового визначення твердості ґрунту в межах найбільших за площею ареалів — 3 та 4 класів (Рис. 2а), у шарах 0-10, 10-20 та 20-30 см за випадковою мережею точок вимірювання за допомогою твердоміра Ревякіна, у десятикратній повторності. Результати вимірювань, а також проведеного на їх основі дисперсійного аналізу даних представлено у таблиці 2.

Таблиця 2

Верифікація результатів контурного дешифрування зображення заповідної ділянки за результатами вимірювань твердості ґрунту для найбільших за площею класів контурів

Повторності	Твердість ґрунту (в кг/см ²) за окремими шарами ґрунту					
	0-10 см		10-20 см		20-30 см	
	Клас 3	Клас 4	Клас 3	Клас 4	Клас 3	Клас 4
1	5,1	7,2	13,1	15,2	17,4	18,4
2	4,9	7,0	12,6	16,1	16,9	18,9
3	5,3	6,7	13,5	15,5	18,3	17,9
4	5,0	6,6	13,3	16,4	17,0	18,5
5	5,3	7,4	12,8	16,3	17,8	18,7
6	5,0	7,3	13,4	15,8	17,7	19,1
7	5,2	6,9	13,0	16,0	18,0	19,0
8	5,9	7,0	12,5	15,6	17,8	19,2
9	4,7	7,2	13,0	16,0	18,0	20,0
10	5,1	6,8	13,0	15,0	18,0	18,3
<i>Результати дисперсійного аналізу даних</i>						
Середнє	5,15	7,00	13,03	15,74	17,66	18,78
F табличне			5,12			
F фактичне	184,39		213,27		22,11	
Критерій Стюдента			2,26			
t 0,05						
HCP 0,05	0,30		0,40		0,50	
Помилка HCP	0,14		0,19		0,23	

Результати дисперсійного аналізу показали, що визначені на основі вегетаційного індексу NDVI «рослинні» контури третього та четвертого класів є значимо відмінними за значеннями твердості ґрунту у всіх досліджених шарах. Ці результати дозволяють рекомендувати твердість ґрунту як показник для експрес-оцінювання змін у стані ґрунтів та ґрунтових режимів з часом, що спричиняють зміни й у стані природної рослинності, які можуть спостерігатися за різночасовими даними БСКС.

За результатами контурного дешифрування даних БСКС 2019 року знімання (Рис. 26) розроблено систему опробування ГП заповідної ділянки Михайлівської цілини для остаточної верифікації розробленого підходу у післявоєнний час.

На наш погляд, запропонований спосіб дозволяє значно розширити сферу практичного застосування даних БСКС для цілей моніторингу ґрунтів як експрес-метод визначення змін у стані рослинних асоціацій та ГП на землях заповідного фонду та перелогах, що дозволяє планувати та оптимізувати польові дослідження в системі фонових моніторингу довкілля, що в цілому, визначає й зниження собівартості їх проведення.

5. Висновки

Відзначено необхідність удосконалення систем інформаційного забезпечення моніторингу довкілля та, зокрема, ґрунтів в нашій країні шляхом використання даних БСКС високого просторового розрізнення, для яких характерними є не тільки географічна відповідність, безперервність та регулярна оновленість, але й які мають перспективу постійного вдосконалення засобів знімання та комп'ютерних методів дешифрування, доступність значного фонду високоякісних космознімків, що в цілому, забезпечує дотримання високих вимог до точності та неупередженості здобутої у цифровому вигляді геопросторової інформації про національні ґрунтові ресурси.

Шляхом критичного аналізу існуючих підходів до фонових моніторингу ґрунтів встановлено, що ці методи засновані на використанні як інформаційної основи лише точкових даних аналітичних вимірювань ґрунтових властивостей, що не дозволяє їх ефективно використовувати в сучасних системах моніторингу ґрунтів та довкілля, в яких превалює просторово-часовий аналіз інформації, що накопичується та оброблюється за геоінформаційним принципом.

Розроблено новітній методичний підхід до фонових моніторингу ґрунтів, який передбачає використання різночасових даних БСКС високого просторового розрізнення для заповідних територій або перелогів, в якому проводиться контурне дешифрування оптичних характеристик природної рослинності та узагальнення отриманих результатів за методом інформаційного моделювання для визначення змін у стані земної поверхні з часом.

Опрацювання розробленого методичного підходу для окремої ділянки заповідника «Михайлівська цілина» дозволило визначити його ефективність для встановлення змін у просторовому розподілі природної рослинності, що опосередковано вказує на зменшення природного різноманіття цілинних територій або зміну ґрунтових режимів та обґрунтовує доцільність сучасних, ґрунтових обстежень в межах заповідної ділянки з метою прямого визначення змін ґрунтових властивостей в системі фонових моніторингу ґрунтів.

Обґрунтовано визначення твердості ґрунту, в межах заповідних територій, як експрес методу оцінювання змін ґрунтових умов у часі, які обумовлюють і зміни у стані природної рослинності.

Відзначено, що простота у використанні інформаційного моделювання для порівняльного аналізу результатів контурного дешифрування різночасових космічних зображень обґрунтовує доцільність його використання під час розробки автоматизованих картографічних систем аналізу даних для дистанційного моніторингу земельних та ґрунтових ресурсів.

Список використаних джерел

1. The Status of the World's Soil Resources: Main Report / managing editor F. Nachtergaele. Rome: FAO, 2015. 607 p. URL: <https://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf> (дата звернення: 15.11.2023).
2. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. 2-е издание. Москва: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
3. Izrael Yu. A. Background monitoring and its role in global estimation and forecast of the state of the biosphere. *Environmental Monitoring and Assessment*. 1982. Vol. 2(4). P. 369–378. <https://doi.org/10.1007/BF00416694>.
4. Medvedev V. V., Laktionova T. N. Analysis of the experience of European countries in soil monitoring. *Eurasian Soil Science*, 2012. Vol. 45(1). P. 90–97. <https://doi.org/10.1134/S1064229312010139>.

5. Медведев В. В. Мониторинг почв Украины. Концепция. Итоги. Задачи. (2-ое пересмотр. и дополн. издание). Харьков: КП «Городская типография», 2012. 536 с.
6. Huber S., Syed B., Freudenschuß A., Ernstsén V., Loveland P. Proposal for a European soil monitoring and assessment framework. Technical report 61. Copenhagen: European Environment Agency, 2001. 58 p. URL: https://www.eea.europa.eu/publications/Technical_report_No_61/page001.html (дата звернення: 15.11.2023).
7. European Land Information Systems for Agro-environmental Monitoring / Eds. By D. King, R. J. A Jones., A. J. Thomasson. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community, 1995. 286 p. URL: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/esb_rr/n01_EUR16232.pdf (дата звернення: 15.11.2023).
8. Baritz R., Amelung W., Antoni V., Boardman J., Horn R., Prokop G., Römbke J., Romkens P., Steinhoff-Knopp B., Swartjes F., Trombetti M., Vries de Wim. Soil monitoring in Europe. Indicators and thresholds for soil quality assessments. ETC/ULS Report, 2021. 137 p. URL: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-di/products/etc-uls-report-2021-soil-monitoring-in-europe-indicators-and-thresholds-for-soil-quality-assessments> (дата звернення: 15.11.2023).
9. Ракоїд О. Стан відображення в програмних документах України та статус реалізації положень Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням: Аналітичний звіт, 2017. 100 с. URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgkq326/files/migration/ua/Desertification_Rakovid_Web.pdf. (дата звернення: 15.11.2023).
10. Національний атлас України / за ред. Л. Г. Руденко. Київ: ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.
11. Агроклиматический атлас Украинской ССР / под ред. С.А. Сапожниковой. Киев: Урожай, 1964. 36 с.
12. Геоботаничне районування Української РСР / за ред. А. І. Барбарич. Київ: Наукова думка, 1977. 303 с.
13. Бреус Н. М. Опыт агропочвенного районирования левобережной Лесостепи УССР для общих хозяйственных целей и опытного дела на примере Сумской области: дис. ...канд. с.х. наук: 06.01.03. Харьков, 1968. 150 с.
14. Дегтярьов В. В. Гумус чорноземів лівобережного Лісостепу і Степу України: монографія / за ред. д.с.-г.н, проф. Д.Г. Тихоненка. Харків: Майдан, 2011. 360 с.
15. Чекар О. Ю. Роль гумусу в стабілізації ґрунтових процесів у чорноземах типових лівобережного Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика». Харків, 2001. 20 с.
16. Чесняк О. А., Чесняк Г. Я., Степаненко А. Я. Содержание подвижных органических веществ в черноземах мощных Лесостепи УССР как показатель окультуренности. *Исследование плодородия почв УССР: тр. Харьк. с.-х. ин-та*. 1970. Т. 87 (124). С. 29-36.
17. Landsat 8. Mission details. URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/landsat-8-mission-details/> (дата звернення: 16.10.2023).
18. United States Geological Survey (USGS). Earth Resources Observation and Science (EROS) Center URL: <https://www.usgs.gov/centers/eros>. (дата звернення: 16.10.2023).
19. Кохан С. С., Востоков А. Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: підручник. Київ: Вища школа, 2009. 511 с.
20. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч. У., Клекка У. Р., Олдендерфер М. С., Блэшфилд Р. К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализы: Пер. с англ. А. М. Хотинского, С. Б. Королева / под ред. И. С. Енюкова. Москва: Финансы и статистика, 1989. 215 с. URL: https://fileskachat.com/view/62695_3208be4106ce3b291a81d9e798c3ef88.html (дата звернення: 24.10.2023).
21. Плisko I. B., Трускавецький С. Р. Дослідження просторової неоднорідності ґрунтів Михайлівської цілини. *Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2010. Вип. 9. С. 217-224.
22. Лактіонова Т. М., Бігун О. М., Шейко С. М., Накісько С. Г. Реєстр еталонних фізичних параметрів орних ґрунтів України і рекомендації щодо оцінювання фізичної якості ґрунту. Харків: ТОВ «Смугаста типографія», 2016. 44 с.
23. Булигін С. Ю., Вітвіцький С. В., Буланій О. В., Тонха О. Л. Моніторинг якості ґрунтів. Підручник. Київ: Видавництво НУБіП України, 2019. 421 с.
24. Бондарев А. Г., Медведев В. В. Некоторые пути определения оптимальных параметров агрофизических свойств почв. *Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв. Труды почв. ин-та им. В.В. Докучаева*. 1980. С. 85-98.
25. Надточий П. П., Мыслыва Т. Н. Эталонные величины кислотно-основной буферности дерново-подзолистых почв для фонового мониторинга. *Агрохимия*. 2014. № 3. С. 83–89.
26. Спосіб визначення ґрунтових комбінацій: пат. 37208 Україна: МПК (2006) G01 N33/24 G01 V8/00 G03 B37/00. Авт.: Биндич Т. Ю., Чичоткіна О. А. Заяв. №u2008 05768 від 05.05.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. №22.
27. Биндич Т. Ю. Використання даних космічної зйомки сільськогосподарської рослинності для картографування ґрунтового покриття. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2008. Вип.68. С. 50-56.
28. Викторов С. В., Чикишев А. Г. Ландшафтная индикация. Москва: Наука, 1985. 96 с.
29. Геоботаничне районування Української РСР / за ред. А. І. Барбіч. Київ: Наукова думка, 1977. 305 с.
30. Геренчук К. І., Раковська Е. М., Топчіев О. Г. Польові географічні дослідження. Київ: Вища школа, 1975. 248 с.
31. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. Москва: Изд-во иностр. лит., 1963. 830 с.
32. Медведев В. В. Твердость почв. Харьков. Изд. «13 типография», 2009. 152 с.
33. Вилде А. А. О закономерностях изменений твердости почв./ Механизация и электрификация сельского хозяйства. Рига, 1978. Вып.4. С.167-178.

UDK 631.471:631.481+528.854:528.855

Modern approaches to background monitoring of soil cover by space scanning data

T. Yu. Byndych*, I. V. Plisko, A. I. Sherstyuk, K. Yu. Romanchuk

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

Kharkiv, Ukraine

*E-mail: tanyabyndych@gmail.com

The purpose of the article is to describe a practical methodology for thematic processing of satellite imagery data of virgin land as a basis for creating a modern system of information support for background monitoring of soils. The methodical approach developed based on archival data of the Landsat 8 satellite. The testing of methodological developed approaches for background monitoring performed on the example of the soil studies of the Mykhailivska virgin land, which is the only preserved area of virgin meadow steppe in the Forest-Steppe zone of Ukraine. The research included statistical analysis and processing of different time space images of the virgin area, in particular, the calculation of the vegetation index NDVI and the numerical taxonomy of its quantitative values by cluster analysis (ISODATA method); analysis of archival data of the field survey of this territory; geostatistical analysis of spatial variation of soil indicators. The use of vegetation indices obtained by multi temporal satellite images introduced as indirect indicators to the integral change assessment of soil quality and state of soil cover. Comparative analysis of the results of decoding of different-time space images of the Mykhailivska virgin land carried out by the information model, which based on the probabilistic formalization of territorial division and described by calculating several information indicators of complexity. The analysis of these indicators show a decrease in the complexity of the spatial structure of the distribution of vegetation in the period from 2014 to 2019 years. The verification of developed approach carried out by means of selective determination of soil penetration resistant. The results of the dispersion analysis showed that the "vegetation" contours determined based on the vegetation index NDVI are significantly different in terms of soil penetration resistant values.

Key words: soil cover; virgin land; background monitoring; multispectral space scanning; thematic decoding.

Citing: Byndych T. Yu., Plisko I. V., Sherstyuk A. I., Romanchuk K. Yu. (2023). Modern approaches to background monitoring of soil cover by space scanning data. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 36-46... [doi:10.31073/acss95-04](https://doi.org/10.31073/acss95-04) [in Ukrainian].

ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ ЗА АНТРОПОГЕННИХ ТА КЛІМАТИЧНИХ ВПЛИВІВ CHANGES in SOIL PROPERTIES UNDER ANTHROPOGENIC and CLIMATIC INFLUENCES

УДК 631.427.22

Динаміка чисельності мікроорганізмів у ґрунтовій масі чорнозему опідзоленого після обробки фунгіцидами різного походження

Я. В. Гетьман*, О. Є. Найдьонова

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 09.09.2023 Отримано після доопрацювання 17.12.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.2023	У лабораторному модельному експерименті досліджено динаміку чисельності бактерій і мікроміцетів у ґрунтовій масі чорнозему опідзоленого після одноразової обробки її поверхні фунгіцидами різного походження (хімічні — з діючими речовинами карбендазім, тебуконазол і азоксистробін та біологічні — на основі грибів-антагоністів <i>Trichoderma viride</i> (<i>lignorum</i>) і <i>Chaetomium cohiodes</i>). Ґрунтову масу брали з орного шару ґрунту на ділянці без добрив польового досліду відділу агрохімії Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» на території ДП «ДГ «Граківське» (с. Новий Коротич, Харківський район, Харківська область). Впродовж 110 діб компостування за постійної температури оцінено зміни стану мікробних угруповань, зокрема ґрунтових мікроміцетів, і швидкість та повноту їх відновлення порівняно з необробленим фунгіцидами ґрунтом. Стан мікрофлори контролювали чотири рази за період дослідження за параметрами чисельності мікроорганізмів різних еколого-трофічних і таксономічних груп, сумарним біологічним показником (СБП) та показниками, що відображають функціональний стан мікробних ценозів (показники оліготрофності, мінералізації, коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини ґрунту (МТОРГ)). На п'яту добу після обробки фунгіцидами чисельність бактерій і мікроміцетів у пробах обробленої ґрунтової маси переважно була достовірно вищою, ніж у пробах контролю, а на двадцяту добу, навпаки, значно нижчою — чисельність бактерій була меншою на 20-46 %, мікроміцетів на 16-34 % порівняно з контролем. На сорокову добу у разі застосування хімічних фунгіцидів спостерігалось часткове відновлення чисельності бактерій до рівня необробленого контрольного ґрунту, а чисельність мікроміцетів залишалася нижчою на 9-36 % відносно контролю; за використання біологічних фунгіцидів чисельність мікроміцетів становила 84-94 % відносно контролю. На сто десяту добу чисельність мікрофлори (за сумарним біологічним показником) в обробленому хімічними фунгіцидами ґрунті становила 79-89 % від значень контролю, а в ґрунті, обробленому біофунгіцидами — 102-104 %. Чисельність мікроміцетів знижувалась меншою мірою та найбільш повно і швидко відновилась у разі застосування біологічного фунгіциду Хетоміка. З огляду на важливу роль ґрунтових мікроміцетів у функціонуванні ґрунтів, зменшення їх чисельності внаслідок накопичення в ґрунтах залишкових кількостей хімічних фунгіцидів може негативно відобразитись на багатьох ґрунтово-біологічних процесах, зокрема на розкладі рослинних решток і подальшій трансформації органічної речовини, а також на фітосанітарному стані ґрунту. Тому, з метою уникнення можливих наслідків надмірного або багаторазового застосування гербіцидів і пов'язаної з цим загрози забруднення ґрунтів, необхідно проводити мікробіологічний моніторинг на територіях з високим фунгіцидним навантаженням.

* E-mail: soils.mycology@gmail.com

Форма цитування: Гетьман Я. В., Найдьонова О. Є. Динаміка чисельності мікроорганізмів у ґрунтовій масі чорнозему опідзоленого після обробки фунгіцидами різного походження. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ «ІІА ім. О.Н. Соколовського». С. 47-59. <https://doi.org/10.31073/acss95-05>

1. Вступ

Головною метою сільськогосподарського виробництва є стабільне забезпечення населення продуктами харчування, що на теперішній час досягається за умов інтенсифікації землеробства, у тому числі використання засобів захисту рослин.

За оцінками спеціалістів одна третина обсягів сільськогосподарської продукції у світі виробляється за рахунок використання пестицидів, зокрема фунгіцидів [1]. Фунгіциди є засобом захисту сільськогосподарських рослин від грибкових хвороб. Фітопатогенні гриби, які уражують рослини, можуть знаходитись на поверхні насіння або у ґрунті. Захист рослин від грибних хвороб забезпечується обробкою фунгіцидами насіння та/або обприскуванням вегетуючих рослин.

Проте, використання традиційних систем захисту рослин у сформованих умовах не завжди сприяє зниженню шкодочинності хвороби. У зв'язку з цим, боротьба зі

збудниками хвороб рослин в останні роки набула проблемного характеру, а використання тільки хімічного методу захисту не завжди дає бажані результати, натомість призводить до зменшення чисельності мікроорганізмів в агроценозах та появи резистентних форм патогенів [2, 3].

На сьогодні актуальною є проблема негативних наслідків застосування широкого спектру пестицидів, у тому числі й фунгіцидів, у сільському господарстві, що диктує необхідність дослідження їх впливу на ґрунти агроєкосистем [4, 5]. Потрапляючи в ґрунт, фунгіциди піддаються біологічним та фізико-хімічним перетворенням. Саме мікробна трансформація є основним шляхом деструкції фунгіцидів у ґрунті. Тому, застосування різних хімічних речовин також істотно впливає не лише на хімічні, фізико-хімічні та фізичні, а й на біологічні властивості ґрунту, зокрема на комплекси ґрунтових мікроорганізмів. Оскільки крім безпосереднього цільового призначення (пригнічення фітопатогенних мікроміцетів) фунгіциди чинять багатосторонній, часто негативний вплив на всю ґрунтову біоту, зокрема на угруповання грибів, що, своєю чергою, призводить до несприятливих змін властивостей ґрунту, і як наслідок, до зниження продуктивності рослин [6–9], зростає необхідність оцінювання наслідків застосування фунгіцидів і пошуку більш безпечних для довкілля альтернатив.

Одним із основних чинників процесу ґрунтоутворення є функціонування ґрунтової мікрофлори, вміст якої в 1 г ґрунту, згідно з даними Є.М. Мішустіна [10], сягає мільярдів клітин. Мікроорганізми в ґрунтах виконують широкий спектр екологічних функцій, найважливішою з яких є розкладання органічних речовин. Вони також регулюють фітосанітарний стан ґрунту відіграючи суттєву роль у процесах самоочищення антропогенно забрудненого ґрунту і забезпечуючи його здоров'я [11–13].

Стан угруповання ґрунтових мікроорганізмів, зокрема мікроміцетів, є індикатором ступеня антропогенного навантаження на екосистему. Мікроміцети чутливо реагують на зміни властивостей ґрунту за дії різних полутантів і характеризуються широким спектром адаптивних властивостей. Порушення їх складу й структурних особливостей проявляються раніше, ніж зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту, що робить їх біомаркерами, придатними для прогнозування стану ґрунтового середовища [14, 15].

Негативні впливи фунгіцидів на мікробне різноманіття та життєдіяльність мікроорганізмів ґрунту були описані багатьма дослідниками [16–18]. Так, у ґрунтах, оброблених фунгіцидами, спостерігалась інактивація мікроорганізмів, що фіксують азот [9], і бактерій, що розчиняють важкодоступні сполуки фосфору [19]. Також було доведено негативний вплив карбендазіма, тебуконазола та азоксістробіна на розвиток ґрунтових мікроміцетів, що полягало у зниженні їх кількості і видового різноманіття [9, 20, 21]. Але незважаючи на екологічні ризики, пов'язані із використанням фунгіцидів, вони дозволяють забезпечувати ефективний захист сільськогосподарських культур, і тому у найближчому майбутньому відмова від застосування фунгіцидів не є можливою, що зумовлює необхідність досліджень їх впливу на нецільові об'єкти.

З огляду на це, виникає потреба пошуку нових підходів до вибору й використання фунгіцидів та розробки новітніх методів моніторингу ґрунтів, які зазнали їх впливу. Метою дослідження було встановити ступінь впливу фунгіцидів різного походження з різними діючими речовинами на чисельність мікроорганізмів різних еколого-трофічних і таксономічних груп у чорноземі опідзоленому, простежити динаміку її змін у часі, встановити швидкість та повноту її відновлення.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Лабораторно-модельний дослід для визначення впливу різних фунгіцидів на ґрунтову мікрофлору проведено у секторі мікробіології ґрунтів Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» у травні-серпні 2021 р.

ґрунтову масу для дослідів відбирали 15 квітня 2021 р. з орного шару (0–25 см) ділянки без внесення добрив у польовому досліді відділу агрохімії Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» на території ДП «ДГ «Граківське» (с. Новий Коротич, Харківський район, Харківська область). ґрунт — чорнозем опідзолений важкосуглинковий. У 2020 р. у польовому досліді вирощували сою.

Відібрану ґрунтову масу просіювали через сито з діаметром отворів 0,5 см, поміщали по 500 г маси в посудини об'ємом 1 л, площа поверхні ґрунтової маси становила 10 см². Поверхню ґрунту обробляли 5 різними фунгіцидами в дозах, рекомендованих для обробки рослин в період вегетації. Кожним фунгіцидом оброблено ґрунт у трьох посудинах. Усі 15 посудин з обробленим ґрунтом і 3 контрольних (з

необробленим) одночасно компостували в термостаті при постійній температурі (30°C) впродовж 110 діб.

Для дослідження впливу на ґрунтові мікроорганізми обрали фунгіциди двох типів — хімічні й біологічні.

Три хімічних однокомпонентних фунгіциди на основі різних діючих речовин з різними механізмами дії на організми-мішені:

- Альфа Стандарт (виробник — ALFASmartAgro), діюча речовина — карбендазим, 500 г/л (хімічної групи безимідазолів). Фунгітоксична дія — інгібітор поділу клітин.

- Фолікур (виробник — Bayer), діюча речовина — тебуконазол, 250 г/л (хімічної групи триазолів). Фунгітоксична дія — інгібітор синтезу стеролу в мембрані.

- Квадріс (виробник — Syngenta), діюча речовина — азоксистробін, 250 г/л (хімічної групи стробілуринів). Фунгітоксична дія — інгібітор клітинного дихання.

Два біологічних фунгіциди на основі грибів, що мають антагоністичні властивості до збудників хвороб:

- Триходермін (виробник — ТОВ «Біо центр»), діючий агент — гриб-антагоніст *Trichoderma viride* (lignorum). Механізм дії — пригнічує розвиток фітопатогенів прямим паразитуванням, конкуренцією за субстрат, а також виділяє біологічно активні речовини, які пригнічують репродуктивну функцію фітопатогенів.

- Хетомік (виробник — Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН), діючий агент — гриб-антагоніст *Chaetomium cohlidos*. Механізм дії — стримує розвиток патогенів за рахунок конкуренції за субстрат, а також виділяє біологічно активні речовини, які індукують системну імунну відповідь рослин на дію патогенів.

Проби ґрунтової маси для мікробіологічних досліджень відбирали через 5, 20, 40 і 110 діб компостування після її обробки фунгіцидами, кожного разу в іншому секторі поверхні ґрунту у посудині.

Чисельність ґрунтових мікроорганізмів різних еколого-трофічних і таксономічних груп визначали методом висівання водної суспензії ґрунту відповідних розведень на такі щільні селективні живильні середовища [22]: для визначення чисельності бактерій, що засвоюють органічний азот (амоніфікаторів), — на м'ясо-пептоновий агар (МПА); бактерій, що засвоюють азот мінеральних сполук, та актинобактерій — на крохмало-амонійний агар (КАА); оліготрофів — на голодний агар (ГА); педотрофів — на ґрунтовий агар (ГА); мікроміцетів — на середовища Ріхтера та Чапека.

Кожну пробу обробленого фунгіцидами і контрольного ґрунту висівали на 3 паралельні чашки Петрі кожного живильного середовища.

Показники, що характеризують напруженість мінералізаційних процесів (показник мінералізації [23]), трофічний режим ґрунту (показник оліготрофності [24]) і спрямованість процесів трансформації органічної речовини (коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини ґрунту (МТОРГ) [25]) визначали за співвідношенням окремих груп мікроорганізмів. Сумарний біологічний показник (СБП) [26], розраховували шляхом узагальнення даних чисельності мікрофлори. Значення граничної похибки в дослідженні визначали способом встановлення значення найменшої істотної різниці (HIP) між порівнюваними варіантами за рівня вірогідності 95 %.

Статистичну обробку здобутих даних проводили з використанням пакетів програм Statistica, R-Studio та Microsoft Excel.

2. Результати досліджень

3.1. Вплив фунгіцидів на динаміку чисельності ґрунтових мікроорганізмів

Фунгіциди суттєво вплинули на чисельність ґрунтових мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп. На п'яту добу після внесення фунгіцидів спостерігалось переважно зростання чисельності мікроорганізмів, що засвоюють органічні форми азоту, оліготрофів та педотрофів порівняно з контролем, але відбулось помітне зниження чисельності бактерій, що засвоюють мінеральні форми азоту, та, внаслідок цього, загальної чисельності евтрофів (Рис. 1). Зазначені зміни були статистично достовірними. Так, після обробки ґрунту фунгіцидом Альфа-Стандарт з діючою речовиною карбендазим чисельність бактерій майже всіх досліджуваних еколого-трофічних груп, крім бактерій, що засвоюють мінеральний азот, була вищою, ніж у необробленому ґрунті. Фунгіцид Фолікур з діючою речовиною тебуконазол підвищив кількість амоніфікаторів та педотрофів, але значно знизив чисельність бактерій усіх інших досліджуваних груп: мікроорганізмів, що засвоюють мінеральні сполуки азоту, на 51 %, оліготрофів на 17 %, загальної кількості евтрофів на 35 %. Фунгіцид Квадріс із діючою речовиною азоксистробін підвищив чисельність амоніфікаторів і педотрофів на 26 %, оліготрофів на 51 %, але знизив

кількість бактерій, що засвоюють мінеральний азот, на 34 %, та евтрофів на 17 %. За обробки біологічним фунгіцидом Триходерміном нижчою за показники контролю була чисельність бактерій, що засвоюють органічний і мінеральний азот, а чисельність оліготрофів і педотрофів, навпаки, була вищою.

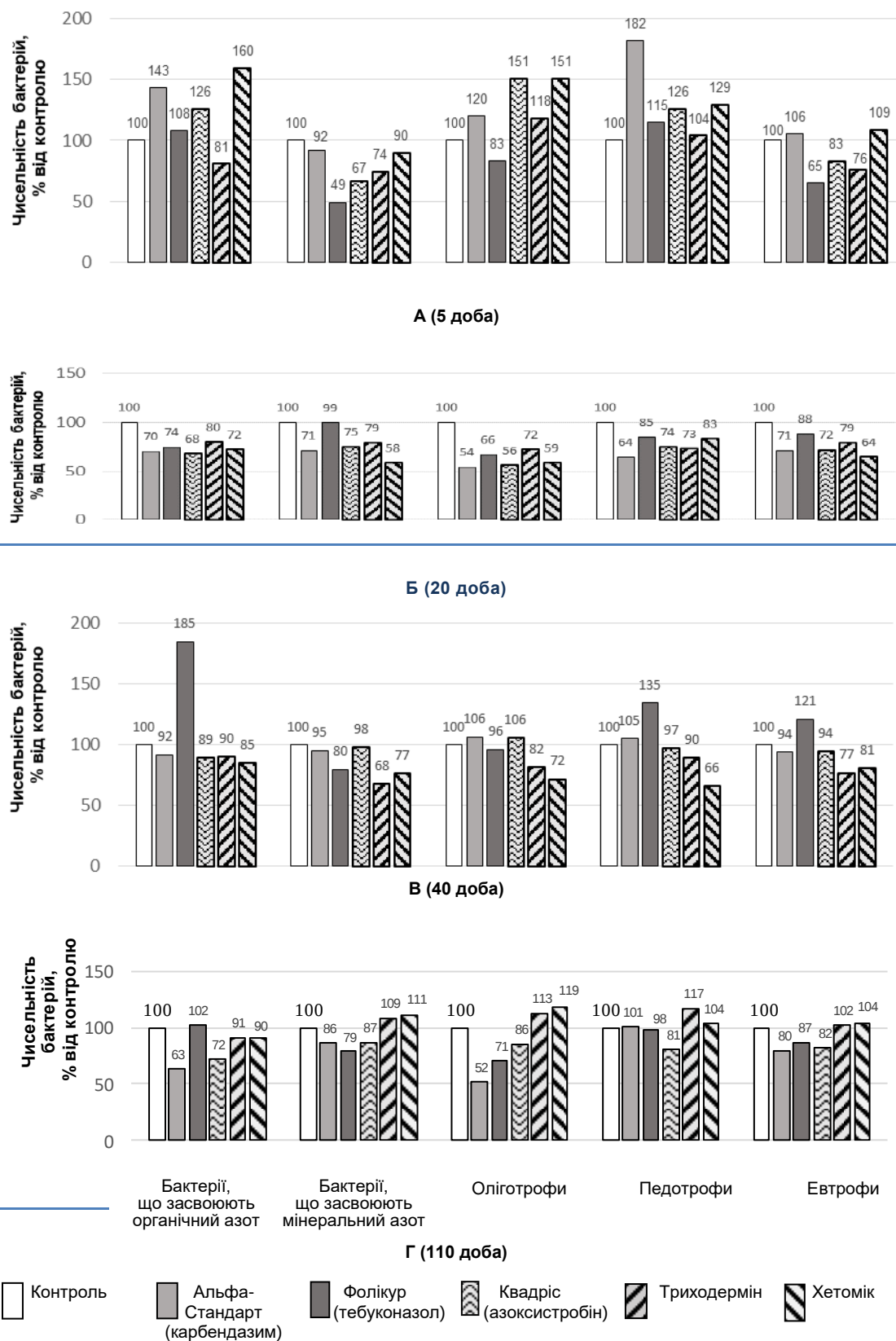


Рис. 1. Динаміка чисельності бактерій після обробки ґрунту фунгіцидами

Після обробки ґрунту Хетоміком підвищеною відносно контрольного ґрунту була чисельність усіх досліджуваних еколого-трофічних груп, окрім бактерій, що засвоюють мінеральні форми азоту, чисельність яких була нижчою на 10 %. Загальною тенденцією для цього строку спостережень було достовірне зниження чисельності мікроорганізмів, що засвоюють мінеральні сполуки азоту, після застосування всіх п'ятьох фунгіцидів. Найбільший негативний вплив на чисельність мікроорганізмів зазначених груп виявлено у пробах, оброблених фунгіцидом Фолікур з діючою речовиною тебуконазолом.

На двадцяті добу після обробки ґрунту фунгіцидами чисельність мікроорганізмів усіх досліджуваних еколого-трофічних груп в усіх пробах обробленого ґрунту стала значно нижчою за аналогічні показники контрольного ґрунту. Чисельність бактерій, що засвоюють органічні форми азоту, знизилась на 20–32 % порівняно з контролем, зокрема за обробки хімічними фунгіцидами на 26–32 %, біологічними — на 20–28 %. Кількість бактерій, що засвоюють мінеральні форми азоту, знизилась більш суттєво — на 21–42 % через дію всіх фунгіцидів, крім Фолікура з діючою речовиною тебуконазол. Чисельність оліготрофів на двадцяті добу після обробки фунгіцидами знизилась на 28–46 %. Суттєво нижчою була також чисельність педотрофів — на 15–36 %, і загальна чисельність евтрофів — на 12–36 %.

На сорокову добу після обробки ґрунту фунгіцидами чисельність досліджуваних еколого-трофічних груп бактерій наблизилась до значень контрольного ґрунту, у деяких випадках вона була навіть більшою, ніж у ґрунті контролю. Чисельність органотрофних бактерій у пробах обробленого фунгіцидами ґрунту достовірно не відрізнялась від їх чисельності у контрольному ґрунті, лише у ґрунті, обробленому тебуконазолом (Фолікур) спостерігалось підвищення кількості цих бактерій. Чисельність бактерій, що утилізують мінеральні сполуки азоту, за застосування всіх досліджуваних фунгіцидів залишалась достовірно нижчою, ніж у контрольному ґрунті (на 5–32 %), за винятком ґрунту, обробленого азоксистробіном (Квадріс), де різниця не була достовірною. Чисельність оліготрофних бактерій за обробки фунгіцидами з діючими речовинами карбендазім і азоксистробін достовірно зросла на 6 %, а за дії інших фунгіцидів — зменшилася (на 4 % за застосування тебуконазолу, і на 18 і 28 % за застосування Триходерміну і Хетоміка). Чисельність педотрофів за обробки хімічними фунгіцидами була або без суттєвих відмінностей від контролю, або вищою, а за обробки біофунгіцидами залишалась нижчою на 10 і 34 %.

Останній облік чисельності мікрофлори проводили на сто десяті добу після обробки досліджуваними фунгіцидами. В ґрунті, обробленому хімічними фунгіцидами, на 28–37 % меншою були чисельність бактерій, що засвоюють органічний азот, (крім ґрунту, обробленого тебуконазолом (Фолікур), де різниця у їх чисельності не була достовірною), а також чисельність бактерій, що засвоюють мінеральний азот, на 13–21 %, і оліготрофів — на 14–49 %. Більш стійкою до дії хімічних фунгіцидів на цьому строку спостережень виявилась група педотрофних мікроорганізмів, чисельність яких на сто десяті добу після обробки фунгіцидом з діючою речовиною карбендазім (Альфа-Стандарт) достовірно не відрізнялась від значення у контрольному ґрунті, у ґрунті, обробленому тебуконазолом (Фолікур), була нижчою на 2 %, у ґрунті, обробленому азоксистробіном (Квадріс), — на 19 %. За дії біологічних фунгіцидів Триходерміну та Хетоміка чисельність мікроорганізмів майже всіх еколого-трофічних груп була достовірно більшою за відповідні значення в контрольному ґрунті: бактерій, що засвоюють мінеральний азот, на 9–11 %, оліготрофів на 13–19 %, педотрофів на 4–17 %. Нижчою за чисельність у контрольному ґрунті тут була лише чисельність органотрофних бактерій, але ступінь зменшення відносно контролю був меншим, ніж для проб ґрунту, обробленого хімічними фунгіцидами (у ґрунті, обробленому Триходерміном, на 9, Хетоміком — на 10 %).

Схожою була реакція відповіді ґрунтових мікроміцетів на дію фунгіцидів. Так, на п'яту добу спостерігалось невелике, але статистично достовірне збільшення чисельності мікроміцетів на живильних середовищах (ЖС) Ріхтера і Чапека під дією всіх використаних фунгіцидів, окрім Фолікуру з діючою речовиною тебуконазол. Його дія знизилася чисельність ґрунтових грибів на 18–19 % (Рис. 2).

На двадцяті добу спостерігалось суттєве зниження чисельності ґрунтових мікроміцетів у ґрунті, обробленому фунгіцидами, порівняно з контролем. Так, за дії хімічних фунгіцидів знизилась кількість грибів на 28–41 % на ЖС Чапека і на 25–33 % на ЖС Ріхтера. Зниження чисельності мікроміцетів відбувалось і за дії біологічних фунгіцидів, але його ступінь був меншим: на 10–23 % на ЖС Чапека і на 19–26 % на ЖС Ріхтера.

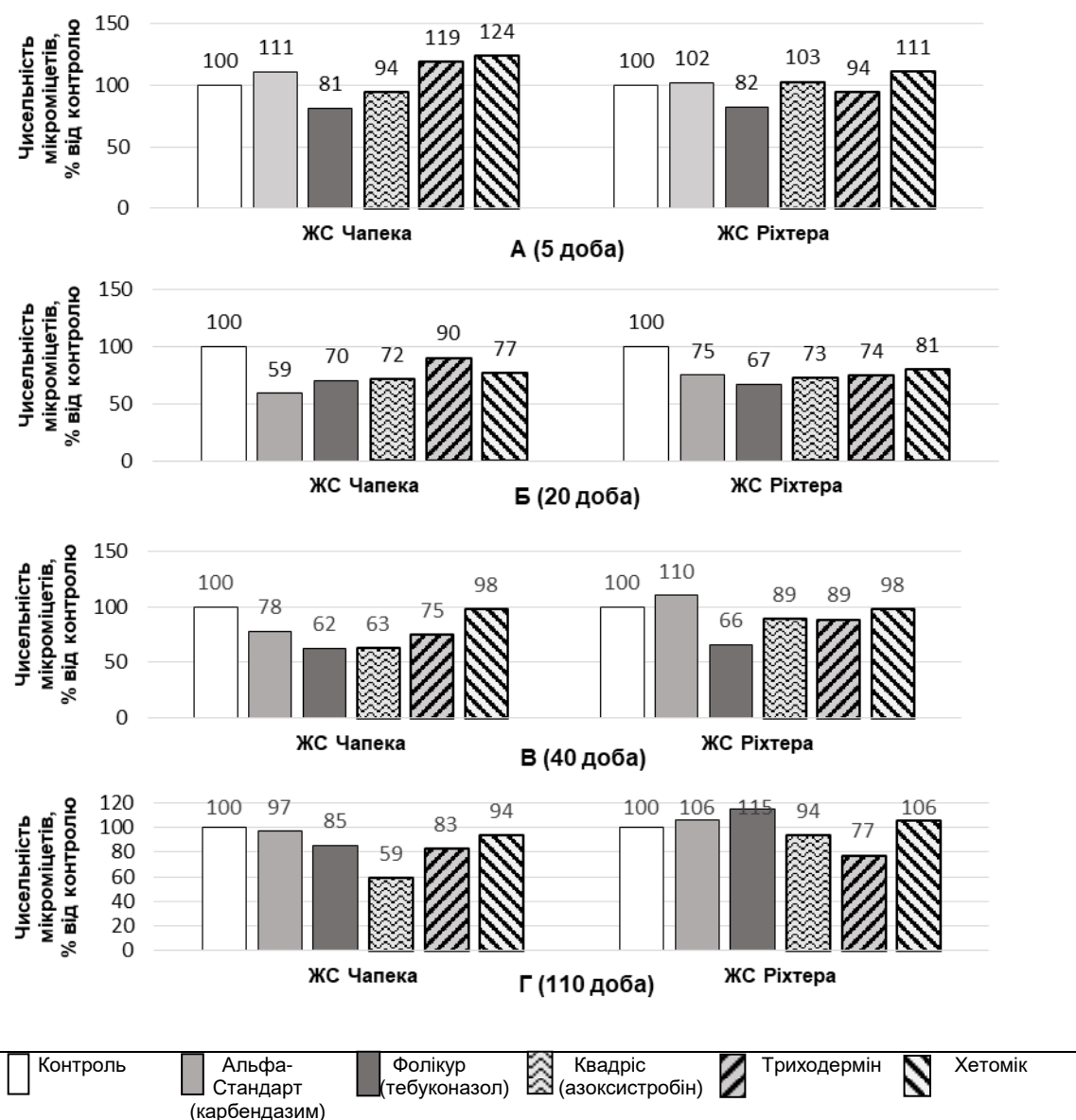


Рис. 2. Динаміка чисельності мікроміцетів після обробки ґрунту фунгіцидами

У наступний строк спостережень (сорокова доба після обробки ґрунту фунгіцидами) ми також виявили знижену, порівняно з необробленим ґрунтом, чисельність грибів у пробах ґрунту за дії всіх використаних фунгіцидів. У ґрунті, обробленому фунгіцидом Фолікур з діючою речовиною тебуконазол чисельність мікроміцетів була нижчою на 34–38 %, фунгіцидом Квадріс з діючою речовиною азоксистробін — на 11–37 %, біологічним фунгіцидом Триходерміном — на 11–25 %. Найменше пригнічував розвиток мікроміцетів на цьому строку спостережень Альфа-Стандарт з діючою речовиною карбендазим. За обробки Хетоміком чисельність грибів у ґрунті на сорокову добу після застосування достовірно не відрізнялася від значень у контрольному необробленому ґрунті.

На сто десяту добу чисельність ґрунтових мікроміцетів у ґрунті, обробленому фунгіцидами, наблизилася до значень на контролі, максимально — за дії Хетоміка та фунгіциду Альфа-Стандарт з діючою речовиною карбендазим. У ґрунті, обробленому фунгіцидом Квадріс з діючою речовиною азоксистробін, чисельність мікроміцетів у середньому за результатами обліку на двох середовищах була нижчою на 29 %, ніж у контрольному ґрунті.

3.2. Вплив дії фунгіцидів на функціональний стан мікробного ценозу

Для нормального функціонування ґрунтів важливим є збереження не тільки чисельності ґрунтових мікроорганізмів, але і їх оптимального, для певного ґрунту,

співвідношення. Одноразова обробка ґрунту фунгіцидами призвела до змін значень показників, які характеризують трофічний режим ґрунту і характер мікробіологічних процесів (Табл. 1).

Показник оліготрофності є індикатором насиченості ґрунту легкозасвоюваними поживними речовинами. Впродовж усіх строків спостережень його значення були переважно нижчими за одиницю в усіх варіантах, що може опосередковано свідчити про достатню насиченість ґрунту доступними поживними речовинами. З плином часу значення показника оліготрофності дещо підвищувалися як для контрольного ґрунту, так і для обробленого фунгіцидами, але без суттєвого перевищення одиниці. Тому можна стверджувати про відсутність помітного однозначного впливу обробки фунгіцидами на трофічний режим ґрунту.

Показник мінералізації є індикатором інтенсивності протікання процесів мінералізації та засвоювання азотних сполук у ґрунті. Його значення визначається відношенням чисельності мікроорганізмів, що засвоюють мінеральні сполуки азоту, до кількості мікроорганізмів, що утилізують його органічні сполуки. Для всіх варіантів із застосуванням фунгіцидів на п'яту добу після обробки значення показника мінералізації були зниженими відносно значень для контрольного ґрунту, що свідчить про послаблення мінералізаційної функції мікробних ценозів. Проте, на двадцяту добу значення показника мінералізації за використання хімічних фунгіцидів були навпаки дещо вищими за показник контрольного ґрунту. На сорокову добу вищими за контроль були значення показника мінералізації ґрунту, обробленого карбендазімом, і ґрунту, обробленого азоксистробіном, для інших спостерігалось зниження значень показника. На сто десяту добу відмічається збільшення значень цього показника відносно контролю за дії всіх фунгіцидів, крім Фолікура з діючою речовиною тебуконазолом.

Таблиця 1

Зміни значень показників, що характеризують спрямованість мікробіологічних процесів та загальний стан ґрунтової мікрофлори, після обробки фунгіцидами

Варіант (фунгіцид, діюча речовина)	Значення показників			
	оліготрофності	мінералізації	МТОРГ	СБП, %
5 доба				
Контроль (без фунгіцидів)	0,38	2,74	6,12	100
Альфа-Стандарт (карбендазим)	0,43	1,76	10,05	129
Фолікур (тебуконазол)	0,48	1,25	8,69	87
Квадріс (азоксистробін)	0,68	1,45	9,54	113
Триходермін	0,58	2,52	5,06	97
Хетомік	0,52	1,54	11,78	130
20 доба				
Контроль (без фунгіцидів)	1,01	1,26	15,00	100
Альфа-Стандарт (карбендазим)	0,78	1,28	10,49	65
Фолікур (тебуконазол)	0,76	1,69	9,90	79
Квадріс (азоксистробін)	0,79	1,40	9,72	69
Триходермін	0,93	1,25	12,00	77
Хетомік	0,92	1,02	11,86	70
40 доба				
Контроль (без фунгіцидів)	0,78	1,48	8,96	100
Альфа-Стандарт (карбендазим)	0,88	1,52	8,13	98
Фолікур (тебуконазол)	0,61	0,64	25,40	112
Квадріс (азоксистробін)	0,87	1,62	7,70	93
Триходермін	0,83	1,11	9,12	85
Хетомік	0,69	1,33	8,00	77
110 доба				
Контроль (без фунгіцидів)	0,90	2,01	6,11	100
Альфа-Стандарт (карбендазим)	0,58	2,73	3,54	83
Фолікур (тебуконазол)	0,73	1,54	6,87	89
Квадріс (азоксистробін)	0,94	2,43	4,15	79
Триходермін	1,00	2,39	5,28	102
Хетомік	1,03	2,46	5,17	104

Примітка: МТОРГ – коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини ґрунту;
СБП – сумарний біологічний показник.

Значення коефіцієнту МТОРГ для ґрунтів, оброблених фунгіцидами, на п'яту добу були переважно вищими порівняно з контролем. На двадцяту добу після обробки, коли відбулося зниження чисельності мікрофлори, значення коефіцієнту МТОРГ для

оброблених фунгіцидами ґрунтів стали нижчими відносно контролю, особливо у випадку застосування хімічних фунгіцидів, що свідчить про послаблення процесів гуміфікації. Переважно більш низькими значеннями коефіцієнту МТОРґ відрізнялися оброблені фунгіцидами ґрунти і на сороковий і на сто десятий дні спостережень.

Сумарний біологічний показник (СБП) дозволяє узагальнити дані чисельності мікроорганізмів різних груп, оцінити загальний стан мікрофлори ґрунту і порівняти вплив на ґрунт різних фунгіцидів. На п'яту добу після обробки фунгіцидами значення СБП для ґрунту, обробленого фунгіцидом Фолікур з діючою речовиною тебуконазол, на 13 % відхилялося у негативний бік від СБП контрольного необробленого ґрунту, який прийнято за 100 %. Таке відхилення відповідає слабкому ступеню порушення мікробного ценозу. Дещо нижчим (на 3 %) було значення СБП ґрунту, обробленого біологічним фунгіцидом Триходерміном. Утім, відхилення, які не перевищують 10 % не вважаються суттєвими [26], тому мікробний ценоз у даному випадку вважається непорушеним. За обробки іншими фунгіцидами значення СБП перебільшували 100 %. Значне зниження СБП обробленого фунгіцидами ґрунту, зумовлене скороченням чисельності мікроорганізмів усіх досліджуваних груп, відмічалось на двадцяту добу після обробки. За обробки фунгіцидами з діючими речовинами карбендазим і азоксистробін значення СБП відхилялися від значення контрольного ґрунту в бік зниження на 35 і 31 %, що відповідає середньому ступеню порушення стану мікробного ценозу. СБП, розрахований для ґрунту, обробленого фунгіцидом з діючою речовиною тебуконазол, був зниженим відносно контрольного значення на 21 % (слабкий рівень порушення стану мікрофлори). Слабкий і середній ступінь порушення стану мікробних угруповань на двадцяту добу спостерігали і після обробки біологічними фунгіцидами Триходермін і Хетомік (зниження СБП на 23 і 30 % відповідно). На сорокову добу після внесення фунгіцидів, згідно зі значеннями СБП, спостерігалось часткове відновлення загального стану мікробних ценозів ґрунту, обробленого хімічними фунгіцидами, а за обробки Хетоміком і Триходерміном ще були відхилення слабого ступеня (на 15 і 23 %). В останній строк спостережень — на сто десятих добу після обробки фунгіцидами, коефіцієнти МТОРґ оброблених хімічними фунгіцидами ґрунтів знов виявились більш низькими (відхилення від контролю для ґрунтів, оброблених карбендазимою, тебуконазолом і азоксистробіном становило 17, 11 і 21 %). Проте СБП ґрунтів, оброблених біологічними фунгіцидами, були на 2–4 % вищими від контролю.

Таким чином, в результаті одноразової обробки поверхні ґрунту фунгіцидами у концентраціях, відповідних рекомендованим дозам, відбувається тимчасове пригнічення мікробного ценозу, зменшується чисельність ґрунтових бактерій і мікроміцетів. Найбільш суттєвий негативний вплив на чисельність мікрофлори зафіксовано на двадцяту добу після обробки поверхні ґрунту фунгіцидами, причому біологічні фунгіциди так само, як і хімічні, викликали зниження чисельності мікроорганізмів основних екофункціональних груп. Особливо чутливими до дії хімічних фунгіцидів виявились ґрунтові мікроміцети, чисельність яких за застосування фунгіциду з діючою речовиною азоксистробіном була меншою і на сто десятих добу після обробки ним поверхні ґрунту. Проте, на двадцяту добу після обробки фунгіцидами ступінь негативного впливу хімічних препаратів на чисельність нецільових грибів у ґрунті був помітно сильнішим, ніж біологічних. Серед різних екологічних груп бактеріальної мікрофлори найбільш вразливими до дії фунгіцидів виявились бактерії, що засвоюють мінеральні сполуки азоту, і оліготрофи. Щодо швидкості відновлення чисельності мікрофлори ґрунту після обробки фунгіцидами, слід зазначити, що на сорокову добу в пробах ґрунту, обробленого хімічними пестицидами, чисельність мікроорганізмів досліджуваних груп була або без достовірних відмінностей, або ж із достовірними, але незначними відхиленнями у той чи інший бік від їх чисельності у контрольному ґрунті. Відмітимо, що за застосування біологічних препаратів чисельність мікроорганізмів більшості груп у цей час була нижчою за відповідні показники контрольного ґрунту. Але на сто десятих добу в обробленому хімічними речовинами ґрунті знов спостерігалось зниження чисельності мікроорганізмів багатьох груп, тоді як у ґрунті, обробленому біологічними фунгіцидами чисельність мікроорганізмів більшості груп перевищувала показники контролю. Це може пояснюватися тим, що за обробки фунгіцидами хімічного походження в певний період ймовірно розвивалась резистентна до цих речовин мікрофлора, або ті її групи, що розкладають ці речовини чи живляться проміжними продуктами їх розкладу.

4. Обговорення

За результатами наших досліджень виявлено токсичний вплив застосованих фунгіцидів на ґрунтову мікрофлору, зокрема нецільові гриби. Негативними наслідками

одноразового обробітку ґрунту фунгіцидами є скорочення чисельності ґрунтових мікроорганізмів та мікроміцетів, порушення оптимального співвідношення різних груп мікроорганізмів, що вплинуло на функціональний стан мікробного ценозу. Наші експериментальні дані узгоджуються із деякими результатами інших дослідників, викладеними нижче. Схожі результати для фунгіцидів з тими ж діючими речовинами, які ми використовували в нашому експерименті, були в публікаціях багатьох дослідників, де описано негативний вплив фунгіцидів на мікробне різноманіття та біологічну активність ґрунту. Так, у горщиковому та польовому досліді на підзолистому піщаному ґрунті з вирощуванням конюшини червоної (*Trifolium pratense* L.) за використання як протруйника насіння, фунгіциду, у склад якого входить карбендазим, на третій і сьомий день після посіву рослин спостерігали зниження чисельності бактерій на ґрунтовому агарі, грибів на середовищі Мартіна та азотобактера на середовищі Йенсена, на сьомий день — зниження чисельності актиноміцетів [9]. На чотирнадцятий день чисельність мікроорганізмів відновлювалась до рівня у контрольному ґрунті, або перевищувала чисельність у контролі. Також відмічена інактивація нітрогеназної активності у період цвітіння, яка зберігалася впродовж двох років, а у польових умовах посилювалася з часом.

Також деякі автори [20, 21] довели негативний вплив (як і в нашому досліді) карбендазиму, тебуконазолу та азоксістробіну на розвиток ґрунтових мікроміцетів, що полягав у зниженні їх чисельності та видового різноманіття. Польські дослідники визначили вплив препарату Гелікур 250 EW з діючою речовиною тебуконазол, на мікробіологічну та біохімічну активність бурозему та розвиток ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.) [20]. Різними дозами фунгіциду обприскували листя ячменю ярого. Найбільш сприйнятливими до дії фунгіциду, як і у нашому дослідженні, виявилися ґрунтові мікроміцети. Крім того, тебуконазол пригнічував активність майже всіх ґрунтових ферментів та інгібував ріст та розвиток рослин ячменю ярого.

В досліді китайських вчених вивчалась дія тебуконазолу і карбендазиму на мікробну активність заплавної ґрунту, відібраного у районі дельти ріки Хуанхе, яка значно пригнічувалася помірними та високими дозами карбендазиму через сім днів після застосування, а тебуконазол значно гнітив дихання ґрунту та його ферментативну активність [21].

Здобуті нами результати (Рис. 1, 2) також узгоджуються з даними, наведеними в оглядовій статті індійських авторів [27] про токсичну дію карбендазиму на ґрунтові мікроорганізми, його негативний вплив на склад мікробного угруповання ґрунту, чисельність мікробів і функції екосистеми, опосередковані мікробами.

Ми встановили порушення співвідношення різних груп мікрофлори, за яким судять про стан і функціонування мікробного ценозу (Табл. 1). Дослідженнями китайських [28] і тайванських [29] фахівців також показано, що карбендазим виявляв інгібуючу дію на мікроорганізми і змінював співвідношення чисельності грибів і бактерій [30]. Результати їх досліджень підтверджують, що застосування карбендазиму зменшує мікробну різноманітність ґрунту та тимчасово змінює структуру бактеріального угруповання. Однак в їх дослідженнях чисельність бактерій у ґрунті, обробленому карбендазимом, відновилася до рівня контролю через 126 [28] або 360 [29] днів після першої обробки залежно від застосованих концентрацій фунгіциду. Автори зазначають, що склад ґрунтової мікробіоти не був стабільним упродовж 120 днів культивування [29]. У нашому досліді також показано, що чисельність мікрофлори в обробленому хімічними фунгіцидами ґрунті майже відновилася на сороковий день після обробки, але на сто десяту добу знов виявилась нижчою, ніж у ґрунті контрольного варіанту (Рис. 1).

В іншій статті китайських авторів про негативний вплив хімічного фунгіциду карбендазиму на ґрунтову мікрофлору відмічено зміну структури бактеріального угруповання та угруповання ґрунтових мікроміцетів і встановлено, що застосування карбендазиму змінило домінуючі види в грибних і бактеріальних угрупованнях ґрунту на полях женьшеню та значно зменшило їх видове різноманіття [31]. Карбендазим знижував чисельність і біорізноманіття грибів та ферментативну активність ґрунту.

Тебуконазол є однією з найчастіше використовуваних активних речовин фунгіцидів із групи триазолів, що має високу ефективність у захисті рослин від грибкових захворювань. Однак надто часте його використання може бути небезпечним для ґрунтових екосистем, призводячи до змін у їх біологічному розмаїтті [32]. Триазольні фунгіциди, зокрема тебуконазол, можуть бути токсичними для широкого кола нецільових організмів [33]. В нашому досліді обробка ґрунту тебуконазолом вже на п'яту добу призвела до достовірного зниження чисельності грибів і оліготрофних бактерій (Рис. 1). У лабораторному експерименті турецьких дослідників тебуконазол знизив мікробну біомасу, функціональну мікробну різноманітність ґрунту, інгібував дихання та активність ферментів [32].

Вплив тебуконазолу на ґрунтові мікроорганізми в глинисто-піщаному чорноземі північної Іспанії вивчали при застосуванні фунгіциду в концентраціях 5, 50 та 500 мг/кг ґрунту. Відбір проб ґрунту проводили на 0, 7, 30, 60 та 90 добу інкубації. У ґрунтах, оброблених тебуконазолом, значення чисельності та активності мікробної біомаси були нижчими порівняно з контролем, а на 30 день значення мікробної біомаси ґрунту, обробленого найвищою дозою тебуконазолу, були на 94,6 % нижчими, ніж у контролі [34]. Наші результати показали найнижчі значення чисельності мікрофлори на 20 добу інкубації.

Надмірне та тривале використання стробілуринів негативно позначається на стані ґрунтової мікрофлори в агроєкосистемах. Багато дослідників виявили, що азоксистробін токсичний не тільки для цільових грибів, але й для нецільових організмів. Результати досліджень лабораторного досліду з оцінювання впливу азоксистробіну на біологічну активність супіщаного бурозему північного сходу Польщі свідчать про суттєві зміни мікробного біорізноманіття, пригнічення чисельності органотрофних бактерій, актиноміцетів та грибів [35]. Ґрунт обробляли різними дозами фунгіциду з діючою речовиною азоксистробін та інкубували при 25°C протягом 30, 60 та 90 днів. За обробки рекомендованою дозою чисельність органотрофних бактерій і актиноміцетів була нижчою ніж в контрольному ґрунті на 60-й і 90-й день, а грибів — на 30, 60 і 90-й день. У нашому досліді найбільший негативний ефект від рекомендованої дози азоксистробіну зафіксовано на 20 добу, після чого чисельність мікроорганізмів поступово відновлювалась, але й на 110 добу чисельність мікроорганізмів усіх досліджуваних груп була достовірно меншою, ніж у контрольному ґрунті. Інші дослідження дії стробілуринових фунгіцидів [36] показали, що застосування азоксистробіну та крезоксим-метилу у тепличних умовах шляхом просочення у ґрунт інгібує активність арбускулярної мікоризи кукурудзи з *Glomus coronatum*, а використання азоксистробіну обприскуванням по листях може значно зменшити загальну популяцію філопланових дріжджів [37]. Оцінка впливу азоксистробіну на нецільові ґрунтові гриби показала, що за певних умов він може зменшити чисельність і різноманітність мікроміцетів ґрунту за використання в рекомендованій нормі навіть після 21 дня після застосування (до 84 днів) [38]. Також є дані [39] про те, що використання азоксистробіну призводить до змін у загальній структурі угруповань грибів у лабораторних зразках ґрунту, інкубованих впродовж 3 місяців. У лабораторних серійних експериментах з ґрунтом північного сходу Китаю доведено, що застосування азоксистробіну змінило структуру [мікробних ценозів](#) і знизило біорізноманіття та ферментативну активність ґрунту [40].

Здобуті нами результати показали, що з часом чисельність мікроорганізмів у ґрунтовій масі чорнозему опідзоленого важкосуглинкового після одноразової обробки її поверхні досліджуваними фунгіцидами тією чи іншою мірою відновилася. Але, як свідчать дані вищенаведеної наукової літератури, в різних ґрунтах наслідки застосування фунгіцидів і швидкість відновлення мікрофлори можуть бути різними. Деякі розбіжності у результатах можуть пояснюватись відмінностями властивостей ґрунту, таких як вміст органічної речовини, рН, рівень зволоженості та ін. До того ж, щорічне систематичне пестицидне навантаження на ґрунти може призвести до накопичення у них залишків фунгіцидів і продуктів їх розкладу та посилення негативного впливу цих речовин на ґрунтову мікробіоту.

Результатами нашого дослідження також виявлено, що у разі використання фунгіцидів біологічного походження так само відбуваються порушення чисельності мікрофлори. Біологічні фунгіциди меншою мірою знижували чисельність нецільових ґрунтових грибів. За даними останнього строку спостережень чисельність більшості досліджуваних груп у пробах ґрунту, обробленого Тріходерміном і Хетоміком була вищою, ніж у пробах ґрунту, обробленого хімічними фунгіцидами, і контрольного ґрунту. З урахуванням того, що попередні дослідження з вивчення ефективності фунгіцидів у вегетаційному досліді показали високу ефективність біофунгіцидів проти збудників кореневих гнилей ячменю [41], у виробничих умовах доцільно чергувати застосування хімічних фунгіцидів з біопрепаратами фунгіцидної дії.

Крім негативного впливу на нецільові ґрунтові організми, застосування синтетичних фунгіцидів також з часом призводить до збільшення стійкості патогенів до діючих речовин фунгіцидів, тому альтернативні методи боротьби зі збудниками хвороб сільськогосподарських рослин необхідно включити в програми управління фітосанітарним станом ґрунтів. Дослідженнями вчених з Коста-Ріки і США [42] показано, що можна замінити 25 % традиційних хімічних фунгіцидів, які використовуються в програмах боротьби зі збудниками хвороб банану в Коста-Ріці, біологічними пестицидами, зберігаючи аналогічний контроль фітопатогенів.

Висновки з нашого експерименту та досліджень інших вчених акцентують увагу на необхідності суворо дозованого, раціонального застосування хімічних фунгіцидів, контролю кількості засобів захисту рослин і кратності обробок з метою зменшення несприятливого їх впливу на біологічні властивості ґрунту і шкідливої дії на довкілля. Спостереження за змінами стану мікробних угруповань ґрунту, їх структури і функціонування, швидкістю відновлення біологічної активності ґрунтів за застосування сучасних фунгіцидів дозволить прогнозувати потенційні екологічні ризики для ґрунтів і довкілля та своєчасно вживати заходи для запобігання їх забруднення.

5. Висновки

За результатами проведених нами досліджень виявлено ознаки тимчасового пригнічення мікробного ценозу ґрунту після одноразової обробки фунгіцидами. Динаміка чисельності мікрофлори в обробленій ґрунтовій масі впродовж періоду спостережень була такою: спочатку, на п'яту добу після обробки її поверхні рекомендованими дозами фунгіцидів, чисельність бактерій основних еколого-функціональних груп та мікроміцетів зростала, крім чисельності бактерій, що засвоюють мінеральні форми азоту, яка зменшувалася за дії всіх застосованих фунгіцидів. Згодом спостерігався відгук мікробного ценозу на хімічне навантаження, який проявився у зниженні чисельності мікроорганізмів усіх досліджуваних груп відносно необробленого контролю. Через двадцять діб після внесення фунгіцидів у ґрунт показники чисельності бактерій та мікроміцетів були на 15–46 % нижчими порівняно з контролем. На сорокову добу чисельність мікроорганізмів більшості досліджуваних нами груп у пробах ґрунту, обробленого хімічними фунгіцидами, майже досягла її рівня у контрольному ґрунті, а чисельність окремих груп була ще вищою, тоді як у ґрунті, обробленому біологічними фунгіцидами, у середньому чисельність мікрофлори залишалася на 15–23 % нижчою. Згідно зі значеннями СБП на сорокову добу чисельність мікрофлори у ґрунті, обробленому карбендазімом, відновилася на 98 %, азоксистробіном — на 93 %, тебуконазолом — на 112 % (перевищила чисельність у контрольному ґрунті), біологічних фунгіцидів — на 85 і 77 %. Але у разі застосування хімічних фунгіцидів відновлення виявилось нестабільним, у більш довготривалій перспективі (на сто десятю добу після обробки) чисельність мікрофлори в обробленому хімічними фунгіцидами ґрунті знову виявилась нижчою порівняно з контрольним ґрунтом у середньому на 10–21 %. За використання біологічних фунгіцидів на сто десятю добу нижчою були лише чисельність органотрофних бактерій (на 9–10 %) і грибів (на 2–19 %), чисельність мікроорганізмів інших груп була достовірно вищою, ніж у контрольному ґрунті, значення СБП для ґрунту, обробленого Триходерміном становили 102 % і Хетоміком — 104 %. Таким чином, швидкість і повнота відновлення були різними залежно від діючої речовини фунгіциду.

Особливо чутливими до дії фунгіцидів виявились оліготрофи і ґрунтові мікроміцети. Ступінь негативного впливу на нецільові гриби хімічних препаратів є помітно більшим, ніж біологічних. Їх чисельність відновлювалася до значень контролю швидше за застосування біологічного фунгіциду Хетоміка.

Використані нами мікробіологічні показники є чутливими біологічними індикаторами, дослідження впливу фунгіцидів на мікробні угруповання з їх використанням надають важливу інформацію про долю пестицидів у ґрунті та їхню токсичність для ґрунтових організмів

Список використаних джерел

1. Aktar W., Sengupta D., Chowdhury A. Impact of Pesticides use in agriculture their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*. 2009. № 2. P. 1-12.
2. Вожегова Р.А., Заєць С.О., Фундират К.С. Онуфран Л. І., Юзюк С. М. Ефективність біологічних і хімічних фунгіцидів у боротьбі зі збудниками грибних хвороб на посівах ячменю озимого в умовах зрошення. *Вісник аграрної науки*, 2021. № 11. С. 67-74. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-09>
3. Muyaiaer T., Huada D. R., Wang L. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *Environmental Research and Public Health*, 2021. № 3. P. 1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
4. Al-Ani M., Hmash R., Kanaan I., Thanoon A. Effect of pesticides on soil microorganisms. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. № 1. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/7/072007>
5. Бублик Л. І., Крук І. В. Методи моніторингу забруднення пестицидами ґрунту агроєкоценозів. *Захист і карантин рослин*, 2008. № 54. С. 87-99.
6. Andrea M. M., Peres B. B., Luchini L. C., Pettinelli A. J. Impact of long-term pesticide application on some soil biological parameters. *Journal of Environmental Science and Health*, 2000. № 35. P. 297-307. <https://doi.org/10.1080/03601230009373271>
7. Kalia A., Gosal S.K. Effect of pesticide application on soil microorganisms. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2011, № 35. P. 669-596. <https://doi.org/10.1080/03650341003787582>

8. Baxter J. The degradation of the herbicide bromoxynil and its impact on bacterial diversity in a top soil. *Journal of applied microbiology*, 2008. № 4. P. 1605-1616. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03709.x>
9. Niewiadomska A. Effect of carbendazim, imazetapir and thiram on nitrogenase activity, the number of microorganisms in soil and yield of red clover (*Trifolium pretense* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*. 2004. № 13. P. 403-410.
10. Мишустин Е. Н., Емцев В. Т. *Микробиология*. Москва: Высшая школа, 1978, С. 350.
11. Bridge P., Spooner B. Soil fungi: diversity and detection. *Plant and Soil*. 2001. № 232. P. 147-154
12. Dighton J. *Fungi in ecology processes*. New York: Marcel Dekker, 2003. P. 443.
13. Frac M., Hannula S. E., Belka M., Jedryczka M. Fungal biodiversity and their role in soil health. *Frontiers in microbiology*. 2018. № 9. P. 56-65.
14. Sun X., Zhu L., Wang J., Wang J., Su B., Du Z., Guo P. Effects of endosulfan on the populations of cultivable microorganisms and the diversity of bacterial community structure in brunisolic soil. *Water, Air, & Soil Pollution.*, 2017. 228(4). P. 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3357-x>
15. Бояндин А. Н., Прудникова С. В., Филипенко М. Л., Храпов Е. А., Васильев А. Д., Волова Т. Г. Биодegradация полигидроксиалканоев почвенными микробиоценозами различной структуры и выявление микроорганизмов-деструкторов. *Прикладная биохимия и микробиология*. 2012. 48(1). С. 35-44.
16. Ingram C. W., Coyne M., Williams D. W. Effects of commercial diazinon and imidacloprid on microbial urease activity in soil. *Journal of Environmental Quality*. 2005. № 5. P. 1573-1580. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0433>
17. Littlefield-Wyer J. G., Brooks P., Katouli M. Application of biochemical fingerprinting and fatty acid methyl ester profiling to assess the effect of the pesticide Atradox on aquatic microbial communities. *Environmental Pollution*. 2008. № 13. P. 393-400. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.08.016>
18. Vazquez-Blanco R., Arias-Estevéz M., Baath E., Fernandez-Calvino D. Comparison of Cu salts and commercial Cu based fungicides on toxicity towards microorganisms in soil. *Environmental Pollution*, 2020, № 257. 113585. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113585>
19. Sardar D. K., Kole R. K. Metabolism of chlorpyrifos in relation to its effect on the availability of some plant nutrients in soil. *Chemosphere*. 2005. № 9. P. 1273-1280. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.03.078>
20. Bacmaga M. W., Wyszowska J., Kucharski J. Response of soil microorganisms and enzymes to the foliar application of Helicur 250 EW fungicide on *Hordeum vulgare*. *Chemosphere*. 2020. № 242. P. 125-163. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125163>
21. Wang C., Wang F., Zhang Q., Liang W. Individual and combined effects of tebuconazole and carbendazim on soil microbial activity. *European Journal of Soil Biology*. 2016. № 72. P. 6-13.
22. Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом висівання на тверде (агаризоване) живильне середовище: ДСТУ 7847:2015 (Національний стандарт України) [Чинний від 01.07.2016].
23. Аристовская Т. В., Худякова Ю. А. Методы изучения микрофлоры почв и ее жизнедеятельности. *Методы стационарного изучения почв*. Москва: Наука, 1977, С. 141-286.
24. Мишустин Е. Н. *Ассоциации почвенных микроорганизмов*. Москва: Наука, 1975, С. 24.
25. Муха В. Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов. *Сб. науч. тр. ХСХИ*, 1980, № 273. С. 13-16.
26. Naidyonova O. E., Baliuk S.A. Biological degradation of Chernozems under irrigation. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2014. 3(4). P. 267–273. <https://doi.org/10.18393/ejss.87170>
27. Singh S., Singh N., Kumar V., Datta S. Toxicity, monitoring and biodegradation of the fungicide carbendazim. *Environmental Chemistry Letters*. 2016. № 14. P. 317-329. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0566-2>
28. Wang X., Song M., Gao C., Dong B., Zhang Q., Fang H., Yu Y. Carbendazim induces a temporary change in soil bacterial community structure. *Journal of Environmental Sciences*. 2009. 21(12). P. 1679–1683. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62473-0](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62473-0)
29. Wang Y. S., Huang Y. J., Chen W. C., Yen J. H. Effect of carbendazim and pencyuron on soil bacterial community. *Journal of Hazardous Materials*. 2009. 172(1). P. 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.142>
30. Yan H., Wang D., Dong B., Tang F., Wang B., Fang H., Yu Y. Dissipation of carbendazim and chloramphenicol alone and in combination and their effects on soil fungal:bacterial ratios and soil enzyme activities. *Chemosphere*. 2011. 84(5). P. 634–641. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.038>
31. Guilong Ma, Xinxin Gao, Jie Nan, Tingting Zhang, Xiaobao Xie, Qi Cai. Fungicides alter the distribution and diversity of bacterial and fungal communities in ginseng fields. *Bioengineered*. 2021. 1(12). P. 8043–8056. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1982277>
32. Kūçük C., Yeşilorman D., Cevheri C. Effect of some fungicides on soil biological activities in laboratory conditions. *Adıyaman University Journal of Science*. 2016. 6(2), P. 187-201.
33. Roman D. L., Voiculescu D. I., Filip M., Ostafe V., Isvoran A. Effects of Triazole Fungicides on Soil Microbiota and on the Activities of Enzymes Found in Soil: A Review. *Agriculture*. 2021. № 9. P. 893-911. <https://doi.org/10.3390/agriculture1>
34. Muñoz-Leoz B., Ruiz-Romera E., Antigüedad I., Garbisu C. Tebuconazole application decreases soil microbial biomass and activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 2011. 10(43). P. 2176–2183. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.001>
35. Bacmaga M., Kucharski J., Wyszowska J. Microbial and enzymatic activity of soil contaminated with azoxystrobin. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. № 10. P. 615-629. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4827-5>
36. Diedhiou P. M., Oerke E. C., Dehne H. W. Effects of the strobilurin fungicides azoxystrobin and kresoxim-methyl on arbuscular mycorrhiza. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2004. 111(6). P. 545– 556. <https://www.jstor.org/stable/43215611>
37. Buck J. W., Burpee L. L. The effects of fungicides on the phylloplane yeast populations of creeping bentgrass. *Canadian Journal of Microbiology*. 2002. 6(48). P. 522–529.
38. Adetutu E. M., Ball A. S., Osborn A. M. Azoxystrobin and soil interactions: degradation and impact on soil bacterial and fungal communities. *Journal of Applied Microbiology*. 2008. № 105. P. 1777-1790. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03948.x>

39. Bertelsen J. R., De Neergaard E., Smedegaard-Petersen V. Fungicidal effects of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yield of winter wheat. *Plant Pathology*. 2001. № 50. P. 190-205.

40. Wang X., Lu Z., Miller H., Liu J., Hou Z., Liang S., Zhao X., Zhang H., Borch T. Fungicide azoxystrobin induced changes on the soil microbiome. *Applied Soil Ecology*, 2020. Vol. 145. 103343. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.08.005>

41. Гетьман Я. В., Найдьонова О. Є. Динаміка чисельності мікроміцетів у чорноземі опідзоленому за застосування різних фунгіцидів. *Біологічні процеси оптимізації продукційного процесу культурних рослин: матеріали Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції, присвяченої 60-річчю ІСМАВ НААН (м. Чернігів, 26–27 жовтня 2021 р.)* Національна академія аграрних наук України, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва, Товариство мікробіологів України ім. С. М. Виноградського. Чернігів: видавець Брагинець О. В., 2021. С. 57–59. https://ismav.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8-2021_%D0%905.pdf

42. Becker P., Esker P., Umaña G. Incorporation of microorganisms to reduce chemical fungicide usage in black sigatoka control programs in Costa Rica by use of biological fungicides. *Crop Protection*. 2021. Vol. 146. 105657. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105657>

UDC 631.427.22

Dynamics of the microorganisms' number in the soil mass of podzolized chernozem after treatment with fungicides of various origins

Y. V. Hetman*, O. E. Naidonova

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

*E-mail: soils.mycology@gmail.com

In a laboratory model experiment, the dynamics of the number of bacteria and micromycetes in the soil mass of podzolized chernozem after a one-time treatment of its surface with fungicides of various origins investigated. Chemical fungicides based on the active substances *carbendazim*, *tebuconazole* and *azoxystrobin*, and biological fungicides based on the antagonistic fungi *Trichoderma viride* (*lignorum*) and *Chaetomium cochliodes* were used. The soil mass for the experiment was taken from the arable layer of the soil on the site without fertilizers in the field experiment of the Department of Agrochemistry NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky" (NSC "ISSAR") on the territory of SE "EF Hrakivske" (Noviy Korotych village, Kharkiv district, Kharkiv region). During 110 days of composting at a constant temperature, changes in the state of microbial communities, in particular soil micromycetes, and the speed and completeness of their recovery compared to soil not treated with fungicides evaluated. The state of the microflora was monitored four times during the study period according to the parameters of the number of microorganisms belonging to various ecological-trophic and taxonomic groups, the total biological index (TBI) and indicators reflecting the functional state of microbial coenoses (oligotrophy and mineralization indices, the coefficient of microbial transformation of soil organic matter (MTSOM)). On the fifth day after treatment with fungicides, the number of bacteria and micromycetes in the samples of the treated soil mass was slightly higher than in the control samples, and on the twentieth day, on the contrary, it was significantly lower. The number of bacteria was lower by 20-46 %, micromycetes by 16-34 % compared to the control. On the fortieth day, a partial restoration of the number of bacteria to the level of the untreated control soil observed, and the number of micromycetes remained lower by 9-36 % compared to the control in the case of chemical fungicides. When using biological fungicides, the number of micromycetes approached the values in control soil and accounted for 84-94 % of them. On the one hundred and tenth day, the number of microflora in the soil treated with chemical fungicides according to TBI was 79-89 % of the control values, and in the soil treated with biofungicides it was 102-104 %. The number of micromycetes decreased to a lesser extent and recovered most completely and quickly in the case of the application of the biological fungicide Hetomic. Given the important role of soil micromycetes in the functioning of soils, a decrease in their number due to the accumulation of residual amounts of chemical fungicides in the soil can have a negative impact on many soil-biological processes, in particular the decomposition of plant residues and further transformation of organic matter, as well as on the phytosanitary state of the soil. Therefore, in order to avoid the possible consequences of their excessive or repeated application and the associated threat of soil contamination, it is necessary to carry out microbiological monitoring of soils in areas with a high fungicide load.

Keywords: soil; fungicides; soil micromycetes; microbial communities; functional state of soil microbial coenosis

Citing: Hetman Y. V., Naidonova O. E. (2023). Dynamics of the microorganisms' number in the soil mass of podzolized chernozem after treatment with fungicides of various origins. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 47-59. [doi:10.31073/acss95-05](https://doi.org/10.31073/acss95-05) [in Ukrainian].

УДК 631.4:551.583.2

Уміст гумусу в чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України у зв'язку з глобальними змінами клімату

В. В. Дегтярьов, О. Ю. Щербаків

Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 09.10.2023 Отримано після доопрацювання 29.11.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.23.2023	Представлено результати дослідження впливу глобальних змін клімату на загальний вміст гумусу в чорноземах типових (Haplic Chernozems (Profundihumic)) Лівобережного Лісостепу України шляхом вивчення особливостей швидкості протікання у ґрунті процесів гуміфікації–мінералізації органічних речовин. У задачі досліджень включено такі: аналіз наукової літератури щодо змін загального вмісту гумусу в чорноземних ґрунтах, які використовуються в аграрному виробництві впродовж різного часу; визначення сучасного вмісту гумусу у досліджуваному ґрунті; аналіз кліматичних умов обраного регіону; співставлення темпів мінералізації гумусових речовин з динамікою кліматичних змін. Новизна досліджень полягає в доповненні уявлення про характер акумуляції органічної речовини в орних чорноземах типових середньосуглинкових Лівобережного Лісостепу України у зв'язку з глобальним потеплінням клімату. Проведені дослідження показали, що темпи мінералізації гумусу у шарі ґрунту 0–10 см впродовж аналізованого періоду (92 роки) були різними. У перші 25 років падіння вмісту гумусу становило в середньому 0,036 % на рік, у наступні 15 років — 0,063 % на рік. Після цього відбулося різке зниження темпів дегуміфікації і за останній 22-річний період становило 0,012 % на рік. Причиною цього може бути вплив кліматичних умов на процеси гуміфікації–мінералізації. Саме підвищення середньорічних температур повітря на 2,9° С, зростання температури поверхні ґрунту на 1,6° С, поряд зі зменшенням кількості опадів за вегетаційний період на 40 мм призвело до зниження вологозабезпеченості ґрунту за останні 22 роки. І саме це є причиною порушення балансу між процесами гуміфікації і мінералізації, в бік посилення останніх.

* E-mail: dvv4013@gmail.com; shcherbakovsany84@gmail.com

Форма цитування: Дегтярьов В. В., Щербаків О. Ю. Уміст гумусу в чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України у зв'язку з глобальними змінами клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ "ІГ А ім. О. Н. Соколовського". С. 60-68. <https://doi.org/10.31073/acss95-06>

1. Вступ

Зовнішнє середовище ґрунтової екосистеми утворюють материнська порода, підґрунтові води, гірські породи та атмосфера за особливостями погоди й клімату в місці ґрунтоутворення. Останні, як визначив В. В. Докучаєв [1], за притаманними їм режимами сонячної радіації, надходження тепла, випадіння атмосферних опадів визначають напрями формування гумусу, його якість, кількість, розподіл у ґрунтового профілі тощо. Гумус є головною органічною ознакою ґрунту, як природного тіла, утвореного протягом тисячоліть внаслідок взаємодії гірської породи, клімату, живих організмів і решток їхньої життєдіяльності в тонкому поверхневому шарі земної кулі [2]. Гумус є об'єктом постійної взаємодії великого й малого геохімічних кругообігів речовин на Землі. Він сприяє регулюванню біосферних процесів завдяки динамічному відтворенню родючості ґрунту, бере участь у регулюванні хімічного складу атмосфери й гідросфери, здійснює акумуляцію активної органічної речовини і хімічної енергії.

Формування гумусових речовин відбувається внаслідок дії сукупності біохімічних, біофізичних та фізичних процесів гумусоутворення. До них належать: розкладання решток органічних речовин, їх мінералізація, фізичне, хімічне та біологічне вивітрювання гірських порід, взаємодія ґрунтової флори і фауни з мінеральною частиною ґрунту, мікробний синтез продуктів згаданих процесів та інші. Усі ці процеси відбуваються в осередку ґрунтової екосистеми, де створюються відповідний водний та повітряний режими. Із зовнішнього середовища надходить енергія, що є рушійною силою зазначених процесів. Поєднання вказаних чинників, особливості їх добового та річного ходу, сезонні відмінності, кліматичні умови відповідної місцевості визначають можливості, напрями, інтенсивність, обсяги й наслідки гуміфікації [2].

На думку В. П. Дмитренка [2], склад органічної частини ґрунту, наслідки гуміфікації за якістю, обсягами та розподілом гумусових речовин у середовищі, характеристики процесів гуміфікації (тривалість, інтенсивність, обсяги, просторові ознаки тощо), цілком

підпорядковані особливостям гідрометеорологічного режиму атмосфери і ґрунту. Термічний режим процесів гумусоутворення обмежується екологічними екстремумами та оптимумами. У поєднанні з часовими характеристиками вони мають чітко позначити початок, тривалість, закінчення та закономірності будь-якого зі згаданих процесів, а також термічні потреби на їх здійснення, місце чи розміщення за ознаками сезонного та річного ходу. Разом з тим, зазначені термічні ознаки гумусоутворення можуть допомогти розв'язати питання обсягів, шляхів, протяжності та швидкості пересування гумусових речовин.

Сільськогосподарська діяльність людини змінює природний хід гумусоутворення і гумусонакопичення, кількість та якість маси органічних речовин, які надходять до ґрунту, інтенсивність і спрямованість процесів гуміфікації. Глобальні зміни клімату можуть прискорювати або уповільнювати ці процеси.

Вчені, які досліджували процеси трансформації гумусового стану ґрунтів залежно від їх використання — М. І. Лактіонов, Г. Я. Чесняк, А. Д. Балаєв, та інші показали, що введення цілинних ґрунтів у сільськогосподарське використання призводить до зниження вмісту гумусу в них і, вже через 50–60 років, ці ґрунти з високогумусованих можуть перейти в категорію низькогумусованих або навіть малогумусних внаслідок інтенсивної мінералізації гумусу [3–5]. За більш тривалого використання чорноземів в умовах агропромисловості відбувається стабілізація загального вмісту гумусу у ґрунті [3 с.57]. Також у ряді робіт [3, 4] наводяться дані, які свідчать про поступову дегуміфікацію чорноземів, які тривалий час використовуються у сільськогосподарському виробництві. Про це також відомо з матеріалів періодичних доповідей про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення восьмого, дев'ятого та десятого турів обстеження. Як зазначається в Національній доповіді про стан родючості ґрунтів України [6], співставлення гумусованості ґрунтів за часів Докучаєва (1882 р.) з сучасним станом (авт. 2010 р) свідчить, що відносні втрати гумусу за цей, майже 120-річний, період досягли 22 % в Лісостеповій, 19,5 — в Степовій і біля 19 % — у Поліській зонах України. Найбільші втрати гумусу відбулися в період 60–80 рр. минулого сторіччя, що зумовлено інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва шляхом збільшення площ просапних культур, перш за все, цукрових буряків і кукурудзи. У цей період щорічні втрати гумусу сягали 0,55–0,60 т/га. На жаль процеси дегуміфікації протягом останніх 20 років не зупинилися, а продовжують протікати з достатньо високою інтенсивністю. За результатами агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення уміст гумусу в ґрунтах України зменшився протягом останніх 4-х турів (1986–2005 рр.) на 0,5 % в абсолютних одиницях, а за останніх 5 турів (1986–2010 роки) — на 0,22 % в абсолютних величинах [7]. Порівнюючи з IX туром обстеження, дані X туру свідчать про те, що вміст гумусу в ґрунтах підвищився на 0,02 %. У зоні Лісостепу, порівнюючи з попереднім туром, змінилися лише площі з низьким (зменшилися на 1 %) та високим (збільшилися на 2 %) вмістом гумусу, а площі з дуже низьким, середнім, підвищеним та дуже високим його вмістом залишилися на рівні IX туру обстеження. Та незважаючи на деяке підвищення цього показника, продовжується процес дегуміфікації ґрунтів, про що свідчать від'ємні показники балансу гумусу [8].

Боїнчан Б. [9] зазначає, що запаси ґрунтового органічного вуглецю в 4,4 рази більші, ніж у живих організмах, і в 3,3 рази вищі, ніж в атмосфері. Відтоді як чорноземи були розорані, запаси органічного вуглецю в них знизилися на 30–70 % і все ще продовжують знижуватися. В природних екосистемах надходження і винесення органічного вуглецю перебуває у рівновазі, але за обробітку ґрунтів, ресурси, що застосовуються, значно менші за винесені (не тільки внаслідок порушення степової повсті), а й завжди. Найбільші втрати органічних речовин відбулися внаслідок руйнування степової повсті, але вони все ще дуже значні, тому що в орних ґрунтах річне надходження органічних речовин не тотожне річним втратам. У тривалих польових дослідках використання виключно тільки мінеральних добрив подвоювало щорічні втрати органічних речовин ґрунту, порівняно з неудобреними ділянками.

Згідно з аналізом наукової літератури [3–5], за тривалого використання чорноземів повинна відбуватися певна трансформація органічної складової ґрунту: оскільки кількість поживних органічних решток, що надходять до чорнозему більш-менш однакова кожного року, то й процеси гуміфікації у ґрунті повинні бути більш-менш стабільні. Тобто, у чорноземах, які тривалий період використовуються у сільськогосподарському виробництві процеси гуміфікації і мінералізації практично повинні компенсувати один одного. Але цього не спостерігається. Мабуть причина мінералізації гумусових речовин дещо в іншому.

Про вплив запасів органічних речовин ґрунту на глобальні температури та про те, як температура може впливати на розклад органічних речовин ґрунту, існує багато думок і суперечок, але однак думки немає [10,11]. Можливо, швидкість розкладу

органічного вуглецю буде збільшуватися з підвищенням температури, якщо процес не зупиниться внаслідок нестачі ґрунтової вологи. Беручи до уваги потепління клімату в Європі Olesen і Bindri [12] вважають, що країни північної півкулі виграють від більш тривалого вегетаційного періоду та зможуть збільшити спектр сільськогосподарських культур; у країнах південної півкулі будуть спостерігатися більш часті і більш сильні посухи.

Сьогодні можна з упевненістю сказати, що значні кліматичні зміни вже відбуваються. Ми повинні замислитися та зрозуміти, що людство не має права піддавати атмосферу планети забрудненню. Якщо ми не розпочнемо активно діяти, то вже незабаром наблизимось до тієї межі, коли глобальну зміну клімату зупинити буде вже неможливо і життя на планеті у майбутньому буде під загрозою. Зміна клімату може впливати на суспільство, економіку та екосистеми. Вона може призводити до екстремальних погодних явищ, втрати біорізноманіття, підвищеного ризику для здоров'я та вимушеного переселення людей.

Потепління в наш час — це не лише природний процес, бо відбувається у 10 разів швидше, ніж будь-коли раніше. Все частіше науковці вживають термін «кліматична криза» замість «зміни клімату», щоб підкреслити серйозність цієї проблеми та потребу її вирішувати вже зараз. Кліматична криза — це надмірно стрімка зміна клімату «через» підвищення глобальної середньої температури. Щоб протидіяти кліматичній кризі, слід досягти вуглецевої нейтральності вже 2050 року та адаптуватися до змін клімату.

Згідно з даними М. Косолапа та А. Ящук [13], клімат України, як і всієї Земної кулі, за весь період інструментальних спостережень, потеплішав, а динаміка зміни клімату України здебільшого є синхронною зі змінами глобального клімату. Ми оцінили динаміку зміни середньорічної температури повітря за 4 п'ятирічних періоди з 1965 року в Харківській області. На рисунку 1 наведено криві зміни середньорічної, максимальної та мінімальної температури повітря. За наведеними даними, можна зазначити, що мінімальна, середня та максимальна температура мають однаковий тренд зростання. Середньорічна та максимальна температура зросла на 1,8° С, а мінімальна — на 1,4° С.

Дослідження з моніторингу змін регіонального клімату Степової зони України, проведені в Інституті зрошуваного землеробства, показали, що впродовж 135-річного періоду інструментальних спостережень відбувались істотні коливання як температури повітря, так і кількості опадів. За цей час відзначено три періоди потепління. При цьому сучасне потепління є більш помітним за попередні [14].

Наразі в Україні потепління вже становить 1–1,5° С і наближається до 2° С, і регіонів з обмеженими запасами тепла для вирощування теплолюбних культур (кукурудза, соя) немає. Водночас швидке й надмірне накопичення тепла скорочує вегетаційний період, сприяє ранньому дозріванню різних рослин і може призвести до зниження врожайності [15].

Результати досліджень І. Г. Вишенської та В. В. Іваник [16] показали, що вміст вуглецю у верхньому шарі (0–4 см) у 42 % випадків визначали 3 фактори впливу: вологість ґрунту на глибині 15 і 30 см та температура повітря попереднього місяця. Вміст вуглецю в середньому шарі (8–12 см) у 89 % випадків визначали 6 факторів впливу, а саме: кількість відмерлої біомаси, місячна кількість опадів, температура ґрунту на глибині 10 см за два тижні та за місяць до відбирання проб, загальна кількість опадів у попередньому місяці та середня температура попереднього місяця. Вміст вуглецю в нижньому шарі (16–20 см) у 92 % випадків визначали 7 факторів впливу: кількість відмерлої біомаси, вологість ґрунту на глибині 30 см за місяць до відбирання проб, місячна кількість опадів у місяці відбирання проб та у попередньому, середня температура ґрунту на глибині 5 та 10 см за два тижні до відбирання і середньомісячна температура ґрунту за місяць до відбирання.

Міжнародний досвід адаптації способів використання земельних ресурсів до змін клімату передбачає виконання низки стратегічних заходів, які б дозволили запобігти розвитку деградаційних процесів у ґрунті. Серед них чільне місце належить: призупиненню зменшення вмісту гумусу й досягненню його бездефіцитного балансу шляхом застосування традиційних і нетрадиційних органічних добрив; послабленню антропогенного пресингу на ґрунтовий покрив; застосуванню ґрунтоохоронних низьковуглецевих технологій, зокрема, no-till; оптимізації структури посівних площ з вилученням з обробітку малопродуктивних і деградованих ґрунтів; розвиток біологічного землеробства; розвиток агро- й екологічного страхування (розроблення й застосування механізму страхування родючості ґрунтів) [17].

На підставі проведених досліджень В. А. Гаврилюк і Р. Я. Мелимука [18] приходять до висновку, що процес мінералізації, тобто втрати органічного вуглецю, суттєво інтенсивніший на розорюваних земельних ділянках сільськогосподарського призначення,

водночас на частково порушених угіддях, призначених для вирощування ягідників, та непорушених цілинних землях процес емісії CO₂ значно слабший.

Метою наших досліджень є встановлення впливу глобальних змін клімату на процеси гуміфікації–мінералізації в чорноземах типових середньосуглинкових на лесоподібних суглинках Лівобережного Лісостепу України. У задачі досліджень входило: аналіз наукової літератури, щодо змін загального вмісту гумусу в чорноземних ґрунтах, які використовуються в аграрному виробництві впродовж різних періодів; визначення вмісту гумусу у досліджуваному ґрунті; аналіз кліматичних умов регіону проведення досліджень та співставлення темпів мінералізації гумусових речовин з динамікою кліматичних змін.

Новизна досліджень полягає в доповненні уявлення щодо питань акумуляції органічної речовини в орних чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України у зв'язку з глобальним потеплінням клімату.

2. Об'єкти і методи досліджень

Об'єктом досліджень слугував чорнозем типовий середньосуглинковий на лесоподібному суглинку на території сільськогосподарського підприємства, розташованого поблизу с. Катеринівка та заповідника «Михайлівська цілина» (Лебединський район, Сумська область). Обраний об'єкт досить добре і всебічно вивчений в ботанічному, ґрунтово-геоморфологічному і сільськогосподарському аспектах. Вибір даного об'єкта зумовлено тим, що саме цей чорнозем був ретельно досліджений вченими кафедри ґрунтознавства Харківського НАУ ім. В. В. Докучаєва (нині Державний біотехнологічний університет) М. І. Лактіоновим [4] і В. В. Десятьоровим [3, 5], деякі результати досліджень яких були використані для порівняння.

Ґрунтовий покрив досліджуваної території, в основному, складений чорноземами типовими середньосуглинковими (Haplic Chernozems (Profundihumic)), які залягають на вододільних плато та слабологих схилах. Чорноземні ґрунти — характерні представники ґрунтового покриву Лісостепової зони. Ці ґрунти мають досить високу природну родючість і характеризуються значною гумусованістю, великими запасами поживних речовин, насиченістю ґрунтового колоїдного комплексу обмінними основами, особливо, кальцієм, нейтральною (або близькою до неї) реакцією ґрунтового розчину, вони різко виділяються серед решти ґрунтів властивостями і зовнішнім виглядом.

Генетичний профіль досліджуваного чорнозему типового середньосуглинкового на лесоподібному суглинку характеризується однорідністю, відсутністю переміщення ґрунтових колоїдів; найбільш гумусований темнозабарвлений верхній гумусовий горизонт зі зменшенням ступеня гумусованості поступово переходить у материнську породу. Для ґрунтів, які формуються під трав'яною рослинністю, характерним є слабе вилугування фільтраційними токами води. У чорноземі відсутні розчинні кислі речовини, у материнських породах багато вуглекислого вапна і увібраного ґрунтовим колоїдним вбирним комплексом кальцію, завдяки чому вони вилугувані значно менше, ніж більшість ґрунтів.

Чорнозем типовий середньосуглинковий на лесоподібному суглинку кормової сівозміни, що використовується в сільськогосподарському виробництві близько 100 років, має таку морфологічну будову ґрунтового профілю (координати об'єкта: широта /Пн/ 50° 45' 17,75"; довгота /Сх/ 34° 10' 39,43"):

Н (А)	— гумусово-акумулятивний, темно-сірий, середньосуглинковий, 0-27 см
0–46 см	орний, грудкувато-порохуватий, щільний, вологий, безкарбонатний, 27-46 см підорний, слабо ущільнений, грудкуватий, поступово за забарвленням переходить у
Нрк (В ₁)	— перехідний, темно-сірий з буруватим відтінком, грудкуватий, середньосуглинковий, «кипить» від HCl, слабо ущільнений, кротовини зі слабогумусованим матеріалом, ходи землеріїв, поступово за забарвленням переходить у
46–89 см	
Нрк (В ₂)	— перехідний, бурий, плямистий через переритість землеріями, середньосуглинковий, сирий, карбонатний, кротовини зі слабогумусованим матеріалом. Коротко за забарвленням переходить у
89–127 см	
Рhk (BC)	— перехідний, бурий, слабо і неоднорідно гумусований, середньосуглинковий, бурхливо «кипить» від HCl, багато «псевдоміцелію» карбонатів, пухкіший від попереднього. Поступово за забарвленням переходить у
127–168 см	
Рк (С)	— материнська порода, палевий карбонатний середньосуглинковий лесоподібний суглинок
168–240 см	

Територія поля, на якому були відібрані проби чорнозему типового, вилучена з меж заповідника «Михайлівська цілина» у 1930 році і включена в кормову сівозміну. Насиченість сівозміни просапними культурами становить 40 %. Урожайність сільськогосподарських культур в середньому становить 37,4 ц корм. од.

Для аналітичних досліджень відбирали індивідуальні зразки по профілю чорнозему згідно з ДСТУ 4287:2004¹⁷.

Проби ґрунту, які досліджувались в лабораторних умовах, відбирались, головним чином, у межах гумусового горизонту. Теоретичною передумовою прийнятого порядку відбирання проб для аналізу стало узагальнення літературних даних і результати власних спостережень, які переконливо свідчать про те, що ознаки будь-яких змін будуть виявлятися, перш за все і головним чином, у межах верхнього біологічно активного шару ґрунту.

Для лабораторних досліджень використовували змішані зразки, які складалися з індивідуальних проб, відібраних в ідентичних умовах ґрунтоутворення. Для проміжного контролю одночасно відбирали індивідуальні зразки таким же чином. В межах гумусового горизонту відбирались зразки ґрунтів з глибини 0-10 см. Конкретні місця відбору ґрунтових зразків на вище вказаному об'єкті «прив'язувалися» ближче до тих розрізів, на основі яких попередні автори (М. І. Лактіонов [4], В. В. Дегтярьов [3,5]) свого часу провели численні дослідження з характеристики досліджуваного нами чорнозему і в їх роботах мають дані умісту гумусу саме в досліджуваному нами ґрунті. Для аналізу в даній статті використано узагальнені результати визначення гумусу у шарі 0–10 см.

Загальний уміст гумусу визначали методом І. І. Тюріна в модифікації С.М. Симакова (ДСТУ 4289:2004).¹⁸

3. Результати досліджень

З використанням даних досліджень М. І. Лактіонова [4] і В. В. Дегтярьова [3 с. 54, 5] було проведено порівняння умісту гумусу залежно від тривалості використання чорноземів (Рис. 1): 1960 — 30 років від початку сільськогосподарського використання колишніх цілинних земель; 1985 — 55 років; 2000 — 70 років; 2022 — 92 роки. Динаміка загального вмісту гумусу у шарі ґрунту 0–10 см показує, що в перший період розорювання і сільськогосподарського використання внаслідок ущільнення ґрунту й інтенсивної мінералізації решток рослин йде досить інтенсивне зниження загального вмісту гумусу. У подальшому цей процес не припиняється. Темпи мінералізації (падіння вмісту гумусу) у перші 25 років становлять в середньому 0,036 % на рік, у наступні 15 років набувають піку, доходючи в середньому до 0,063 % на рік. Після цього відбувається різке зниження темпів деґуміфікації і за останній 22 річний період вони доходять до рівня 0,012 % на рік.

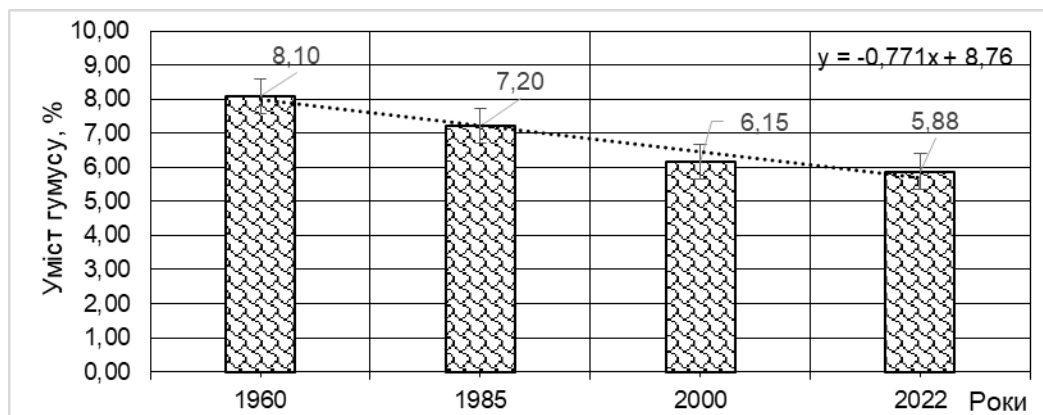


Рис.1. Динаміка загального вмісту гумусу в чорноземах типових середньосуглинкових на лесподібних суглинках (Сумська обл., Лебединський р-н, с. Катеринівка), шар 0-10 см (за даними: 1960 – [4]; 1985– [5], 2000 [3,с.54], 2022 – дані авторів)

Згідно з результатами досліджень В. В. Дегтярьова [3, с. 57] у процесі тривалого сільськогосподарського використання чорноземів у них відбувається збалансування

¹⁷ Якість ґрунту. Відбирання проб : ДСТУ 4287:2004.– [Чинний від 2004-04-30]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 5 с.– (Національні стандарти України).

¹⁸ Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини: ДСТУ 4289:2004.– [Чинний від 2004-04-30]. –К.: Держспоживстандарт України, 2005.– 9 с.– (Національні стандарти України).

процесів мінералізації–гумусоутворення; ці процеси компенсують один одного і вміст гумусу у чорноземі повинен стабілізуватися. Але, згідно з проведеними дослідженнями цього не відбувається. Незважаючи на те, що до ґрунту надходить більш-менш однакова кількість рослинних решток, відбувається поступова дегуміфікація чорнозему. На нашу думку, це може бути пов'язано з кліматичними умовами останніх десятиліть.

Аналіз динаміки середньорічних температур повітря на території проведення досліджень (Рис. 2) показує, що за двадцятип'ятирічний період спостережень середня температура повітря чітко зростає. Якщо на початку спостережень вона в середньому становила близько 6,5°С, то в кінці досліджень — більше 9,4°С (лінія тренду), тобто зростання температури становить 2,9°С. Коливання по роках становили 4,7°С (1987 р.) — 10,2°С (2020 р.).

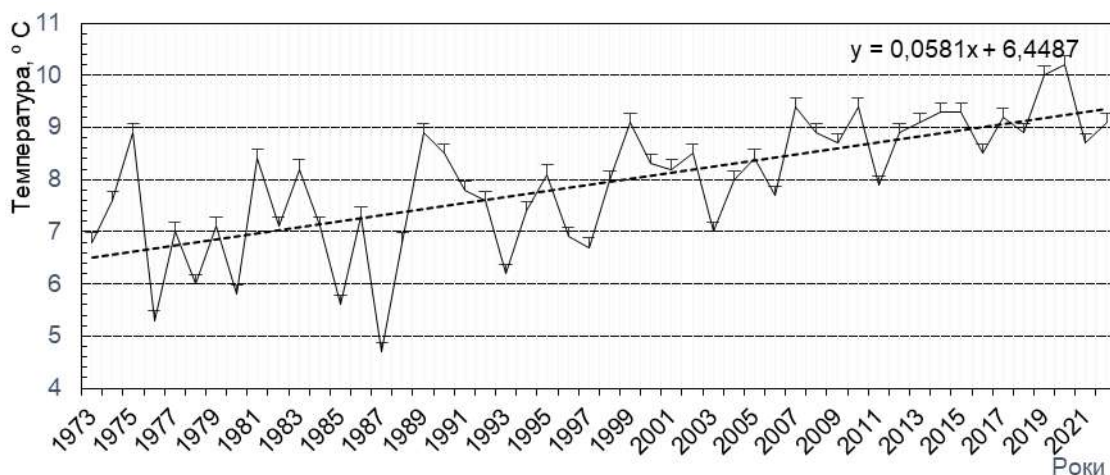


Рис.2. Динаміка середньорічної температури повітря в Лебединському районі Сумської області (за даними метеостанції Лебедин)

Аналогічна тенденція спостерігається і з даними динаміки середньорічної температури повітря протягом вегетаційного періоду (Рис. 3). Але, мінімальні температури повітря (14,0–14,1°С) спостерігаються в 1976, 1978 і 1987 рр., тоді як максимальні температури (18,6–19,2°С) притаманні останньому періоду досліджень (2010, 2012, 2018). Аналіз середньорічних даних за досліджуваний період (1973-2022 рр.) показує, що температура повітря протягом вегетаційного періоду загалом зросла майже на 3°С.

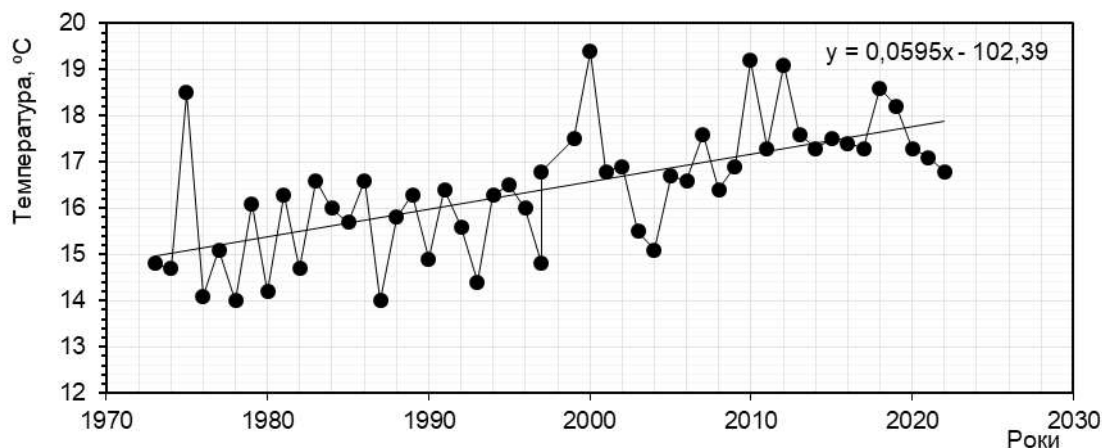


Рис. 3. Динаміка середньорічної температури повітря за вегетаційний період в Лебединському районі Сумської області (за даними метеостанції Лебедин)

Загальне потепління атмосферного повітря у вегетаційний період викликає деяке зростання температури ґрунту (Рис. 4). Так, за 1973–2022 рр. температура поверхні ґрунту протягом вегетаційного періоду коливалася від 0°С у 1976 році до 5,3°С у 2010 році. Загальний тренд даних показує, що за досліджуваний період відбулося зростання температури поверхні ґрунту з 1,5°С до 3,1°С, тобто на 1,6°С. Таке зростання температури безперечно суттєво впливає на ґрунтові процеси і, перш за все, на процеси гуміфікації–мінералізації органічних складових ґрунту. Підвищення параметрів температурного режиму ґрунту призводить до переважання процесів мінералізації

органічних решток над процесами гуміфікації. Саме тому ми спостерігаємо (Рис.1) зниження загального вмісту гумусу у чорноземах типових, які використовуються у сільськогосподарському виробництві дуже тривалий період.

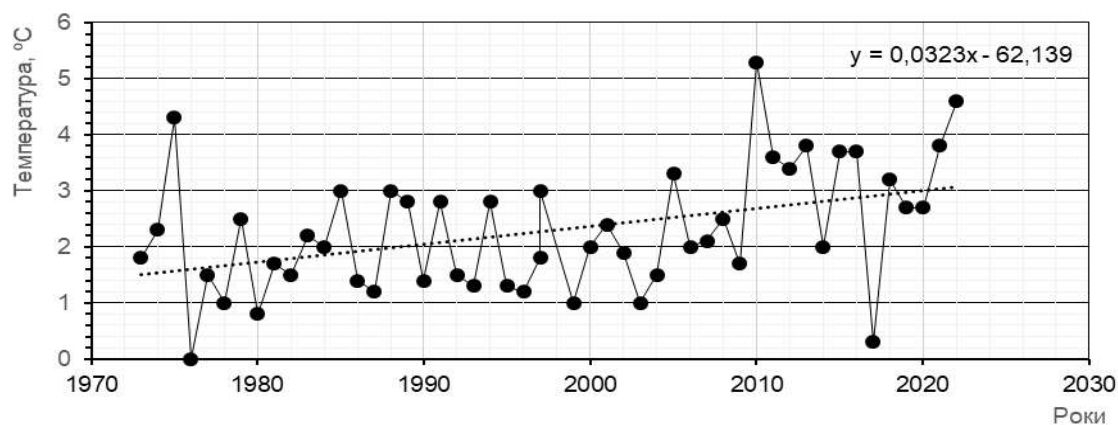


Рис. 4 Динаміка середньорічної температури поверхні ґрунту за вегетаційний період в Лебединському районі Сумської області (за даними метеостанції Лебедин)

На процеси гуміфікації рослинних решток має безперечний вплив також вологість ґрунту, яка, в нашому випадку, дуже залежить від кількості атмосферних опадів. Аналіз динаміки середньорічної кількості опадів за вегетаційний період (Рис. 5) показує, що кількість опадів по рокам дуже відрізняється, коливаючись від 154,9 мм у 2017 році до 538,6 мм у 1988 році. В той же час, діаграма показує, що останні десятиріччя характеризуються більш посушливими умовами протягом вегетаційного періоду. Лінія тренду показує, що середня кількість опадів за вегетаційний період знизилася з 350 мм до 310 мм.

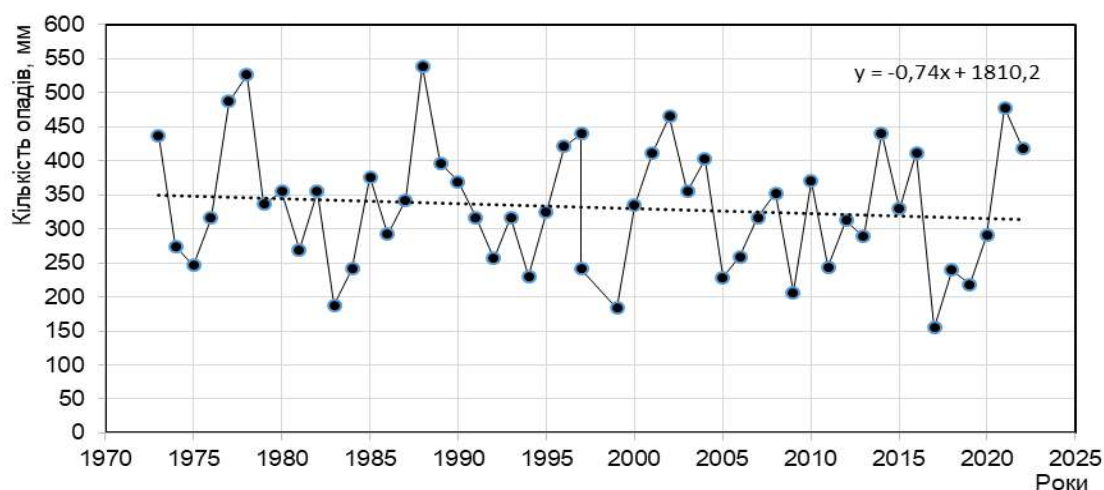


Рис. 5. Динаміка середньорічної кількості опадів за вегетаційний період в Лебединському районі Сумської області, мм (за даними метеостанції Лебедин)

Обговорення

Аналіз наукової літератури і наші спостереження свідчать про певну аридизацію клімату Лісостепу України, що може суттєво впливати на характер протікання у ґрунті процесів гуміфікації–мінералізації. Аналіз даних загального вмісту гумусу в чорноземі типовому свідчить (Рис. 1), що на хід природних процесів гумусоутворення діють не тільки втручання людини, а й можливо, глобальні кліматичні зміни. У природних умовах баланс між процесами гуміфікації та мінералізації решток компонентів біоценозу урівноважений. Розмикання біологічного кругообігу речовин та порушення екологічної рівноваги в агроєкосистемах призводить до посиленої мінералізації гумусу, разом з тим як втрати не поповнюються відповідною кількістю свіжої органічної речовини [20]. Обробіток ґрунту призводить до інтенсивного перемішування, переміщення, розпушення верхньої частини профілю ґрунту. При цьому зазнає змін водний, повітряний, тепловий, світловий та інші

режими, що зумовлює певні зміни мікробіологічної активності ґрунту. Згідно з результатами досліджень, наведених у науковій літературі [3, 4, 5] найбільш інтенсивна мінералізація органічної частини чорнозему відбувається в перші 50–70 років після розорювання цілинних ґрунтів. У подальшому темпи мінералізації-гуміфікації стабілізуються, й відповідно повинен стабілізуватися загальний уміст гумусу. Аналізуючи результати власних досліджень зазначимо, що таке положення не справджується для досліджуваного об'єкту, незважаючи на те, що останні 22 роки в системі сівозміни, а отже й кількості надходження біомаси до ґрунту, не відбулося суттєвих змін. Це свідчить, що до ґрунту надходила майже однакова кількість органічних решток, що мало би забезпечити стабілізацію умісту гумусу. Але цього не відбувається. Згідно з нашими даними темпи мінералізації гумусу у шарі чорнозему 0–10 см за останні 22 роки становлять 0,012 % на рік. Причину цього ми вбачаємо у впливі кліматичних умов на процеси гуміфікації-мінералізації. Саме підвищення середньорічних температур повітря на 2,9°С і зростання температури поверхні ґрунту на 1,6°С, поряд зі зменшенням кількості опадів за вегетаційний період на 40 мм, тобто зменшення вологості ґрунту, які відбулися за останні 22 роки, можуть, на нашу думку, призвести до порушення балансу між процесами гуміфікації і мінералізації в бік посилення останніх.

Результати досліджень І. Г. Вишенської та В. В. Іваник [16] також свідчать, що уміст вуглецю у верхньому шарі (0–4 см) визначають такі фактори, як вологість ґрунту на глибині 15 і 30 см та температура повітря попереднього місяця. Вміст вуглецю в середньому шарі (8–12 см) визначають 6 факторів впливу: кількість відмерлої біомаси, місячна кількість опадів місяця відбору, температура ґрунту на глибині 10 см за два тижні та за місяць до відбору, місячна кількість опадів попереднього місяця та середня температура попереднього місяця.

Близькі до наших висновки наводить Н. Майданович [19]. Він зазначає, що до негативних наслідків впливу кліматичних змін на агросферу належать такі: посилення посушливості впродовж вегетаційного періоду; прискорення розкладання гумусу в ґрунтах; зниження зволоженості ґрунтів у південних регіонах; погіршення якості зерна та незабезпечення повної яровизації зернових; зростання кількості шкідників, поширення збудників хвороб рослин та бур'янів завдяки сприятливим умовам для їх перезимівлі; зростання вітрової та водної ерозії ґрунту, спричинене збільшенням кількості посух та екстремальних опадів; збільшення ризиків вимерзання озимих культур через відсутність стійкого снігового покриву.

Таким чином, зниження умісту гумусу в орних чорноземах типових, які тривалий час використовуються в сільськогосподарському виробництві, може бути пов'язане з потеплінням клімату та зменшенням кількості опадів.

Висновки

Проведені дослідження показали, що в останні десятиліття спостерігається певна мінералізація загального гумусу в чорноземах типових на території Сумської області, темпи якої у шарі чорнозему 0–10 см за останні 22 роки становлять 0,012 % на рік. Причину цього ми вбачаємо у впливі змінених кліматичних умов на процеси гуміфікації-мінералізації органічних речовин. Саме підвищення середньорічних температур повітря на 2,9°С, зростання температури поверхні ґрунту на 1,6°С, поряд зі зменшенням кількості опадів за вегетаційний період на 40 мм, тобто зменшення вологості ґрунту, які відбулися за останні 22 роки, могли призвести до порушення балансу між процесами гуміфікації і мінералізації в бік посилення останніх.

Перелік використаних джерел

1. Докучаев В. В. *Наши степи прежде и теперь*. ред. и авт. предисл. В. Р. Вильямс, З. С. Филиппович. Москва: Сельхозгиз, 1936. 116 с. URL: <http://irbis-nbuv.gov.ua/ulib/item/ukr0000013125>
2. Дмитренко В. П., Осадча Н. М., Чернецька С. А. Про вплив метеорологічних чинників на гумусові речовини ґрунтових та водних екосистем. *Наук. праці УкрНДГМІ*, 2005, Вип. 254. С.114-135 URL: https://uhmi.org.ua/pub/np/254/10_Dm_Osad_Chernez.pdf
3. Дегтярьов В. В. *Гумус чорноземів Лісостепу і Степу України: монографія* / За ред. Д. Г. Тихоненка. Харків: Майдан, 2011. 360 с.
4. Лактионов Н. И. *Органическая часть почвы в агрономическом аспекте: монография*. Харьков. Гос. аграр. ун-т им. В.В. Докучаева. Харьков: ХГАУ им. В. В. Докучаева, 1998. 122 с.
5. Дегтярьов В. В., Шеремет Л. Г. Влияние сельскохозяйственного использования черноземов «Михайловской целины» на количественные и качественные изменения гумуса. *Окультуривание почв и эффективность удобрений*. Сб. науч. тр. Харьк. с.-х. ин-т.. 1985. Т. 314. С. 94-98.
6. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. Київ, 2010. С.14-16 [Електронний ресурс] URL: https://www.ioqu.gov.ua/literature/periodically/1_2010.pdf

7. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України за результатами 9 туру (2006–2010 роки) агрохімічного обстеження земель. Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», Київ, 2015. С.19 [Електронний ресурс]. URL: <http://www.iogu.gov.ua/link/directions/edition.html>
8. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України за результатами X туру (2011–2015 роки) агрохімічного обстеження земель. Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», Київ, 2020 [Електронний ресурс] URL: http://www.iogu.gov.ua/literature/periodically/3_2020.pdf
9. Боинчан Б., Дент Д. Земледелие на черноземах адаптивный менеджмент почв. Chisinau: Prut International, 2020. С. 57-90. Перевод с английского языка: Велисар С. Г. URL: <https://www.eco-tiras.org/books/Boincean%20B.%20%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D0%B0%D0%20%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B7%D0%B5%D0%B%D0%B0%D1%85%D0%20%D0%20compressed.pdf>
10. Kirschbaum M. U. F. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming? *Biogeochemistry*. 2000. 48. С. 21-51. <https://doi.org/10.1023/A:1006238902976>
11. Davidson E. A., Janssens I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Reviews. Nature*. 2006. 440(7081). С. 165-173. <https://doi.org/10.1038/nature04514>
12. Olesen J., Bindi M. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*. 2002. 16. С. 239-262. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00004-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00004-7)
13. Яшук А. І., Косолап М. П. Динаміка змін температурного режиму в Харківській області. Збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти», 10-12 квітня 2019 року. ДУ НМЦ «Агроосвіта», Київ–Миколаїв–Херсон, 2019. С. 110-111. http://www.ksau.kherson.ua/files/kaf_budmeh/Malinka%20tezu%202019.pdf#page=109
14. Вожегова Р. А. Напрями адаптації галузі рослинництва до регіональних змін клімату. Збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти», 10-12 квітня 2019 року. ДУ НМЦ «Агроосвіта», Київ–Миколаїв–Херсон, 2019. С. 6-8. URL: http://www.ksau.kherson.ua/files/kaf_budmeh/Malinka%20tezu%202019.pdf#page=109
15. Василенко Н. С., Аверчев О. В. Значення екологічного стану агроландшафтів у сільському господарстві. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти*: збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції, 15 листопада 2022 р., Науково-методичний центр ВФПО. Київ, 2022. С. 7-11. URL: https://nmc-vfpo.com/wp-content/uploads/2022/12/tezy-malynka-15-11-2022_compressed.pdf
16. Вишенська І. Г., Іванків В. В. Вплив кліматичних факторів на вміст вуглецю в ґрунті степової екосистеми в експерименті зі штучною модифікацією вологості. *Наукові записки. Біологія та екологія*. 2015. Том 171. С. 46-50. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/113c8520-58ab-47ba-81f7-45fa25cd455d/content>
17. Шувар І., Мартин В., Самборський А., Куранц П., Овчарук О. Вплив глобальних змін клімату на ґрунтові процеси. *Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика (20 листопада 2019 р.)*: 36. матер. Міжнар. наукової інтернет-конференції. Західноукраїнський національний університет. Тернопіль, 2019. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/36433/1/244.pdf>
18. Гаврилюк В. А., Мелимука Р. Я. Емісія вуглекислого газу та мікробіологічна активність ґрунтів за різного сільськогосподарського призначення в умовах Західного Полісся. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2022. 1(47), С. 42-47. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1>
19. Майданович Н. Про вплив кліматичних змін на агросферу України: огляд. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та впровадження нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2020. № 27(41). С. 162-175. URL: <http://tta.org.ua/article/view/226050>
20. Скрильник Є. В., Гетманенко В. А., Кутова А. М. Розрахункові моделі балансу гумусу як показника агроекологічної стабільності організації землекористування. *Наукові горизонти*. 2018. 7–8(70). С. 139-144. URL: [https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/%E2%84%967-8\(70\)_139-144.pdf](https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/%E2%84%967-8(70)_139-144.pdf)

UDC 631.4:551.583.2

Humus content in chernozems typical of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine in connection with global climate change

V. V. Dehtiarov, O. Yu. Shcherbakov

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

E-mail: dvv4013@gmail.com; shcherbakovsany84@gmail.com

The results of studying the influence of global climate change on the total humus content in typical chernozems (Haplic Chernozems (Profundihumic)) of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine are presented by studying the characteristics of the rate of humification-mineralization of organic matter in the soil. The research objectives include the following: analysis of scientific literature on changes in the total humus content in chernozem soils used in agricultural production for different times; determination of the current humus content in the studied soil; analysis of the climatic conditions of the selected region; comparison of the rates of mineralization of humus substances with the dynamics of climatic changes. The studies showed that the rates of humus mineralization in the soil layer of 0–10 cm during the analyzed period (92 years) were different. In the first 25 years, the fall in humus content averaged 0.036 % per year, in the next 15 years — 0.063 % per year. This was followed by a sharp decline in the rate of dehumification and for the last 22-year period amounted to 0.012 % per year. The reason for this may be the influence of climatic conditions on the processes of humification-mineralization. It was the increase in average annual air temperatures by 2.9 ° C, the increase in soil surface temperature by 1.6 ° C, along with a decrease in the amount of precipitation during the growing season by 40 mm that led to a decrease in soil moisture supply over the past 22 years. And this is the reason for the imbalance between the processes of humification and mineralization, in the direction of strengthening the latter.

Key words: chernozem; humus; mineralization; temperature; precipitation.

Citing: Dehtiarov, V. V., Shcherbakov, O. Yu. (2023). Humus content in chernozems typical of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine in connection with global climate change. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 60-68. [doi:10.31073/acss95-06](https://doi.org/10.31073/acss95-06) [in Ukrainian].

УДК: 633.63:631.531.12

Раціональне використання ґрунтової вологи за застосування абсорбенту у посівах маточних буряків цукрових**М. С. Колісник, В. В. Поліщук***

Уманський національний університет садівництва, Умань, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 01.12.2023 Отримано після доопрацювання 15.12.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.2023	У статті представлено результати випробування у межах польового дослідження способу створення оптимальної вологозабезпеченості рослин маточних буряків шляхом внесення у ґрунт перед сівбою гранульованого абсорбенту для раціонального використання ґрунтової вологи. Польовий дослід було проведено у 2020-2023 рр. на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому (Chernic Phaeozem) у дослідному господарстві в Уманському районі Черкаської області. Схема дослідження включала два варіанти: контроль (без внесення абсорбенту) та внесення гранульованого абсорбенту навесні перед сівбою маточних буряків цукрових із розрахунку 20 кг/га. Вирощували буряки цукрові гібрида Уманський ЧС 90 селекції Уманської дослідної станції тютюництва. Визначено, що внесення гранул абсорбенту у ґрунт перед сівбою маточних цукрових буряків сприяло кращій забезпеченості рослин водою. Польова вологість ґрунту на початок появи сходів була вищою на 5,3 %, у фазі повних сходів — на 8,4 %, у фазі змикання листків у міжряддях — на 5,7 % порівняно з контролем. Результати спостережень показали, що поліпшене забезпечення рослин водою сприяло інтенсивнішому росту та розвитку маточних коренеплодів буряків цукрових. Аналізуванням фракційного складу маточних коренеплодів виявлено, що за внесення абсорбенту був більшим вихід посадкових коренеплодів оптимальної (нормативної) маси 101–600 г; частка їх становила 79,0 %. За регульованої вологозабезпеченості рослин зменшився вихід коренеплодів масою до 100 г. Але, разом з тим на 1,2 % збільшилась кількість коренеплодів великого розміру — більше 800 г і на 2,6 % — масою 600–800 г, які не відносяться до посадкових і вибраковуюються. Результати експерименту свідчать про доцільність продовження вивчення ефективності використання абсорбенту, за внесення його у ґрунт перед сівбою маточних буряків цукрових, зокрема з підвищеними нормами висіву насіння, що може значно зменшити кількість коренеплодів масою більше 600 г і сприяти посиленню ефективності вирощування маточників.
Ключові слова: абсорбент; буряк цукровий; вихід коренеплодів; вологість ґрунту; схожість насіння; фракційний склад	

* E-mail: valentin7613@gmail.com

Форма цитування: Колісник М. С., Поліщук В. В. Раціональне використання ґрунтової вологи за застосування абсорбенту у посівах маточних буряків цукрових. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Мінків. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 69-74. <https://doi.org/10.31073/acss95-07>

1. Вступ

Упровадження інтенсивних технологій вирощування буряків цукрових не можливе без використання якісного насіння, яке є не лише носієм продуктивності гібридів, а й важливим елементом технології вирощування культури. У вирощуванні маточних кормових та цукрових буряків (для продукування насіння) важливим є вихід і маса садивних коренеплодів. Дослідженнями визначено, що коефіцієнт виходу коренеплодів, тобто, відношення площі посіву маточних буряків до площі садіння насінників, у кінці 90-х років коливався у межах 1,2–1,7. Такі показники зумовлені агротехнічними та агрометеорологічними умовами їх вирощування. Проведені дослідження показали, що на вихід і якість садивних коренеплодів у першу чергу впливають такі агротехнічні фактори, як строки сівби та густота стояння маточних кормових та цукрових буряків [1–3].

Буряки цукрові, як вважають деякі автори [4], — це культури, що порівняно з іншими економніше витрачають воду і тому є відносно посухостійкими. Середній коефіцієнт транспірації буряків цукрових становить 397, тоді як пшениці — 513, картоплі — 638. Коефіцієнт транспірації насінників буряків цукрових значно вищий — понад 700. Упродовж останніх років склалися не зовсім сприятливі умови для забезпечення рослин водою та нормального проростання насіння навесні, так само як і у фазі приживання і початкового росту та розвитку маточних коренеплодів, особливо в зоні нестійкого зволоження. З метою запобігання цьому явищу в Італії маточники та насінники цукрових буряків вирощують за крапельного зрошення [5]. Одним із способів створення запасів вологи у ґрунті є використання абсорбентів, які вносять до сівби або садіння висадків у ґрунт. Гранули абсорбенту поглинають і утримують у собі кількість рідини, яка у сотні разів перевищує їх власну масу, і потім (за посухи) віддають цю вологу рослинам, що

забезпечує підвищення виходу маточних коренеплодів, збільшення врожаю і поліпшення якості насіння [6].

Метою роботи було створення умов для поліпшення забезпеченості рослин буряків цукрових вологою шляхом внесення перед сівбою у ґрунт гранульованого абсорбенту, що є актуальним і дієвим агрозаходом. Для контролю ефективності заходу визначали вологість ґрунту по фазах росту та розвитку рослин, динаміку сходів рослин, вихід та фракційний склад маточних коренеплодів.

2. Матеріали і методи досліджень

2.1. Об'єкт досліджень

Програмою досліджень передбачається вивчення особливостей росту та розвитку маточників та формування врожаю буряків цукрових залежно від застосування гранульованого абсорбенту перед посівом маточників. Дослідження проводили з використанням гібрида Уманський ЧС 90 селекції Уманської дослідної станції тютюництва ННЦ «Інститут землеробства НААН».

Дослід проведено у 2020–2023 рр. на території ТОВ «Українсько-Німецького підприємства з іноземними інвестиціями Агрофірми Текуча» Уманського району Черкаської області. Ґрунт — чорнозем опідзолений важкосуглинковий (Chernic Phaeozem). Площа ділянки облікова — 25 м², дослідження проводили у чотирикратній повторності.

Схема досліду включала два варіанти 1 — контроль (без внесення абсорбенту); 2 — внесення абсорбенту навесні перед сівбою маточників з розрахунку 20 кг/га у рядки на глибину 3 см. Абсорбент у формі гранул (фірми MaxiMarin) внесено для створення більш вологого шару ґрунту в зоні росту коренів, для забезпечення початкового запасу вологи, необхідного для проростання насіння та подальшого розвитку рослин. Дослід проводили на фоні мінеральних або органо-мінеральних добрив, внесених восени під зяблевий обробіток ґрунту однаковими дозами на обох варіантах. Висів насіння виконували у два строки — у квітні і липні.

Визначали: вміст вологи у ґрунті (%) у шарі 0-20 см у середині основних фаз розвитку рослин — термостатно-ваговим методом шляхом висушування зразків до постійної маси при температурі 105° С; динаміку появи сходів (кількість, шт.); польову схожість (%)¹⁹; густоту стояння рослин (тис. шт./га); вихід маточних коренеплодів за масою (% і тис. шт./га)²⁰.

Метеорологічні умови, що склалися у роки проведення дослідження, характеризувалися незначним відхиленням ряду основних показників (температури, кількості опадів, відносної вологості повітря) від середніх багаторічних даних.

3. Результати досліджень

3.1. Вологозабезпеченість рослин

За результатами вимірювання вмісту вологи в ґрунті визначено, що внесення гранул абсорбенту у ґрунт перед сівбою маточних буряків цукрових сприяло кращій забезпеченості рослин вологою. У всіх фазах росту і розвитку рослин вологість ґрунту у варіанті з внесенням абсорбенту була достовірно вищою, ніж без нього (Табл. 1).

Таблиця 1

Вологість ґрунту по фазах росту та розвитку маточних буряків цукрових весняного висіву (середні дані за 2020-2023 рр.;)

Варіант	Вміст вологи в ґрунті у шарі 0-20 см, %			
	Початок сходів	Повні сходи	Змикання листків у рядках	Змикання листків у міжряддях
Контроль — без внесення абсорбенту	14,0	13,6	15,5	10,3
Абсорбент, 20 кг/га	19,3	22,0	20,4	16,0
НІР ₀₅	0,3	0,7	0,3	0,8

¹⁹ Методи визначення схожості, одноростковості та доброякісності. ДСТУ 2292-96 (ГОСТ 22617.2-94). Насіння цукрових буряків. [Чинний 01-01-1996]. Київ. Держпозживстандарт України, 1995. 8 с. (Національні стандарти України).

²⁰ Роїк М. В., Гізбуллін Н. Г., Сінченко В. М. Методики проведення досліджень у буряківництві. Київ: ФОП Корзун Д.Ю. 2014. 374 с.

Так, польова вологість ґрунту на початок появи сходів була вищою на 5,3 %, у фазі повних сходів — на 8,4 %, у фазі змикання листків у міжряддях — на 5,7 %, порівняно з контролем — без внесення абсорбенту. Аналогічний розподіл спостерігали кожного року.

3.2. Вплив вологості ґрунту на появу сходів

Краща забезпеченість рослин вологою на перших етапах їх розвитку сприяла інтенсивнішому росту молодих рослин маточних коренеплодів цукрових буряків (Табл. 2). Облік динаміки появи сходів, який проводили на 2-метрових постійно закріплених відрізках рядка з 4-го дня від висіву насіння до появи повних сходів показав, що в усі дати обліку кількості проростків була більшою у варіанті з внесенням абсорбенту порівняно з контролем. Так, на 4-й день після висіву одержано сходів: у варіанті з внесенням абсорбенту в 2,5 раза, на 7-й день – в 1,2 раза більше, ніж у контролі. На 14-й день (фаза повних сходів) у варіанті з абсорбентом все висіяне насіння зійшло.

Таблиця 2

Динаміка появи сходів рослин маточних буряків цукрових залежно від внесення у ґрунт абсорбенту (середні дані за 2020-2023 рр. для весняного висіву)

Варіант	Кількість сходів, шт./м ² , на день обліку			
	4-й	7-й	10-й	14-й
Контроль – без внесення абсорбенту	1,3	5,4	7,5	8,2
Абсорбент, 20 кг/га	3,2	6,5	8,3	8,7

Польова схожість залежить від якості насіння і способів його підготовки до висіву. Але, між лабораторною і польовою схожістю насіння немає тісного кореляційного зв'язку. За однакової лабораторної схожості польова схожість може бути різною, залежно від умов, що складаються у полі на період сівби. І, звичайно, конкретно впливає стан вологості ґрунту у період появи сходів. Існує більш тісний зв'язок між енергією проростання насіння і польовою схожістю. Вважають, що підвищеній енергії проростання, як правило, відповідає і вища польова схожість [7].

Лабораторна енергія проростання і схожість насіння ЧС компоненту гібрида Уманський ЧС 90 були високими і становили 94–97 %. Високі показники якості висіяного насіння, достатня забезпеченість ґрунту вологою разом з іншими ґрунтово-кліматичними та агротехнологічними умовами забезпечили 96,2 % польової схожості за внесення у ґрунт гранул абсорбенту і 91,4 % — в контролі, без внесення абсорбенту (Табл. 3).

Таблиця 3

Польова схожість насіння за весняного висіву залежно від внесення у ґрунт абсорбенту

Варіант	Польова схожість насіння (%) за роками			
	2021	2022	2023	середня
Контроль – без внесення абсорбенту	91,4	90,8	91,9	91,4
Абсорбент, 20 кг/га	97,2	94,7	96,7	96,2
НІР ₀₅	1,3	1,1	1,5	0,9

За роками досліджень отримано аналогічні дані стосовно польової схожості насіння залежно від застосування абсорбенту за вирощування маточних буряків цукрових — вона була достовірно вищою за внесення абсорбенту у ґрунт перед сівбою маточних буряків.

3.3. Інтенсивність росту та розвитку рослин

Рослини у варіанті, де було внесено абсорбент, росли інтенсивніше, ніж у контролі. З рисунку 1 видно, що маточні буряки цукрові у фазі змикання листків в рядках за внесення абсорбенту (на рис. 1 — праворуч) були в декілька разів крупнішими, ніж у контролі (ліворуч). Також більш інтенсивно розвивалися рослини на цьому варіанті і у фазу змикання листків у міжряддях. Аналогічні результати зафіксовано і за сівби маточних буряків цукрових у літні строки (у першій декаді липня). Як за весняної, так і за літньої сівби ріст і розвиток рослин буряків цукрових за внесення абсорбенту проходив

інтенсивніше впродовж усього періоду вегетації, вони значно випереджали за розвитком рослини у контролі й були крупнішими на час збирання (Рис. 2).



Рис. 1. Стан розвитку рослин у фазі змикання листків у рядках залежно від застосування абсорбенту (весняний висів)



Рис. 2. Стан розвитку маточних цукрових буряків перед їх збиранням

А — літній висів (I декада липня): праворуч — без внесення, контроль; ліворуч — з внесенням абсорбенту; Б — весняний висів (II декада квітня): праворуч — без внесення, контроль; ліворуч — з внесенням абсорбенту.

3.4. Вихід рослин

Застосування абсорбенту позитивно вплинуло не лише на польову схожість, а й на густоту стояння рослин перед збиранням маточних цукрових буряків та на вихід коренеплодів масою від 100 до 600 г (Табл. 4).

Таблиця 4

Вихід коренеплодів маточних цукрових буряків за весняного висіву залежно від внесення абсорбенту (середній за 2020-2023 рр.)

Варіант	Густота рослин перед збиранням, тис. шт./га	Вихід маточних коренеплодів масою 100-600 г	
		%	тис. шт./га
Контроль – без внесення абсорбенту	151,8	78,5	119,1
Абсорбент, 20 кг/га	155,2	81,5	126,4
HIP ₀₅	2,7	1,7	1,7

Вихід маточних коренеплодів за внесення абсорбенту був більшим на 3,0 % ($HIP_{05} = 1,7\%$) порівняно з контролем. З кожного гектару маточників за внесення абсорбенту одержано 126,4 тисячі коренеплодів. За усі роки досліджень отримано аналогічні результати. Вихід маточних коренеплодів достовірно був вищим за внесення абсорбенту у ґрунт перед їх сівбою порівняно з контролем. Так у 2021 р. кожен гектар забезпечив отримання додатково маточних коренеплодів на 2,8 % ($HIP_{05} = 0,8\%$), у 2022 р. — на 4,0 % ($HIP_{05} = 3,2\%$), а у 2023 р. — на 2,3 % ($HIP_{05} = 1,3\%$).

3.5. Фракційний склад маточних коренеплодів за масою

Аналіз фракційного складу маточних коренеплодів показав, що за внесення абсорбенту вихід посадкових коренеплодів масою 101–600 г становив 79,0 % або був на 0,8 % вищим порівняно з контролем (Табл. 5).

Таблиця 5

Фракційний склад маточних коренеплодів залежно від внесення абсорбенту (середні дані за 2020–2023 рр. для весняного висіву)

Варіант	Кількість коренеплодів (%) за масою (г)				
	< 100	101–300	301–600	601–800	> 800
Контроль – без внесення абсорбенту	16,3	48,3	29,9	4,5	1,1
Абсорбент, 20 кг/га	11,6	43,4	35,7	7,1	2,3

За внесення абсорбенту на 4,7 % було менше коренеплодів масою до 100 г, але на 1,2 % більше коренеплодів масою більше 800 г та на 2,6 % більше коренеплодів масою 600–800 г, які не відносяться до посадкових та вибраковуюються, тобто, не можуть бути використаними для продукування насіння.

4. Обговорення

Дослідженнями В. В. Дриги [8] встановлено, що використання абсорбенту MaxiMarin перед садінням міскантусу гігантського забезпечувало підвищення вологості ґрунту у період вегетації, особливо у початкових фазах росту і розвитку рослин, що сприяє створенню кращого режиму забезпечення рослин вологою.

У результаті проведених досліджень В. А. Доронін та інш. [4] визначили, що за внесення у ґрунт абсорбенту перед садінням висадків буряків цукрових також покращується забезпеченість насінників вологою упродовж усього періоду їх вегетації (абсолютна вологість ґрунту за фазами розвитку насінників була на 5–10,8 % вищою порівняно з контролем), сприяє кращому використанню мінерального живлення, що, як наслідок, приводить до істотного підвищення врожайності насіння (на 0,31–0,32 т/га) та його схожості (на 5–7 %) ($HIP_{05} = 0,8\%$).

Відповідно до результатів нашого експерименту польова вологість ґрунту у різні фази розвитку рослин завдяки внесенню перед висіванням насіння абсорбенту, що утримує і накопичує вологу у шарі розвитку коренів, була вищою на 5,3–8,4 %, порівняно з контролем. Це красномовно підтверджує доцільність використання абсорбенту.

Як відомо з літератури, внесення абсорбенту під час садіння висадків, навіть у найменшій нормі — 0,5 г на одну рослину, було так само результативним і забезпечило істотне збільшення площі листової поверхні на 986,3 см². Збільшення норми абсорбенту до 1,5 г на одну рослину сприяло зростанню площі листової поверхні на 2508 см² [9].

Результати, представлені у статті цілком узгоджуються з результатами, здобутими іншими дослідниками. Встановлено, що маточні буряки цукрові у фазі змикання листків в рядках за внесення гранульованого абсорбенту були в декілька разів крупнішими, ніж у контролі. Ріст та розвиток рослин буряків цукрових проходив інтенсивніше упродовж всього періоду вегетації за внесення абсорбенту і вони значно випереджали за розвитком рослини у контролі.

5. Висновки

За внесення гранульованого абсорбенту у ґрунт перед сівбою маточних буряків цукрових підвищується польова схожість насіння на 4,8 %, інтенсивність росту і розвитку рослин, густота рослин перед збиранням на 3,4 тис. шт./га. За рахунок збільшення частки коренеплодів масою більше 600 г та на 3,8 % і зменшення кількості коренеплодів масою 101-300 г, вихід посадкових коренеплодів масою 101-600 г був майже однаковим як за внесення абсорбенту, так і у контролі – без абсорбенту.

Одержані результати свідчать про доцільність продовження вивчення ефективності використання абсорбенту, за внесення його у ґрунт перед сівбою маточних цукрових буряків з підвищеними нормами висіву насіння, що може значно зменшити кількість коренеплодів масою більше 600 г і, таким чином, суттєво підвищить коефіцієнт виходу коренеплодів потрібної маси.

Список використаних джерел

1. Антонів П. С. Елементи технології вирощування насіння кормових буряків в умовах західного Лісостепу України: автореф. дис... к. с.-г. наук: 06.01.05. Київ, 1994. 26 с.
2. Муляр Е. А. Вплив умов вирощування маточних однонасінних кормових буряків на насіннєву продуктивність в умовах Правобережного Лісостепу України: автореф. дис...к. с.-г. наук: 06.01.05. Київ, 1993. 22 с.
3. Мотрук І. Н. Вплив агротехнічних прийомів на якість і вихід маточних коренеплодів кормових буряків. *Збірник наукових праць Інституту цукрових буряків УААН*. 2003. № 5. С. 158–161.
4. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Доронін В. В., Поліщук В. В. Якість насіння буряків цукрових залежно від агротехнічних прийомів їх вирощування. *Новітні агротехнології*. 2015. № 3. С. 1–2. DOI: [https://doi.org/10.21498/na.1\(3\).2015.118917](https://doi.org/10.21498/na.1(3).2015.118917)
5. Доронін В. А., Бусол М. В., Марченко С. І. Доброякісність насіння. *Насінництво*. 2007. № 5. С. 7–8. URL: http://www.bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/42_24_0.pdf
6. Дрига В. В. Приживлюваність ризом міскантусу залежно від застосування абсорбенту за їх садіння. *Цукрові буряки*. 2018. № 1. С. 18–21. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Cb_2018_1_6
7. Карпук Л. М. Особливості росту і розвитку цукрових буряків різних гібридів. *Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 15. С. 108–111. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpicb_2012_15_28
8. Дрига В. В. Вологість ґрунту залежно від застосування абсорбенту за вирощування міскантусу гігантського. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2019. № 1. С. 9–14. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2019-1-9-14>
9. Моргун І. А., Вишневська Л. В. Вплив краплинного зрошення на формування урожаю та якості насіння гібридів цукрових буряків. *Селекційно-генетична наука і освіта: матеріали Міжнародної наукової конференції* (м. Умань, 16–18 березня 2016 р.). Умань, 2016. С. 241–245.

UDC 633.63:631.531.12

Rational use of soil moisture when using absorbent in crops of royal sugar beet

M. S. Kolisnyk, V. V. Polishchuk*

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

* E-mail: valentin7613@gmail.com

The article presents the results of testing, within the field experiment, a method for creating optimal moisture supply for royal beet plants by adding a granular absorbent to the soil before sowing for the rational use of soil moisture. The field experiment was carried out in 2020-2023 on podzolized heavy loam chernozem (Chernic Phaeozem) in the experimental farm of the Uman district of the Cherkasy region. The experimental design included two variants: control (without adding absorbent) and adding granular absorbent in the spring before sowing royal sugar beets at a rate of 20 kg/ha. We grew sugar beet hybrid Uman CHM 90, bred at the Uman Experimental Tobacco Station. It was determined that the introduction of absorbent granules into the soil before sowing mother sugar beets contributed to a better supply of moisture to the plants. Field soil moisture at the beginning of emergence of seedlings was higher by 5.3 %, in the phase of full emergence – by 8.4 %, in the phase of closing leaves in the rows – by 5.7 % compared to the control. The results of observations showed that improved provision of plants with moisture contributed to more intensive growth and development of mother roots of sugar beet. Analysis of the fractional composition of mother root crops revealed that when adding absorbent, the yield of planting root crops with an optimal (normative) weight of 101–600 g was high; their share was 79.0 %. With regulated moisture supply to plants, the yield of root crops weighing up to 100 g decreased. But at the same time, the number of large-sized root crops increased by 1.2 % – more than 800 g and by 2.6 % – weighing 600–800 g, which are not planting crops and are discarded. The results of the experiment indicate the advisability of continuing to study the effectiveness of using the absorbent when adding it to the soil before sowing mother sugar beets, in particular with increased seed sowing rates, which can significantly reduce the number of root crops weighing more than 600 g and help increase the efficiency of growing mother plants.

Keywords: absorbent; sugar beet; root yield; soil moisture; seed germination; fractional composition.

Citing: Kolisnyk M. S., Polishchuk V. V. (2023). Rational use of soil moisture when using absorbent in crops of royal sugar beet. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 69-74. [doi:10.31073/acss95-07](https://doi.org/10.31073/acss95-07) [in Ukrainian].