



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ



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

АГРОХІМІЯ і ҐРУНТОЗНАВСТВО

МІЖВІДОМЧИЙ
ТЕМАТИЧНИЙ
НАУКОВИЙ
ЗБІРНИК

93

ХАРКІВ – 2022

Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник.
Випуск 93. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2022. 72 с.

AGROCHEMISTRY and SOIL SCIENCE. Collected papers.
No. 93. Kharkiv: NSC ISSAR, 2022. 72 p.

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

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

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

Мови видання: українська, англійська, російська

Редакційна колегія:

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

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

Рік заснування: 1966

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20942-10742Пр

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

www.agrochemsoilsci.org

Індексування та реферування:

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

Рекомендовано до видання Вченою радою ННЦ ІГА, протокол № 15 від 13.10.2022 р.

ISSN 0587-2596
e-ISSN 2616-6852
DOI: <https://doi.org/10.31073/acss93>

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

ЗМІСТ / CONTENT

ЯКІСТЬ ҐРУНТУ / SOIL QUALITY

Скрильник Є. В., Пузняк О. М., Кутова А. М., Артем'єва К. С., Москаленко В. П. Трансформація гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту за тривалого внесення добрив <i>Skrylnyk Ye. V., Puznyak O. M., Kutova A. M., Artemyeva K. S., Moskalenko B. P.</i> Effect of long- term application of fertilizers on the humus substances transformation in podzolic soil.....	4
Пліско І. В., Моргун Д. О., Романчук К. Ю. До питання про використання мікробіологічних показників в оцінці якості ґрунту <i>Plisko I. V., Morgun D. O., Romanchuk K. Yu.</i> On the issue of using microbiological indicators in the assessment of soil quality	12
Ахатов А., Бурієв С. С., Нурматова В. Б. Фосфор коричневих ґрунтів горних пасовищ Узбекистану <i>Akhatov A., Buriev S. S., Nurmatova V. B.</i> Phosphorus in brown soils of mountain pastures in Uzbekistan	24

МОНІТОРИНГ ҐРУНТІВ / SOIL MONITORING

Чорний С. Г., Ісаєва В. В. Просторово-часова трансформація якості поливних вод на Південнобузькій та Кам'янській зрошувальних системах <i>Chornyy S. G., Isayeva V. V.</i> Spatial and temporal aspects of irrigation water quality in South Bug and Kamianska irrigation systems.....	33
Трофименко П. І., Зацерковний В. І., Зобнів І. С., Трофименко Н. В., Сябрук О. П., Забалуєв В. О. Дистанційне визначення величини фотосинтетичного стоку органічного вуглецю (Ph) в агроценозі пшениці озимої залежно від строкатості ґрунтового покриву, <i>Trofymenko P., Zatserkovnyy V., Zobniv I., Trofimenko N., Siabruk O., Zabaluyev V.</i> Remote determination quantity of photosynthetic flow of organic carbon (Ph) in the agroecosystem of winter wheat depending on the variegated soil cover.....	43

СТАЛІЙ МЕНЕДЖМЕНТ ДОБРИВ / SUSTAINABLE FERTILIZERS MANAGEMENT

Ревтьє-Уварова А. В. Концептуальні положення сталого менеджменту добрив в Україні <i>Revtye-Uvarova, A. V.</i> The conceptual provisions for the sustainable fertilizers management in Ukraine	54
Малярчук М. П., Малярчук А. С., Томницький А. В. Баланс гумусу і поживний режим зрошуваного ґрунту за різних систем основного обробітку та удобрення <i>Maliarchuk M. P., Maliarchuk A. S., Tomnitskiy A. V.</i> Humus balance and nutrient regime of irrigated soil under different systems of primary soil tillage and fertilization	64

ЯКІСТЬ ҐРУНТУ SOIL QUALITY

УДК 631.816:631.45:631.417.2

Трансформація гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту за тривалого внесення добрив

Є. В. Скрильник¹, О. М. Пузняк², А. М. Кутова^{1*}, К. С. Артем'єва¹,
В. П. Москаленко¹

¹ Національний науковий центр "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського", Харків, Україна

² Волинська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту сільського господарства Західного Полісся, с. Рокині, Волинська область

*E-mail: kutova.ang@gmail.com

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 26.08.2022 Отримано після доопрацювання 08.09.2022 Затверджено до видання 13.10.2022 Доступно онлайн 01.12.2022	У статті висвітлено результати дослідження закономірностей трансформації гумусових речовин на різних рівнях їх структурної організації за тривалого внесення добрив на фоні вапнування дерново-підзолистого супіщаного ґрунту в умовах польового дослід у Західному Поліссі України. Виявили, що низький рівень вмісту хімічно активних органічних речовин у складі гумусу дерново-підзолистих ґрунтів, викликаний зональними особливостями гумусоутворення, може бути позитивно корегований шляхом удобрення. Тривале застосування органічних і мінеральних добрив інтенсифікує процес новоутворення гумінових кислот і формування їх рухомих форм — відношення $S_{гк1} / S_{фк1}$ становить 0,28 на контролі без добрив і 0,33–0,88 на варіантах удобрення на фоні вапнування. За органо-мінеральної системи удобрення утворюються найбільш сприятливі умови для гуміфікації органічних речовин, однак тип гумусу залишається фульватним — відношення $S_{гк} / S_{фк}$ становить 0,93 на контрольному варіанті і 0,41 — на фоні вапнування. Також системи удобрення впливали на перерозподіл полідисперсності гумінових кислот, що характеризувалося зменшенням гетерогенності складу гідрофобних молекулярних агрегатів. У широкому діапазоні від 1800 cm^{-1} до 2500 cm^{-1} виявлено зміну направленості лінії інтегрованого спектру гумінових кислот ґрунту на фоні CaCO_3 зліва направо, що пов'язано зі зміною молекулярних параметрів. За результатами хроматографічного аналізу встановлено, що профілі молекулярного розподілу гумінових кислот дерново-підзолистого ґрунту відповідають класу гумусових речовин. Перша фракція характеризується асоціатами молекул більшого розміру полярного складу. Відновлення гумінових кислот відбувалося переважно за рахунок високомолекулярних структур, найбільш чутливих до застосування добрив.
Ключові слова: дерново-підзолистий ґрунт; внесення добрив; трансформація; гумінові кислоти; інфрачервона спектроскопія; хроматографічний аналіз	

* E-mail: kutova.ang@gmail.com

Форма цитування: Скрильник Є.В., Пузняк О.М., Кутова А.М., Артем'єва К.С., Москаленко В.П. Трансформація гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту за тривалого внесення добрив. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2022. Вип. 93. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 4–11. <https://doi.org/10.31073/acss93-01>

1. Постановка проблеми

У зоні Полісся переважають дерново-підзолисті ґрунти, підзолистий процес який зумовлює підвищений винос мінеральних та органічних речовин з верхніх шарів ґрунту, слабкість процесу гуміфікації та інтенсивне розкладання органічних добрив. Тому найчастіше дерново-підзолисті ґрунти слабо гумусовані з вмістом гумусу близько 1 %. Ефективним засобом підвищення продуктивності дерново-підзолистих ґрунтів є збалансоване застосування добрив і меліорантів.

Підвищена чутливість гумусової системи дерново-підзолистих ґрунтів в умовах сучасного незбалансованого землеробства зумовлює необхідність контролювати стан гумусових речовин. За думкою М.Ф. Овчинникової [1], на прикладі дерново-підзолистих ґрунтів, можливе більш точне дослідження ранньої індикації ознак несприятливих змін властивостей гумусу, розробки способів їх своєчасного коригування, виявлення показників, інформативних в оцінці ознак деградації або реградації гумусу.

Гумусові речовини за класифікацією розділяються на специфічні гумусові речовини та неспецифічні сполуки. Своєю чергою специфічні гумусові речовини розділяються на три групи: 1) гумінові кислоти (ГК); 2) фульвокислоти (ФК); 3) негідролізований залишок (гумін) [2]. Гумін є сукупністю гумінових і фульвокислот і на відмінність від останніх є більш стійким до розкладання мікроорганізмами.

За дослідженнями [3], тривале (60 років) застосування мінеральних добрив у 8-пільній сівозміні на легкосуглинковому дерново-підзолистому ґрунті знизило вміст гумусу на 40 %, що також супроводжувалося зміною основних параметрів його складу: зменшення вмісту гумінових кислот, посилення фульватизації, збіднення органічної речовини ґрунту активними сполуками, що легко мінералізуються. Низький рівень вмісту хімічно і фізіологічно активних органічних речовин у складі гумусу дерново-підзолистих ґрунтів призводить до незахищеності стійкої, центральної частини макромолекули ГК, викликаючи її трансформацію і піддаючи біологічному і хімічному руйнуванню, що призводить до зниження вмісту загального вуглецю і втрати родючості.

У дослідах на легкосуглинкових дерново-підзолистих ґрунтах органічні добрива підтримували рівень вмісту гумусу і покращували якість органічної речовини порівняно з контролем, а застосування мінеральної системи удобрення посилювало несприятливі природні властивості гумусу, погіршуючи його склад [4].

У ряді досліджень [5–7], підкреслено факт збільшення вмісту вуглецю в ґрунті за органо-мінеральної системи внесення добрив, порівняно з застосуванням мінеральних і органічних добрив окремо.

У різних агроумовах спостерігається ослаблення або активізація процесів новоутворення гумусових структур і їх полімеризація, що призводить до зміни вмісту, складу, структури і властивостей ГК. В умовах дефіциту гумусоутворювачів, підкислення і декальцинації, які спостерігаються за умов сільськогосподарського використання ґрунтів, без агрохімічних засобів або з одностороннім застосуванням мінеральних добрив, вже після 4-х років обробітку спостерігається фізико-хімічна деградація гумусу. Із зростанням тривалості сільськогосподарського використання ґрунту без агрохімічних засобів відзначено посилення цієї ознаки, а також істотне зниження процесу новоутворення гумінових кислот [8].

Одним із способів протидії втрат вуглецю з ґрунту є застосування добрив, які впливають на процес гуміфікації та утворення ГК [9–11]. Тому дослідження молекулярного розподілу та гідрофобно-гідрофільних властивостей ГК під дією систем удобрення є важливими та актуальними оскільки розкриття механізмів процесу гуміфікації та формування гумінових молекул на молекулярному рівні може протидіяти деградаційним процесам органічної речовини ґрунту [12]. Хімічний склад рослинного матеріалу та різні агрономічні прийоми є основними чинниками, які визначають властивості ГК [13–15]. Одним із параметрів, що змінюються в процесі гуміфікації, є ступінь полідисперсності молекул ГК та співвідношення гідрофобних та гідрофільних фракцій [16]. Зазначені параметри важливі в екологічному розумінні, оскільки співвідношення цих фракцій визначає розчинність, стійкість і, як результат, міграційну здатність ГК у профілі ґрунту.

Ексклюзивна гель-хроматографія успішно застосовується для вивчення молекулярного розподілу за розмірами молекул та гідрофобно-гідрофільними властивостями ГК у ґрунтах [13] за якою встановлено, що ГК мають більше співвідношення гідрофобних компонентів ніж гідрофільних [16], що узгоджується з сучасною парадигмою для гумінової супрамолекулярної організації [17–19].

Тому **метою** наших досліджень було встановлення закономірностей трансформації гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту на різних рівнях їхньої структурної організації за тривалого внесення добрив на фоні вапнування в умовах Західного Полісся.

2. Об'єкти і методи досліджень

Дослідження проводили на базі Волинської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту сільського господарства Західного Полісся (Волинська область, Луцький р-н, смт Рокині). Ґрунт — дерново-середньо підзолистий пилувато-супіщаний поверхнево оглеєний. Вихідна агрохімічна характеристика ґрунту у межах шару 0–20 см (стаціонарний дослід, закладений у 1966 р., поле №3): рН_{KCL} — 5,1; сума обмінних катіонів — 2,6 мг-екв./100 г ґрунту; вміст гумусу за методом Тюріна (ДСТУ 4289:2004) — 1,39 %; вміст рухомих сполук фосфору за методом Кірсанова (ДСТУ 4405:2005) — 39 мг/кг; вміст рухомих сполук калію за методом Маслової (ДСТУ 7907:2015) — 52 мг/кг.

Польовий стаціонарний дослід «Вплив основних видів добрив та їх поєднань на продуктивність сівозміни та властивості ґрунту». Схема варіантів дослідів: Без добрив (контроль); Фон — CaCO_3 ; мінеральна система удобрення — $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$ на фоні CaCO_3 ; органічна система — післядія гною 60 т/га, внесеного у 2018 році на фоні CaCO_3 ; органо-мінеральна система удобрення — післядія гною 60 т/га, внесеного у 2018 році + $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$ на фоні CaCO_3 .

Вапнування проводять один раз за ротацію сівозміни у нормі 5 т/га вапна. Загальна площа посівних ділянок 4,6 га, повторність чотирикратна. Площа елементарної ділянки 90 м², облікова площа — 50 м².

З мінеральних добрив застосовують аміачну селітру (33,4 %) під час передпосівного внесення та підживлення, амофос (P — 51 %, N — 10 %) та хлористий калій (58–60 %) — в основне внесення восени. Гній ВРХ вносять двічі за ротацію під картоплю та кукурудзу. Тип сівозміни — польова (зерно-просапна).

Дослідження проводили на ділянках, де на той час вирощувалась сільськогосподарська культура — кукурудза на зерно, попередник — картопля.

Проби ґрунту відбирали з шару 0-20 см у трикратній повторності. Для формування змішаного зразка ґрунту на обліковій площі елементарної ділянки було відібрано 5 індивідуальних проб методом «конверту». Формування змішаних зразків ґрунту та готування їх до аналізування здійснювали згідно з вимогами ДСТУ 4287:2007.

Аналізування зразків ґрунту виконували за діючими нормативно-методичними документами в лабораторії органічних добрив і гумусу ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» (свідоцтво про відповідність системи вимірювань вимогам ДСТУ ISO 10012:2005, № 01-0104/2017 та № 01-0084/2020 від 06.08.2020 р.): попереднє оброблення зразків за ДСТУ ISO 11464; визначання сухої речовини ґрунту та вологості гравіметричним методом за ДСТУ ISO 11465; визначання органічної речовини за методом Тюріна (ДСТУ 4289:2004); визначання групового та фракційного складу гумусу за методом Тюріна у модифікації Пономарьової та Плотнікової (ДСТУ 7828:2015); параметри гумусової системи оцінювали за системою показників [13], які перелічені далі у таблиці 2. Ступінь гуміфікації органічної речовини ґрунту визначали за рівнянням $\text{Сгк}/\text{Сзаг} \times 100$ %. Вміст гумусу визначали за коефіцієнтом перерахунку 2,09 (для дерново-підзолистих ґрунтів). Для оцінювання інтенсивності процесу гуміфікації на різних стадіях використовували значення співвідношення гумінових кислот першої та другої фракцій з відповідними фракціями фульвокислот; $\text{Сгк}_1/\text{Сфк}_1$ — для оцінювання інтенсивності процесу новоутворення гумінових кислот і формування їх рухомих форм; $\text{Сгк}_2/\text{Сфк}_2$ — для оцінювання інтенсивності процесу полімеризації гумусових структур та формування сполук, стійких до розкладання.

Молекулярне фракціонування зразків гумінових кислот за розмірами молекул проводили за допомогою ексклюзивної (проникаючої) гель-хроматографії низького тиску на сефадексі G-200 з широким діапазоном розділення суміші молекул (діапазон розділення для біополімерів з довільною просторовою структурою від 1000 до 600 000 Да). Фракціонування зразків ГК проводили на традиційній хроматографічній колонці із загальним робочим об'ємом 70 мл за загальноприйнятою методикою фракціонування глобулярних білків [20], адаптованою Д.С. Орловим, Е.Ю. Мілановським та А. Пікколо для гумусових речовин (ГР) [12, 21]. Елюцію зразків ГК здійснювали 0,1 н NaOH та 0,1 н лимонною кислотою. Збір елюенту здійснювали у 3 мл пробірки, реєстрацію молекулярних фракцій проводили на спектрофотометрі СФ-24 за довжиною хвилі 280 нм.

Трансмісійну спектроскопію ІЧ поглинання з Фур'є-перетворенням (FTIR) зразків ГК в діапазоні 4000–400 см⁻¹, було знято в стандартних умовах, за методом таблетування з бромистим калієм (пресування у співвідношенні ГК з KBr 1:300) на приладі SPECTRUM ONE PerkinElmer.

Зразки для зйомки FTIR спектрів щодо вивчення особливостей гідратації ГК в розчині (невисушені витяжки ГК) були підготовлені за процедурою сушіння на повітрі (Air Drying Procedure) [22] використовуючи тонку плівку (Науково-технологічний комплекс «Інститут монокристалів» Національної академії наук України).

3. Результати досліджень та їх обговорення

За тривалого агрохімічного навантаження та сільськогосподарського використання (53 роки) дерново-підзолистого ґрунту під зерно-просапною сівозміною виявлялися ознаки трансформації гумусових речовин з неоднаковим ступенем вираженості на різних рівнях його організації. Специфічність ознак трансформації гумусових речовин і ступінь їх вираженості за

різних проявів агрогенного впливу є відображенням характеру і глибини зміни умов гуміфікації. Провідна роль у проявленні ознак деградаційної і реградаційної трансформації належить гуміновим кислотам, зокрема фракціям ГК-1 і ГК-2, відповідальним за забезпечення агрономічної якості гумусу і його екологічної стабільності [23, 24]. Встановлено, що за умов застосування органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування вміст карбону першої фракції гумінових кислот (ГК-I) є у 3 рази вищим, а за мінеральної системи — майже у 2 рази вищим порівняно з контролем та неудобреним фоном (Табл. 1).

Систематичне внесення добрив активізує розвиток кореневої системи сільськогосподарських культур і, як наслідок, в орному шарі ґрунту в два рази зменшується вміст найбільш рухомої групи органічних речовин, яка екстрагується 0,1 н H_2SO_4 під час декальцинації, порівняно з варіантами без застосування добрив. Це свідчить про те, що рухомі органічні речовини швидко мінералізуються та є джерелом поживних речовин для сільськогосподарських культур.

Таблиця 1

Вміст карбону гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту за різних систем удобрення (фракційно-груповий склад гумусу)

Варіант досліджу	Фракція 1		0,1 н H ₂ SO ₄	Фракція 2		Фракція 3		Сума		С _{гумінів}
	С _{ГК-1}	С _{ФК-1}		С _{ГК-2}	С _{ФК-2}	С _{ГК-3}	С _{ФК-3}	ГК	ФК	
	% С до ґрунту									
Без добрив — контроль	0,04	0,14	0,04	0,09	0,01	0,14	0,10	0,27	0,29	0,01
СаСО ₃ — фон	0,05	0,16	0,04	0,04	0,04	0,09	0,20	0,18	0,44	0,004
Фон + NPK	0,07	0,14	0,02	0,02	0,08	0,14	0,16	0,23	0,40	0,01
Фон + органічні добрива	0,05	0,15	0,02	0,07	0,04	0,12	0,19	0,24	0,40	0,01
Фон + органічні добрива + NPK	0,15	0,17	0,02	0,05	0,02	0,06	0,24	0,26	0,45	0,02

Вапнування зменшувало вміст гумінових кислот, зв'язаних у ґрунті з кальцієм (ГК-2), у два рази порівняно з неудобреним контролем. На фоні вапнування лише за органічної системи удобрення спостерігається позитивна тенденція до підвищення вмісту гумінових кислот цієї фракції в орному шарі ґрунту. Внесення мінеральних добрив призвело до зниження вмісту ГК-2 у два рази порівняно з фоном вапнування та у 4,5 рази порівняно з неудобреним контролем. На фоні збільшення вмісту гумінових кислот відповідно зменшується вміст фульвокислот другої фракції (ФК-2) за органо-мінеральної системи удобрення. Застосування мінеральних добрив на фоні вапнування збільшило вміст ФК-2 у два рази порівняно з фоном вапнування.

Відмічено істотне збільшення вмісту фульвокислот, зв'язаних з мінеральною частиною ґрунту (ФК-3), за всіма системами удобрення на фоні вапнування.

Гуміни є найбільш стійкими органічними речовинами у ґрунті, які з часом перетворюються на більш багаті карбоном сполуки. Досліджено, що лише за органо-мінеральної системи удобрення створюються умови для накопичення стійких до руйнування сполук органічної речовини ґрунту.

Збільшення вмісту гумусу до 1,30–1,53 % в орному шарі дерново-підзолистого ґрунту під впливом внесення меліоранту та добрив (порівняно з 1,19 % на контролі) відбулося за рахунок усіх груп гумусових речовин, більшою мірою — фульвокислот та меншою — гумінових кислот. Вапнування дерново-підзолистого ґрунту призвело до істотного зниження співвідношення $C_{гк}/C_{фк}$ з 0,93 (на контролі) до 0,41 змінюючи тип гумусу з *гуматно-фульватного* на *дуже фульватний*, що є ознакою негативної спрямованості процесу гуміфікації (Табл. 2).

Застосування мінеральних та органічних добрив в різних дозах на фоні вапнування дещо змінювало тип гумусу в орному шарі ґрунту — з *дуже фульватного* на *фульватний*.

Дерново-підзолистий ґрунт характеризується дуже низьким вмістом гумусу ($\leq 2\%$). Вапнування збільшило відносний вміст органічного карбону і, відповідно, вміст гумусу в орному шарі на 9,2 % порівняно з контролем. За умов внесення мінеральних і органічних добрив на фоні вапнування відносний вміст гумусу збільшився на 12,6 та 14,3 %, відповідно, порівняно з

контролем. За органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування утворюються найбільш сприятливі умови для накопичення гумусу в орному шарі ґрунту, порівняно з контролем цей показник збільшився на 28,6 %.

Відмінності гумусового стану дерново-підзолистого ґрунту в шарі 0–20 см за різного агрохімічного навантаження діагностовано за комплексом характеристик. Ступінь гуміфікації органічної речовини під впливом вапнування змінився з дуже високого на середній, застосування добрив змінило ступінь гуміфікації на *високий*. На фоні високого ступеня гуміфікації органічної речовини простежується *низький* вміст «вільних» гумінових кислот (ГК-1) окрім органо-мінеральної системи удобрення, де вміст «вільних» гумінових кислот відповідає середньому значенню. За час тривалого сільськогосподарського використання дерново-підзолистого ґрунту на удобрених варіантах вміст «вільних» гумінових кислот в орному шарі збільшився в 2–3 рази порівняно з контролем. Вміст гумінових кислот, зв'язаних з кальцієм, під впливом удобрення змінився з *низького* рівня (контроль) на *дуже низький*, окрім органічної системи. Вміст міцнозв'язаних гумінових кислот (ГК-3) в органічній речовині дерново-підзолистого ґрунту за варіантами дослідів залишився *високим* (≥ 20 %). Ступінь рухомості всієї системи гумусових речовин (ГР) змінювався в бік збільшення за органо-мінеральної системи удобрення і зменшення за мінеральної та органічної систем удобрення порівняно з контролем та фоном вапнування.

Таблиця 2

Гумусовий стан дерново-підзолистого ґрунту за тривалого сільськогосподарського використання

Показник	Варіант дослідів				
	Без добрив (контроль)	CaCO ₃ (фон)	Фон + NPK	Фон + органічні добрива	Фон + органічні добрива + NPK
Вміст гумусу, %	1,19	1,30	1,34	1,36	1,53
Сгк, % до Сзаг	47,4	29,0	35,9	36,9	35,6
Сгк / Сфк	0,93	0,41	0,57	0,60	0,57
Сгк-1, % Сзаг	7,0	8,1	10,9	7,7	20,5
Сгк-2, % Сзаг	15,8	6,5	3,1	10,7	6,8
Сгк-3, % Сзаг	24,6	14,5	21,9	18,5	8,2
Сгк-1 / Сфк-1	0,28	0,31	0,50	0,33	0,88
Сгк-2 / Сфк-2	9,00	1,00	0,25	1,75	2,50
Ступінь рухомості системи ГР	0,64	0,76	0,56	0,52	0,92

Примітка: ГК-1 гумінові кислоти вільні та зв'язані з рухомими півтораоксидами; ГК-2 — зв'язані з кальцієм; ГК-3 — зв'язані з глинистою фракцією і стійкими півтораоксидами; ГР — гумусові речовини.

Застосування добрив збільшує інтенсивність процесу новоутворення гумінових кислот і формування їх рухомих форм, значення Сгк-1/Сфк-1 варіювали в межах 0,33–0,88. А інтенсивність процесу полімеризації гумусових структур та формування стійких до розкладання гумусових речовин, навпаки істотно знизилась порівняно з контролем: Сгк-2/Сфк-2 у межах 0,25–2,50. Незалежно від рівня окультуреності відносна частка стійких до розкладання сполук у складі гумінових кислот залишається в межах низьких значень, характерних для дерново-підзолистих ґрунтів, що свідчить про збереження зональних ознак гумусоутворення.

Тривале удобрення дерново-підзолистого ґрунту призводило до змін характеристик гумусу на рівні молекулярних структур гумінових кислот, що простежено за результатами гель-хроматографії та спектроскопії. Результати FTIR ГК дерново-підзолистого ґрунту за набором смуг спектрів поглинання, характерних для класу гумусових речовин, вказують на подібність у загальній структурі та атомно-молекулярному складі. Так на спектрах проявляються спряжені ароматичні С=C-зв'язки (1650 см⁻¹), аліфатичних структур –CH₂, –CH₃ (2800 см⁻¹ та 2900 см⁻¹), карбоксильних груп –COOH (1710 см⁻¹), а також наявність широкої смуги 3400 см⁻¹ груп –OH, міжмолекулярних водневих зв'язків та води. На широкому діапазоні від 1800 см⁻¹ до 2500 см⁻¹ виявлено зміну направленості лінії інтегрованого спектру ГК ґрунту на фоні CaCO₃ зліва направо, що пов'язано зі зміною молекулярних параметрів.

Результати молекулярного розподілу гумінових молекул на фоні CaCO_3 виявили гідрофільну асоціацію молекулярних агрегатів, що викликало зміну в інтегрованому спектрі даного широкого діапазону за рахунок кооперативного процесу перебудови міжмолекулярної динаміки гумінової конформації, тому не виявляється на показниках характеристичних ІЧ спектрів. Кальцій у комплексі з кетонними групами може утворювати катіонні містки між молекулами вільної води та полярними гуміновими молекулами, що обумовлює агрегацію гідрофільних гумінових агрегатів великого розміру та додатково стабілізує гідрофобну гумінову супраструктуру [25].

Таким чином системи застосування добрив вплинули на перерозподіл полідисперсності ГК, що характеризується зменшенням гетерогенності складу, особливо гідрофобних молекулярних агрегатів різної асоціативної природи. Зміна інтегрованого ІЧ спектру ГК ґрунту фону з CaCO_3 пов'язана із формуванням гідрофільних молекулярних агрегатів великого розміру в результаті процесу асоціації полярних молекул за допомогою катіонних містків з кальцієм у комплексі з кетонними групами.

В результаті хроматографічного аналізу на сефадексі G-200 було отримано бімодальний розподіл молекул гумінових кислот дерново-підзолистого ґрунту (Рис. 1). Встановлено, що з двох піків за органічної і органо-мінеральної системи удобрення, першими виходять високомолекулярні фракції, зв'язані з водою. Найбільший пік виходу низькомолекулярних фракцій можемо бачити на фоні вапнування з CaCO_3 .

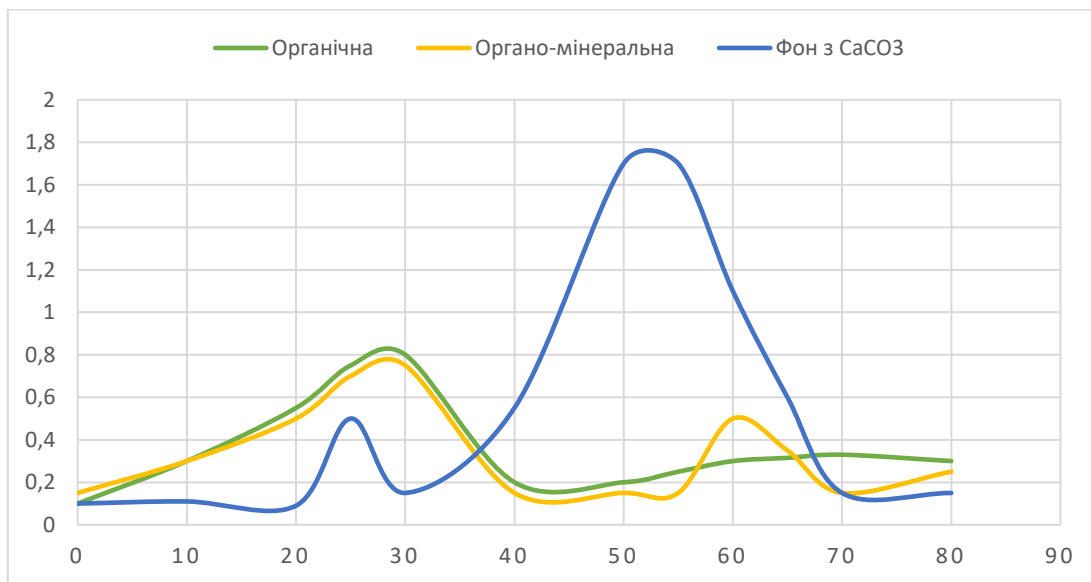


Рис. 1 Хроматографічний аналіз гумінових кислот дерново-підзолистого ґрунту за різних систем удобрення

Хроматографічні профілі молекулярного розподілу гумінових кислот дерново-підзолистого ґрунту відповідають класу гумінових речовин ґрунтів, розділених за допомогою гелю G-200. На отриманому хроматографічному профілі досліджуваних зразків гумінових кислот дерново-підзолистого ґрунту виділяються дві типові молекулярні фракції, що утворюють відокремлені максимуми, які ідентифікуються за поглинанням світла довжиною хвилі 280 нм. Перша фракція характеризується асоціатами молекул більшого розміру полярного складу, вихід яких відбувається разом з вільною водою.

Збільшення інтенсивності забарвлення другої фракції досліджуваних зразків ГК (темно-коричневий колір, на відміну від першої фракції світло-жовтого кольору), обумовлено наявністю великої кількості гумусових забарвлених сполук, що представлені спряженими (переважно неполярними) ароматичними структурами, які активно поглинають світло за довжиною хвилі 465 нм (або за довжиною хвилі 280 нм) та представлені меншими за розмірами молекулами.

4. Висновки

Тривале застосування мінеральних та органічних добрив на фоні вапнування впливало на трансформацію гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту змінюючи ступінь гуміфікації органічної речовини з дуже високого на високий. У груповому складі гумусу вміст фульвокислот переважав над вмістом гумінових кислот. За внесення мінеральних і органічних добрив співвідношення С_{гк}/С_{фк} було у межах 0,57–0,60, що відповідає фульватному типу гумусу. Дослідження показали, що найефективнішим на дерново-підзолистому ґрунті під зерно-просапною сівозміною було застосування органо-мінеральної системи удобрення, що сприяло підвищенню вмісту гумусу в орному шарі з 1,19 (без застосування добрив) до 1,53 % та підвищувало інтенсивність процесу новоутворення гумінових кислот і формування їх рухомих форм.

За результатами інфрачервоної спектроскопії встановлено, що системи удобрення впливають на перерозподіл полідисперсності ГК дерново-підзолистого ґрунту. Це характеризується зменшенням гетерогенності складу, особливо гідрофобних молекулярних агрегатів різної асоціативної природи. Зміна інтегрованого ІЧ спектру ГК ґрунту фону з СаСО₃ пов'язана з формуванням гідрофільних молекулярних агрегатів великого розміру в результаті процесу асоціації полярних молекул за допомогою катіонних містків з кальцієм у комплексі з кетонними групами.

За хроматографічного аналізу виявлено, що профілі молекулярного розподілу гумінових кислот дерново-підзолистого ґрунту відповідають класу гумусових речовин. Перша фракція характеризується асоціатами молекул більшого розміру полярного складу, вихід яких відбувається разом з вільною водою. Доведено, що збільшення інтенсивності забарвлення другої фракції ГК, обумовлено наявністю великої кількості гумусових забарвлених сполук, що представлені спряженими (переважно неполярними) ароматичними структурами, які активно поглинають світло за довжиною хвилі 465 нм (або за довжиною хвилі 280 нм), та представлені меншими за розмірами молекулами. Відновлення гумінових кислот відбувалося переважно за рахунок високомолекулярних структур, найбільш чутливих до застосування добрив.

Список використаних джерел

1. Овчинникова М.Ф. Признаки природной устойчивости и агрогенной трансформации гумуса почв. *Почвоведение*. 2013. № 12. С. 1449-1463 с. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13120083>
2. Шоба В.Н., Чудненко К.В. Ионнообменные свойства гумусовых кислот. *Почвоведение*. 2014. № 8. С. 921-933. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14080115>
3. Шевцова Л.К., Хайдуков К.П., Кузьменко Н.Н. Трансформация органического вещества легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений в льняном севообороте. *Агрохимия*. 2012. № 10. С. 3-12.
4. Дричко В.Ф., Бакина Л.Г., Орлова Н.Е. Устойчивая и лабильная части гумуса дерново-подзолистой почвы. *Почвоведение*. 2013. № 1. С. 41–47. <https://doi.org/10.7868/S0032180X12110032>
5. Вплив систем удобрення на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового / Є.В. Скрильник, А.М. Кутова, В.А. Гетманенко, К.С. Артем'єва, В.М. Ніконенко *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. № 88. С. 74-78. <https://doi.org/10.31073/acss88-10>
6. Володина Т.И., Романов Г.А., Левченкова А.Н. Влияние различных систем удобрения на физико-химические и агрофизические показатели дерново-подзолистой почвы в условиях северо-запада России. *Агрохимия*. 2014. № 3. С. 12–21.
7. Кузьменко Н.Н. Эффективность длительного применения разных систем удобрения в льняном севообороте и их влияние на изменение запасов гумуса дерново-подзолистой почвы. *Агрохимия*. 2014. № 4. С. 35–39.
8. Kaiser K., Kalbitz K. Cycling downwards—dissolved organic matter in soils. *Soil Biol. Biochem.* 2012. № 52. P. 29–32. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.002>
9. Yilmaz E., Sönmez M. The role of organic/bio-fertilizer amendment on aggregate stability and organic carbon content in different aggregate scales. *Soil and Tillage Research*. 2017. № 168. P. 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.003>
10. Use of organic-mineral fertilizers as alternative to conventional organic and mineral fertilizers: effect on soil quality. / J. Elbl, H. Brtnicka, A. Kintl, J. Holatko, M. Brtnicky *International Multidisciplinary Scientific Geo Conference: SGEM. Sofia*. 2019. Vol. 19. P. 583-595. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.2/S13.076>
11. Effect of organic (biochar, compost and chicken manure) and mineral fertilization on available NPK on Sandy Soil / A.L. Hassin, H. Abd El-mawla Mohammeda Makhlof, L.A. Gomoa. *Journal of Pure & Applied Sciences*. JOPAS. Vol.18, No. 4 2019 P. 86-91. <https://doi.org/10.51984/jopas.v18i4.392>
12. Piccolo A. The supramolecular structure of humic substances. A novel understanding of humus chemistry and application in Soil Science. *Advances in Agronomy*. 2002. № 75. P. 57-133. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)75003-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)75003-7)
13. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почвы как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. Москва: ГЕОС, 2009. с. 186.
14. Перминова И.В. Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века. *Химия и жизнь*. 2008. № 1. С. 50-56.

15. Humification and nonhumification pathways of the organic matter stabilization in soil: a review / V.M. Semenov, A.S. Tulina, N.A. Semenova, L.A. Ivannikova. *Eurasian Soil Science*. 2013. № 46. P. 355-368. <https://doi.org/10.1134/S106422931304011X>
16. Debska B., Drag M., Banach-Szott Molecular size distribution and hydrophilic and hydrophobic properties of humic acids isolated from Forest Soil. *Soil & Water Res.* 2007. № 2. P. 45-53.
17. Wells M.J.M., Stretz H.A. Supramolecular architectures of natural organic matter. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 671. P. 1125-1133. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.406>
18. Dolenko S.A., Trifonova M.Y., Tarasevich Y.I. Aqueous solutions of humic acids as self-organizing dissipative systems. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2017. № 39. P. 360–367. <https://doi.org/10.3103/S1063455X17060091>
19. Nuzzo A., Sánchez A. Conformational changes of dissolved humic and fulvic superstructures with progressive iron complexation. *Journal of Geochemical Exploration*. 2013. Vol. 129. P. 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.01.010>
20. Остерман Л.А. Хроматография белков и нуклеиновых кислот: Практическое пособие. Москва: Наука, 1985. 536 с.
21. Орлов Д.С., Милановский Е.Ю. Гель-хроматография в почвоведении – возможности и ограничения метода. Современные физические и химические методы исследования почв. Москва: МГУ, 1987. С. 94-118.
22. Cabaniss S.E., Leenheer J.A. Aqueous infrared carboxylate absorbances: aliphatic di-acids. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 1998. Vol. 54. P. 449-458. [https://doi.org/10.1016/S1386-1425\(97\)00258-8](https://doi.org/10.1016/S1386-1425(97)00258-8)
23. Овчинникова М.Ф. Признаки и механизм агрогенной трансформации гумусовых веществ дерново-подзолистой почвы. *Агрохімія*. 2012. № 1. С. 3-13.
24. Броварова О.В. Трансформация гумусовых веществ дерново-подзолистой почвы при агрогенных воздействиях. *Плодородие*. 2021. №6. С. 17-22. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.05>
25. Kalinichev A., Iskrenova-Tchoukova E. Effects of Ca^{2+} on supramolecular aggregation of natural organic matter in aqueous solutions: a comparison of molecular modeling approaches. *Geoderma*. 2011. Vol. 169. P. 27-32. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.002>

UDC 631.816:631.45:631.417.2

Effect of long-term application of fertilizers on the humus substances transformation in podzolic soil

Ie. V. Skrylnyk¹, O. M. Puznyak², A. M. Kutova^{1*}, K. S. Artemyeva¹, B. P. Moskalenko¹

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

²Volyn State Agricultural Experimental Station of the Institute of Agriculture of Western Polissya, Rokyni, Volyn

*E-mail: kutova.ang@gmail.com

The article reflects the results of a study of the regularities of the transformation of humic substances at different levels of structural organization during long-term fertilization against the background of liming of podzolic sandy loamy soil in a field experiment in Western Polissya of Ukraine. It was found that the low content of chemically active organic substances in the humus composition of podzolic soils, caused by the zonal features of humus formation, can be positively corrected by applying fertilizers. Long-term use of organic and mineral fertilizers intensifies the process of new formation of humic acids and the formation of their mobile forms – the ratio of Cha-1 / Cfa-1 is 0.28 in the control without fertilizers and 0.33–0.88 in the variants of fertilization against the background of liming. With an organo-mineral fertilizer system, the most favorable conditions are formed for the humification of organic substances however, the type of humus remained fulvate – the Cha / Cfa ratio is 0.93 in the control variant and 0.41 – against the background of liming. Also, the application of fertilizers had an effect on the redistribution of the polydispersity of humic acids, which was characterized by a decrease in the heterogeneity of the composition of hydrophobic molecular aggregates. In a wide range of 1800 cm^{-1} to 2500 cm^{-1} , a change in the direction of the line of the integral spectrum of soil humic acids under the application of CaCO_3 from left to right was found, which is associated with a change in molecular parameters. Based on the results of chromatographic analysis, it was established that the profiles of the molecular distribution of humic acids podzolic soil correspond to the humus substances class. The first fraction is characterized by the formation of ion associates of larger molecules of polar composition. The recovery of humic acids occurred mainly due to high-molecular structures, which is the most sensitive to the application of fertilizers.

Keywords: podzolic soil; application of fertilizers; transformation; humic acids; infrared spectroscopy; chromatographic analysis.

Citing: Skrylnyk, Ie. V., Puznyak, O. M., Kutova, A. M., Artemyeva, K. S., & Moskalenko, B. P. (2022). Effect of long-term application of fertilizers on the humus substances transformation in podzolic soil. *AgroChemistry and Soil Science*. 93, 4-11. doi: [10.31073/acss93-01](https://doi.org/10.31073/acss93-01) [in Ukrainian].

УДК 631.461:631.474

До питання про використання мікробіологічних показників в оцінці якості ґрунту

І. В. Пліско*, Д. О. Моргун, К. Ю. Романчук

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 15.08.2022 Отримано після доопрацювання 09.10.2022 Затверджено до видання 13.10.2022 Доступно онлайн 01.12.2022	У статті показано доцільність використання мікробіологічних показників в оцінюванні якості ґрунтів. З метою вибору потрібних індикаторів якості ґрунту проаналізовано широкий спектр мікробіологічних показників за опублікованими результатами багаторічних досліджень провідних українських і закордонних учених – ґрунтознавців, екологів і мікробіологів. Запропоновано крім застосовуваних раніше показників ґрунту та клімату, як оцінювальні використовувати такі мікробіологічні характеристики: фітотоксичність, потенційну целюлозоруйнівну здатність та показник «дихання» ґрунту (за інтенсивністю виділення CO ₂). Метою статті є висвітлення результатів оцінювання якості орних ґрунтів (на прикладі Харківської області) за удосконаленим методичним підходом — з додаванням до розрахунку якості ґрунту фактичних значень мікробіологічних показників та порівняння результатів розрахунку з результатами, отриманими за традиційним методом — без урахування мікробіологічних даних. Визначено вплив доданих значень мікробіологічних оцінювальних показників основних орних ґрунтів Харківської області, на загальні оцінювальні бали якості ґрунтів. Порівняння результатів визначення оцінювальних балів якості ґрунтів за різними методичними підходами показало, що збільшення кількості оцінювальних показників (за рахунок мікробіологічних), порівняно з чинною методикою бонітування, сприяє уточненню загальної бальної оцінки досліджуваних ґрунтів.
Ключові слова: бальна оцінка; ґрунт; мікробіологічні показники; якість	

* E-mail: irinachujan@gmail.com

Форма цитування: Пліско І.В., Моргун Д.О., Романчук К.Ю. До питання про використання мікробіологічних показників в оцінці якості ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2022. Вип. 93. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 12-23. <https://doi.org/10.31073/acss93-02>

1. Вступ

На сучасному етапі запровадження ринкових відносин в агропромисловому комплексі України значно підвищується актуальність питань, пов'язаних з оцінкою якості орних ґрунтів, основним завданням якої є мотивація до більш раціонального їх використання та охорони. Посиленню актуальності цього питання сприяє законодавче закріплення плати за землю залежно від якості землі та місця розташування земельної ділянки [1].

Разом із тим, у науковій літературі зазначається, що оцінювання якості ґрунтів ускладняється тим, що ґрунт є неоднорідним тілом, для якого досить важко встановити однозначні стандарти якості та визначити основні показники для розрахунку загального оцінювального балу якості. Через це у світі існують різноманітні методики оцінювання якості орних ґрунтів, які включають різні набори вихідних даних [2–4]. Але жодна з існуючих нині методик не може дати одночасно оцінку всіх функцій ґрунту. Найбільш поширеними показниками, які використовуються в оцінці якості ґрунтів майже в усіх країнах Європи є такі: вміст органічного вуглецю, макроелементи, важкі метали, нітрати, рН, гранулометричний склад та ємність катіонного обміну. Менш популярними є щільність будови ґрунту, агрегатний склад, пористість, електропровідність, хімічний склад ґрунтових розчинів. Найменше використовують фракційний склад органічного вуглецю, мікробіологічні показники, дихання та ґрунтові ензими.

В результаті аналізування сучасних підходів до земельно-оцінювальних робіт та наукових досліджень з цього питання, помічено, що разом з фізичними та хімічними показниками якості ґрунту дослідники рекомендують враховувати також і біологічні показники [5–7]. Відомо, що на природний потенціал родючості ґрунту суттєво впливає якісний та кількісний склад його мікробіоти; від стану мікробного комплексу та його біохімічної активності залежить родючість ґрунту, урожайність рослин, якість сільськогосподарської продукції і стан навколишнього середовища [8–10]. Велика кількість живих організмів у верхньому шарі ґрунту бере участь в утворенні ґрунтових агрегатів, розкладанні органічних речовин, глобальних циклах біогенних елементів і деградації різноманітних забрудників. Поряд з фізичними та хімічними показниками, біологічні безпосередньо впливають на функції ґрунтів і, тим самим, на бальну оцінку їх якості. Це вкрай динамічні властивості ґрунту, які дуже чутливі до самих умов землекористування, природних змін і присутності хімічних забрудників [11].

Академік В.В. Медведєв [12] запропонував розглядати два мікробіологічних пули як еталонні біологічні властивості в ході проведення ґрунтового моніторингу. Перший пул має представляти загальну кількість мікроорганізмів, які можуть зберігатися в ґрунті за несприятливих умов навколишнього середовища та забезпечувати реалізацію мікробіологічних процесів (евтотрофи, амоніфікатори, нітрифікатори). Саме цей пул повинен мати достатньо високий рівень — 1 млн клітин на 1 г ґрунту. Другий пул має відповідати за забезпечення ґрунту необхідною видовою кількістю мікроорганізмів. Він може бути невеликим за кількістю, проте мати широкий видовий спектр. Але, на жаль, ці розробки досі не використовуються для оцінювання якості ґрунту.

Доцільність використання біологічних показників для оцінювання якості ґрунтів підкреслюється у численних роботах зарубіжних авторів [13–15]. У науковій літературі США біологічні показники вважаються найбільш інформативними щодо функцій ґрунту. Якщо фізичні і хімічні показники якості ґрунту у часі реагують із певним запізненням на зовнішні антропогенні і природні процеси, то біологічні вказують саме зміни у ґрунті в теперішньому часі. Пропонуються такі біологічні індикатори якості ґрунтів: чисельність дощових черв'яків; ферментативна активність ґрунтів; уміст «грубої» фракції органічних речовин; інтенсивність дихання; уміст загального органічного вуглецю [16]. Науковці з Великобританії, Франції, Німеччини в оцінку якості орних ґрунтів включають ще такі біологічні показники як загальна біомаса ґрунту; уміст вуглецю мікробної біомаси; індекс мікробного різноманіття; ферментативна активність ґрунту; чисельність окремих груп бактерій та грибів, а також кількість представників ґрунтової фауни (нематод, дощових хробаків) [17–19].

Не менш важливими біологічними показниками в оцінці якості ґрунтів є фітотоксичність ґрунту, потенційна целюлозоруйнівна здатність та інтенсивність виділення CO_2 (так зване «дихання ґрунту»). Показник фітотоксичності ґрунту є інформативним і дуже широко використовується в оцінюванні ґрунтів з метою виявлення негативного впливу на екосистеми [20]. Причинами токсичності можуть бути як аллелопатичні властивості вищих рослин, так і підвищений розвиток у ґрунтах деяких видів сапрофітних мікроорганізмів, що продукують фітотоксини. Токсичність ґрунту може мати комплексний характер, включаючи як біологічні, так і абіогенні фактори, зокрема, кислу реакцію ґрунтового середовища, підвищений вміст закисних сполук алюмінію та заліза, забруднення ґрунту ксенобіотиками тощо. Все це, в кінцевому рахунку, впливає на родючість та якість ґрунту.

Целюлозолітична активність ґрунту є одним із визначальних факторів для характеристики трансформації органічної речовини, продуктивності біоти та, в цілому, рівня родючості ґрунтів [21]. Целюлозоруйнівні мікроорганізми здійснюють розклад рослинних решток, виділяючи при цьому в середовище окиснювальні ферменти, які мають властивість синтезувати гумусові речовини із продуктів розкладу цих решток. Інтенсивність розкладання клітковини (целюлози) характеризує енергію кругообігу вуглецю ґрунтовими мікроорганізмами та визначає рівень ґрунтової родючості і продуктивності біоти [22, 23].

Інтегрованим показником біологічної активності ґрунту є динаміка емісії CO_2 , яка показує на інтенсивність «дихання ґрунту» і, тим самим, на інтенсивність процесів трансформації органічної речовини. Серед компонентів, які беруть участь у диханні ґрунту, домінуючими є мікроорганізми, а на частку кореневої системи рослин припадає близько третини від загального потоку CO_2 з ґрунту. Необхідно враховувати, що кількість CO_2 , яку виділяє ґрунт, визначається не тільки біологічними (темпом росту й розвитку рослин і мікроорганізмів, диханням коренів), а й екологічними чинниками, до яких можна віднести температуру, вологість повітря і ґрунту та ін. [24]. Відповідно, виділення вуглекислого газу є об'єктивним індикатором інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту внаслідок мінералізації, що дозволяє охарактеризувати одну з найважливіших сторін біологічного кругообігу речовин.

Мета статті – проаналізувати досвід використання мікробіологічних показників в бальній оцінці якості ґрунту, порівняти результати визначення загальних оцінювальних балів за різними методиками (на прикладі орних ґрунтів Харківської області) з метою обґрунтування удосконаленого методичного підходу до визначення оцінювальних балів якості ґрунтів з використанням мікробіологічних показників, таких як фітотоксичність ґрунту, потенційна целюлозоруйнівна здатність та інтенсивність виділення CO_2 з ґрунту.

2. Об'єкти, матеріали і методи досліджень

Об'єктами досліджень виступали найпоширеніші орні ґрунти Харківської області та їх властивості (фізичні, хімічні, біологічні) й агрокліматичні показники на території місць їх розташування. В ході досліджень закладено сім ґрунтових розрізів із визначенням географічних координат за допомогою GPS «Garmin-9». З метою діагностування ґрунту проведено детальний опис ґрунтових розрізів за традиційними методиками польових

досліджень^{1,2}. На кожному об'єкті одноразово впродовж весняно-літнього періоду відібрано усереднені ґрунтові зразки буром із орного шару (0–30 см) методом конверту відповідно до ДСТУ 4287:2004³. Перелік об'єктів досліджень наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Об'єкти досліджень у Харківській області

Номер ґрунтового розрізу, назва ґрунту	Місце розташування	Географічні координати	
		північна широта	східна довгота
Розріз № 1, чорнозем звичайний слабозмитий важкосуглинковий на щільній глині	Фермерське господарство (ФГ) «Білий Кінь», Куп'янський район	49°74' 65"	37°75'14"
Розріз № 2, чорнозем опідзолений слабозмитий важкосуглинковий на лесоподібному суглинку	ФГ «Білий Кінь», Куп'янський район	49°53' 60"	37°51'41"
Розріз № 3, темно-сірий опідзолений важкосуглинковий ґрунт на лесоподібному суглинку	ДП ДГ «Граківське», с. Новий Коротич, Харківський район	49°99' 15"	36°45'60"
Розріз № 4, чорнозем типовий легкоглинистий на лесоподібному суглинку	ТОВ «Агросет», с. Шебелинка, Балаклійський район	49°95' 85"	36°01'17"
Розріз № 5, чорнозем типовий середньозмитий легкоглинистий на лесоподібному суглинку	ТОВ «Агросет», с. Шебелинка, Балаклійський район	49°43' 07"	36°50'95"
Розріз № 6, чорнозем типовий слабозмитий легкоглинистий на лесоподібному суглинку	ТОВ «Агросет», с. Шебелинка, Балаклійський район	49°43' 51"	36°51'31"
Розріз № 7, темно-сірий опідзолений важкосуглинковий ґрунт на лесоподібному суглинку	ДП ДГ «Граківське», с. Дослідне, Чугуївський район	49°72'94"	36°93'06"

Для розрахунку оцінювальних балів якості визначено основні показники досліджених ґрунтів: потужність кореневмісного шару (прямим вимірюванням); рівноважну щільність будови (щільність будови на суху масу ґрунту) – за ДСТУ ISO 11272:2001⁴; гранулометричний склад за ДСТУ 4730:2007⁵ методом піпетки в модифікації А.Н. Качинського; загальний вміст гумусу методом Тюріна в модифікації ЦІНАО – за ДСТУ 4289:2004⁶; уміст рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова⁷; та за модифікованим методом Мачигіна⁸. Показник рН⁹ — потенціометрично.

Фітотоксичність ґрунту визначали за методикою Д.М. Гродзинського¹⁰ методом фітотестування. Як тест-об'єкт обрано капусту сорту «Харківська зимова», насіння якої пророщували у ґрунтовій суспензії. Контролем слугував варіант із водою. Як тест-функцію фіксували кількість пророслого насіння та вимірювали довжину коренів і висоту пагонів. Отримані показники виражали у відсотках до контролю.

¹ Полевой определитель почв. Под ред. Н.И. Полупана, Б.С. Носка, В.П. Кузьмичева. Киев: Урожай, 1981. 320 с.

² Практикум з ґрунтознавства. Навчальний посібник. За ред. Д.Г. Тихоненка. 6-е видання, перероб. та доповн. Харків: Майдан, 2009. 447 с.

³ ДСТУ 4287:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с.

⁴ ДСТУ ISO 11272:2001 (ISO 11272:1998, IDT). Якість ґрунту. Визначання щільності складення на суху масу. [Чинний від 2003-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 23 с.

⁵ ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського. [Чинний від 2008-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 14 с.

⁶ ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. [Чинний від 2005-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 18 с.

⁷ ДСТУ 4115:2002. ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. [Чинний від 01.01.2003]. К.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. 6 с.

⁸ ДСТУ 4115:2002. ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна. [Чинний від 01.01.2003]. К.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. 6 с.

⁹ ДСТУ ISO 10390:2005 (ISO 10390:2007, IDT). Якість ґрунту. Визначання рН. [Чинний від 2009-10-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 12 с.

¹⁰ Гродзинський Д.М., Шиліна Ю.В., Куцоконь Н.К. та інш. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи: Методичні рекомендації по оцінці допустимих рівнів радіонуклідного та хімічного забруднення за їх комбінованої дії. К.: Фітосоціоцентр, 2006. 60 с.

Целлюлозоруйнівну здатність ґрунту визначали за методикою І.С. Вострова та А.Н. Петрової¹¹ шляхом закладання лляного полотна у чашки Петрі. Тривалість експозиції лляного полотна становила 28 діб в термостаті при температурі +28 °С.

Визначення концентрації вуглекислого газу в ґрунтовому повітрі проводили за методикою Б.Н. Макарова¹² у стандартизованих (лабораторних) умовах. Після лужної абсорбції шляхом титрування визначали кількість CO₂, виділеного з ґрунту.

Фактичні значення індивідуальних оцінювальних показників за властивостями досліджених ґрунтів представлено у табл.2.

Розрахунок загальних оцінювальних балів виконано з використанням індивідуальних оцінювальних балів за властивостями та вагових коефіцієнтів. Розроблений авторами алгоритм розрахунку представлено далі у підрозділі 3.2.

Таблиця 2

Значення індивідуальних оцінювальних показників

Показник, одиниці вимірювання	Номер ґрунтового розрізу						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Ґрунтові показники</i>							
Глибина кореневмісного шару, см	60	85	65	50	76	65	64
Уміст гумусу у шарі 0-30 см, %	5,4	4,1	6,0	3,4	4,3	5,1	5,1
Рівноважна щільність будови у шарі 0-30 см, г/см ³	1,42	1,27	1,20	1,20	1,00	1,04	1,07
Уміст Р ₂ О ₅ у шарі 0-30 см, мг/100 г ґрунту	12,7	16,1	15,0	4,8	11,5	10,0	17,0
Уміст К ₂ О у шарі 0-30 см, мг/100 г ґрунту	32,1	34,5	19,3	20,0	17,3	21,0	20,0
Уміст фізичної глини у шарі 0-30 см, %	48,3	51,4	54,0	61,2	66,4	65,2	54,1
pH у шарі 0-30 см	7,0	6,6	7,1	6,1	6,9	6,5	6,1
<i>Мікробіологічні показники</i>							
Потенційна целлюлозоруйнівна здатність ґрунту у шарі 0-30 см, %	85,6	78,5	84,8	86,6	85,5	83,6	85,2
Фітотоксична активність водної витяжки із ґрунту з шару 0-30 см, %	17,0	12,5	5,7	7,0	6,0	0	18,0
Дихання ґрунту (інтенсивність виділення CO ₂ з поверхні ґрунту), кг/га за год	0,15	0,10	0,13	0,33	0,42	0,42	0,43
<i>Кліматичні показники</i>							
Запаси продуктивної вологи у шарі 0-20 см, мм	35	35	38	38	38	38	37
Запаси продуктивної вологи у шарі 0-100 см, мм	140	138	190	96	96	96	186
Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) за температури повітря вище 10 °С	0,90	0,90	0,94	1,10	1,10	1,10	1,20
Вологозабезпеченість у зимовий період (сума опадів за період листопад-березень), мм	70	72	70	60	60	55	50

3. Результати досліджень.

3.1. Обґрунтування використання мікробіологічних показників в оцінюванні якості ґрунтів

На сучасному етапі розвитку землеробства актуальності набуває напрям досліджень мікробіологічних процесів ґрунту, де важливим компонентом біологічного кругообігу речовин є ґрунтові мікроорганізми, які відіграють значну роль у забезпеченні «здоров'я» ґрунту. Вивчення біологічної активності ґрунту (БАГ) дає змогу вченим виявити закономірності у процесах перетворення органічної речовини, враховуючи антропогенний вплив на ґрунт. Доведено, що зі зростанням інтенсивності біохімічних процесів підвищується продуктивність культурних рослин, відбувається накопичення органічної речовини в ґрунті, покращуються його фізико-хімічні властивості та підвищується родючість [25].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми, говорить що біологічні властивості ґрунтів безпосередньо залежать від біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів та функціонування різних еколого-трофічних груп [26], які можуть

¹¹ Востров І.С., Петрова А.Н. Определение биологической активности почвы различными методами. Микробиология. 1961. Т. 30. № 4. С. 665-672.

¹² Макаров Б.Н. Упрощенный метод определения дыхания почвы. Почвоведение. 1957. № 9. С. 119-122.

проявлятися як індикатори ґрунтів. Це дає можливість визначити наявність контамінантів, які впливають на показники біологічної активності, зокрема інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту, розклад клітковини та фітотоксичність ґрунту [27].

Фітотоксичність ґрунту – властивість ґрунту пригнічувати ріст і розвиток вищих рослин, що призводить до порушення фізіологічних процесів, погіршення якості рослинної продукції [28], визначається за зниженням кількості пророслих насінин і зменшенням висоти проростків.

Рослини є первинними ланками трофічних ланцюгів, які виконують важливу роль у поглинанні різноманітних забруднювачів і постійно зазнають їх впливу внаслідок закріплення на субстраті. Саме тому рослини разом з ґрунтовою мікробіотою вважають найбільш зручними об'єктами для біомоніторингу ґрунтів [29, 30].

Однією із причин зниження родючості ґрунтів може бути накопичення різноманітних токсичних речовин, які негативно впливають на рослини. Це явище, яке отримало назву «токсикоз ґрунту» або «втомлення ґрунту», яке проявляється при вирощуванні тривалого часу монокультури, відоме давно і до теперішнього часу приваблює увагу дослідників різних країн [31]. Своєю чергою неправильне проведення агротехнічних заходів, таких як оранка, культивування, зрошення та ін., змінюючи структуру ґрунту може сприяти утворенню та накопиченню негативних для рослин речовин.

Не останню роль у збільшенні токсичності ґрунту відіграє і кількісний та якісний склад внесених мінеральних добрив. Необхідно відмітити, що застосування підвищених доз мінеральних добрив нерідко несе негативні наслідки.

Підкислення ґрунту також викликає токсичний ефект. В результаті підвищення кислотності ґрунтовий розчин може збагачуватись іонами металів, які здатні пригнічувати рослини та корисну мікрофлору [32].

До теперішнього часу відома велика кількість даних щодо токсичної дії хімічних засобів захисту рослин, тобто, гербіцидів, фунгіцидів, інсектицидів та ін., широко застосовуваних у сільському господарстві. В результаті частого застосування однакових високотоксичних хімічних сполук, ці речовини, накопичуючись у ґрунті здатні викликати негативні наслідки. Тривалість зберігання та післядія засобів захисту рослин залежить від ґрунтово-кліматичних факторів, від кількісного та якісного складу цих речовин, а також вирощуваних культур та ін.

Важливу роль у токсичності ґрунту відведено метеорологічним факторам, таким, як температура, вологість та ін. Вони можуть впливати на накопичення та розкладення токсичних продуктів метаболізму ґрунтових мікроорганізмів. Різні типи ґрунтів по-різному вбирають ці речовини. Фізико-хімічні властивості самих фітотоксичних сполук можуть суттєво впливати на процеси утримання та розкладення їх у ґрунті. Лі Q. зі співавторами [33] під час своїх досліджень виявили, що водоутримувальна здатність, щільність будови ґрунту, пористість, водопроникність та інфільтрація крім інших факторів також залежать від концентрації потенційно токсичних елементів.

Ряд вітчизняних та зарубіжних дослідників вважають, що вивчення мікроорганізмів, які продукують фітотоксичні речовини в процесі життєдіяльності, природи та активності цих речовин поряд зі складними процесами перетворення їх у різних ґрунтово-кліматичних умовах має велике значення для оцінювання їх екологічної ролі [34]. Токсичність ґрунту є фактором, що відіграє важливу роль у зниженні родючості ґрунту та врожаїв сільськогосподарських культур. Безсумнівно, що провідна роль у цих явищах належить біологічним причинам — в основному фітотоксичним ґрунтовим мікроорганізмам. Зокрема, вирощування монокультури впродовж тривалого часу може викликати накопичення певних груп мікроорганізмів, концентрація яких може стати токсичною і викликати пригнічення росту й розвитку сільськогосподарської культури. Тому для підтримки «здорового» стану ґрунту так необхідно дотримуватися сівозмін.

Широке розповсюдження та значна роль фітотоксичних мікроорганізмів у токсикозі ґрунтів обґрунтовує подальшу необхідність і важливість включення цього показника до методики оцінки якості ґрунтів. Саме цей показник зумовлює рівень «здоров'я» ґрунту, що є вкрай важливим у сучасних умовах розвитку суспільства.

Потенційна целюлозоруйнівна активність. Важливим показником біологічної активності ґрунту є також інтенсивність розкладення органічних речовин, які присутні у ґрунті та потрапляють у ґрунт з органічними добривами, рослинними й тваринними рештками та іншими речовинами. В усіх цих органічних речовинах клітковина (целюлоза) є основним джерелом енергії для життєдіяльності ґрунту.

Целюлоза становить основну масу (близько 50 %) рослинних тканин та є одним із найбільш поширених рослинних полімерів на нашій планеті. Щорічно маса рослинного опаду становить приблизно 1×10^{13} т, з яких 4×10^{10} т — целюлоза [35]. Ця речовина належить до найбільш стійких речовин та може протидіяти навіть сильним кислотам та

основам. Тому все, що пов'язано з процесом її перетворення викликає великий науковий і практичний інтерес.

Важливим етапом вуглецевого циклу в природі вважають розклад клітковини, що відбувається за допомогою дії ферментів різних груп мікроорганізмів. Особлива роль в даному процесі належить мікроскопічним грибам, а саме, таких родів як *Trichoderma*, *aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Chaetomium* та ін. Група аеробних целюлозоруйнівних мікроорганізмів найбільше представлена у ґрунті [36].

У розкладенні целюлози також беруть участь міксобактерії родини Мухососсасеае роду *Mucosoccus*, родини Archangiaceae роду *Archangium* та родини Polyangiaceae роду *Polyangium*, широко розповсюджені в ґрунтовому покриві різних зон.

Актиноміцети та гриби можуть повільно руйнувати целюлозу, хітридіоміцети серед яких велика кількість паразитів також мають цю здатність.

За аеробного розкладу целюлози із глюкози, в основному, утворюються два продукти – CO_2 та H_2O і можуть накопичуватися у невеликій кількості органічні кислоти.

Анаеробний розклад клітковини супроводжується утворенням масляної та оцтової кислот, а також вуглецю, метану та вугільної кислоти. В аеробному розкладі беруть участь різноманітні бактерії, актиноміцети та гриби. Із групи бактерій особливо активними руйнівниками клітковини являються *Spirochaeta cytophaga*, *Cellvibrio*, *Cellfalcicula*.

За анаеробного розкладення целюлози первинний продукт – глюкоза в подальшому піддається бродінню, в результаті чого утворюється велика кількість органічних сполук. Інтенсивність розкладання целюлози у ґрунті визначена спільною дією кількох факторів: погодними умовами, характером рослинного покриву, обсягом органічної речовини, що надходить у ґрунт, типом ґрунту, його фізичними властивостями та хімічним складом. В умовах міського середовища інтенсивність целюлозолітичних процесів регулюється також характером та ступенем антропогенного впливу на ґрунтовий покрив, атмосферу та рослинність [37]. Целюлозолітична активність ґрунту цікавить дослідників як процес, в результаті якого в ґрунтах розкладається велика кількість рослинних решток. У нашій країні він почав вивчатися з появою методу І.С. Вострова та А.Н. Петрової [38].

Процес розкладання органічної речовини є важливою невід'ємною ланкою світового біогеохімічного кругообігу елементів і багато в чому визначає родючість ґрунтів. Швидкість розкладання целюлози впливає на швидкість розкладання органіки загалом. Цей показник можна розглядати як кількісну міру ґрунтової родючості, а чисту целюлозу — як модельний субстрат для розкладання, на фоні якого можна визначити дію факторів зовнішнього середовища та вивчити властивості ґрунту. Саме тому питання вивчення целюлозолітичної активності ґрунтів уже багато років перебувають у центрі інтересів науковців [23, 39–42].

Висвітлені дані І.С. Вострова та А.Н. Петрової [38] свідчать про те, що визначення активності мікрофлори за ступенем розкладу лляної тканини в ґрунті за зменшенням сухої маси дозволяє зробити більш точну оцінку стану та активності мікроорганізмів. Саме тому для дослідження целюлозолітичної активності ґрунту ми обрали цей метод.

Показник «дихання ґрунту» (інтенсивність виділення CO_2). Інтегрованим показником біологічної активності ґрунту є величина вуглекислого газу, яка показує на інтенсивність «дихання» ґрунту і, тим самим, процесів трансформації органічної речовини. Інтенсивність біологічної активності ґрунту за показником виділення вуглекислого газу залежить від типу ґрунту, вологості, температури, а також наявності органічної речовини, співвідношення вуглецю до азоту та інших.

Процес виділення CO_2 та споживання кисню ґрунтом, що називають ґрунтовым диханням, це — інтегрована функціональна характеристика інтенсивності продукційних і деструкційних процесів у наземних екосистемах. Виокремлення внесків гетеротрофів і автотрофів у цей процес є надзвичайно складним методичним завданням [43]. За різних природних умов їх співвідношення варіює в дуже широких межах, але часто його вважають рівним 1:1.

Кількість CO_2 , яку виділяє ґрунт, визначається не тільки біологічними (темпом росту й розвитку рослин і мікроорганізмів, диханням коренів), а й екологічними чинниками (температурою, вологістю повітря і ґрунту та ін.). Тому емісія CO_2 з поверхні ґрунту має досить чітку добову динаміку (від температури ґрунту залежить інтенсивність дихання коренів і активність ґрунтової біоти). Динаміка емісії CO_2 тісно корелює з температурою верхніх шарів ґрунту (чим вища температура ґрунту, тим інтенсивніше виділяється CO_2) і мікрорельєфом конкретного об'єкту. Водночас процеси, відповідальні за поглинання (виділення) газів, відбуваються в усьому об'ємі ґрунту як біокосного тіла. Це складний комплекс біофізичних і біохімічних взаємодій і явищ, що передбачає продукування і вбирання газоподібних речовин живою фазою ґрунту, міжфазові взаємодії, хімічні реакції окиснення-відновлення, транспорт газів і парів, їх акумулювання у нижніх шарах ґрунту і

взаємодію з підґрунтовими водами. Саме цей складний комплекс процесів визначає екологічну газову функцію ґрунтів [44].

Отже, виділення вуглекислого газу є об'єктивним індикатором інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту внаслідок мінералізації та дозволяє охарактеризувати одну з найважливіших сторін біологічного кругообігу речовин.

Таким чином, для повноти характеристики зі своєї сторони, ми пропонуємо долучити до оцінювання якості ґрунтів, показники фітотоксичності ґрунту потенційної целюлозоруйнівної активності та «дихання ґрунту» (інтенсивність виділення вуглекислого газу).

3.2. Удосконалений методичний підхід до визначення загального оцінювального балу якості ґрунту

Сутність запропонованого удосконаленого методичного підходу до визначення оцінювальних балів якості ґрунтів полягає у тому, що розрахунок цих балів здійснюється шляхом визначення балу кожного з контурів ґрунту, які розташовано в межах конкретного поля чи земельної ділянки окремо за ґрунтовими та кліматичними показниками, які враховують безпосередньо, та технологічними показниками поля, які враховують за допомогою поправкових коефіцієнтів. Відмінною рисою методичного підходу є додаткове урахування мікробіологічних показників разом з ґрунтовими та сумою опадів (мм) за період листопад-березень, тобто, вологозабезпеченості ґрунту у зимовий період.

Загальний оцінювальний бал визначають як середньозважену величину з індивідуальних оцінювальних балів окремо за ґрунтовими (в тому числі й мікробіологічними) і кліматичними показниками та розраховують за формулою 1:

$$B_3 = \frac{\sum B_{Г(1,2,3+...m)} \cdot K_{БГ(1,2,3+...m)} + \sum B_{К(1,2,3+...m)} \cdot K_{БК(1,2,3+...m)}}{\sum K_{БГ(1,2,3+...m)} + \sum K_{БК(1,2,3+...m)}}, \quad (1)$$

де B_3 – загальний оцінювальний бал; $B_Г$ – оцінювальний бал за ґрунтовими показниками; $B_К$ – оцінювальний бал за кліматичними показниками; $K_{БГ}$ – вагові коефіцієнти для ґрунтових показників; $K_{БК}$ – вагові коефіцієнти для кліматичних показників.

Рекомендовані значення вагових коефіцієнтів, які визначено експертним шляхом, наведено у табл. 3.

Таблиця 3
Значення вагових коефіцієнтів оцінювальних показників

Значення вагового коефіцієнта	Оцінювальний показник
1,4	Запаси продуктивної вологи в шарі 0-20 см під час сходів ранніх ярих культур
	Запаси продуктивної вологи в шарі 0-100 см під час цвітіння та формування генеративних органів ранніх ярих культур
1,2	Рівноважна щільність будови в шарі 0-30 см
	Уміст рухомого фосфору в шарі 0-30 см
	Уміст рухомого калію в шарі 0-30 см
	pH (KCl) у шарі 0-30 см
	ГТК за період з температурою повітря вище 10 °C
	Вологозабезпечення у зимовий період (сума опадів мм за період листопад-березень)
	Фітотоксична активність ґрунту
1,0	Глибина кореневмісного (гумусованого) шару
	Уміст гумусу в шарі 0-30 см
	Уміст фізичної глини в шарі 0-30 см
	Потенційна целюлозоруйнівна здатність
	Дихання ґрунту (інтенсивність виділення CO ₂)

Оцінку в балах кожного з оцінювальних показників (критеріїв) визначають відповідно до нормативних параметрів, показаних у табл. 4.

Таблиця 4

Оцінка параметрів ґрунтових та кліматичних критеріїв у балах

Критерій, одиниці вимірювання	Оцінка параметрів у балах				
	100 (I)	80 (II)	60 (III)	40 (IV)	20 (V)
<i>Параметри ґрунтових критеріїв</i>					
Глибина кореневмісного (гумусованого) шару, см	>65	65-51	50-36	35-20	<20
Уміст гумусу в шарі 0-30 см, %	>3,50	3,50-3,01	3,00-2,51	2,50-2,01	<2,00
Рівноважна щільність будови в шарі 0-30 см, г/см ³	1,1-1,3	1,1-1,0 і 1,3-1,4	1,0-0,9 і 1,4-1,5	0,9-0,8 і 1,5-1,6	<0,8 і >1,6
Уміст рухомого фосфору в шарі 0-30 см, мг/100 г ґрунту	>15,0	10,0-15,0	7,6-10,0	5,0-7,5	<5,0
Уміст рухомого калію в шарі 0-30 см, мг/100 г ґрунту	>17,0	14,5-17,0	12,0-14,4	8,0-11,9	<8,0
Уміст фракції < 0,01 мм у шарі 0-30 см, %	45-30	46-50 і 30-26	51-55 і 25-20	56-60 і 19-15	>60 і <15
pH (KCl) у шарі 0-30 см	6,1-7,2	6,0-5,6 і 7,3-7,5	5,5-5,1 і 7,6-7,8	5,0-4,6 і 7,9-8,5	<4,5 і >8,5
Фітотоксичність ґрунту, %	0-12	12-18	18-24	24-30	>30
Потенційна целюлозо-руйнівна здатність, %	30-50	30-20 і 50-60	20-15 і 60-70	15-10 і 70-80	<10 і >80
Дихання ґрунту (інтенсивність виділення CO ₂), кг/га за годину	0,4-0,5	0,3-0,4 і 0,5-0,6	0,3-0,2 і 0,6-0,8	0,2-0,1 і 0,8-1,0	<0,1 і >1,0
<i>Параметри кліматичних критеріїв</i>					
Запаси продуктивної вологи в шарі 0-20 см під час сходів ранніх ярих культур, мм	>40	40-30	29-20	19-10	<10
Запаси продуктивної вологи в шарі 0-100 см під час цвітіння та формування генеративних органів ярих культур, мм	>160	160-130	129-100	99-70	<70
ГТК за період з температурою повітря вище 10 °С	1,10-1,20	1,09-1,00 і 1,21-1,30	0,99-0,90 і 1,31-1,40	0,89-0,70 і 1,41-1,60	<0,70 і >1,60
Вологозабезпеченість у зимовий період (сума опадів за період листопад-березень), мм	>80	80-65	65-50	50-30	<30
Примітка. Характеристика параметрів: I — дуже сприятливі; II — сприятливі; III — середні; IV — несприятливі; V — дуже несприятливі					

3.3. Результати порівняння оцінювальних балів якості ґрунтів, визначених за різними методичними підходами

Проведено розрахунок оцінювальних балів якості досліджених орних ґрунтів за різними методичними підходами: за чинною методикою бонітування [45], методикою В.В. Медведєва та ін. [46, 47] та удосконаленою методикою оцінювання якості ґрунтів [48], яку розроблено за участі авторів статті. На рис.1 представлено результати проведених розрахунків оцінювальних балів досліджених ґрунтів.

Чинна методика бонітування. Варто відмітити, що розрахунки балів бонітету за чинною методикою здійснюються за чотирма основними діагностичними ознаками (показниками): запаси гумусу у шарі 0–100 см; максимально можливі запаси продуктивної вологи у шарі 0–100 см; вміст рухомого фосфору та калію в орному шарі ґрунту. Для кожного діагностичного показника розраховується бал бонітету шляхом співвідношення фактичного значення ознаки та її еталонного значення.

Еталони для показників становлять: за вмістом гумусу в шарі 0–100 см — 500 т/га; за вмістом продуктивної вологи в шарі 0–100 см — 200 мм. Стандартами для елементів живлення служать такі величини: за вмістом рухомих фосфатів за методом Кірсанова —

26, Чирикова — 20, Мачигіна — 6 мг/100 г ґрунту; за вмістом обмінного калію: за методом Кірсанова — 17; Чирикова — 20; Мачигіна — 40; Пейве — 25; Маслової — 20 мг/100 г ґрунту.

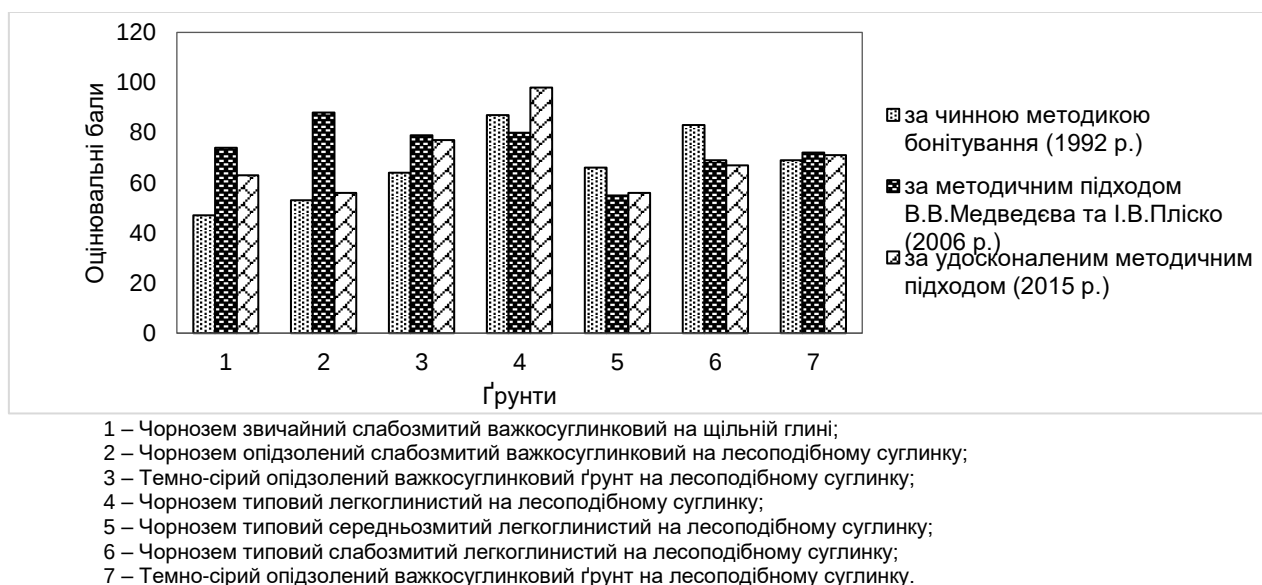


Рис.1. Оцінювальні бали якості досліджених орних ґрунтів, розраховані за різними методичними підходами

Середньозважений бал бонітету ($B_{сз}$) за типовими критеріями ґрунту розраховують за формулою 2:

$$B_{сз} = \frac{B_1 \cdot \Pi_1 + B_2 \cdot \Pi_2 + \dots + B_n \cdot \Pi_n}{\sum \Pi_n}, \quad (2)$$

де $B_1, B_2, \dots, B_n$ — бали за типовими критеріями (гумус, ДАВ, фосфор, калій); $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ — ціна балу критерію (визначається діленням стандартного показника на 100); $\sum \Pi$ — сума цін балів усіх критеріїв.

Проведені розрахунки вказують на те, що найвищі бали бонітету серед досліджених ґрунтів мають чорноземи типові легкоглинисті. Посилення ознак змитості призводить до зменшення бонітетів: на 4 та 21 бал відповідно для слабозмитого та середньозмитого різновидів цього ґрунту. Найнижчими оцінювальними балами характеризуються чорнозем опідзолений (розріз № 2) та чорнозем звичайний (розріз № 1), які мають слабкий ступінь змитості.

Методика В.В.Медведєва та ін. дозволяє визначати бали бонітету шляхом комплексної оцінки показників «ґрунту», «клімату» та «поля». Їх загальна кількість становить 12. За результатами розрахунків встановлено, що розраховані оцінювальні бали досліджених ґрунтів є вищими порівняно з балами, розрахованими за чинною методикою бонітування. Найвищими балами характеризуються чорнозем типовий легкоглинистий та чорнозем опідзолений важкосуглинковий зі слабким ступенем змитості. Найнижчий бал бонітету отримано для чорнозему типового легкоглинистого середньозмитого.

Удосконалений методичний підхід передбачає залучення 14 оцінювальних показників, які характеризують властивості ґрунтів та клімату. Відмінність від інших методичних підходів полягає у врахуванні деяких мікробіологічних показників, зокрема, фітотоксичності, потенційної целюлоруйнівної здатності та показника «дихання» ґрунту (за інтенсивністю виділення CO_2), а також додаткового кліматичного показника у вигляді вологозабезпечення у зимовий період. Цей методичний підхід є першою спробою використання мікробіологічних показників в оцінюванні якості ґрунтів.

Результати розрахунків свідчать про те, що аналогічно з двома попередніми методиками, найвищий бал має чорнозем типовий легкоглинистий. Ступінь змитості суттєво знижує оцінювальні бали: для слабозмитих різновидів — на 31 бал, для середньозмитих — на 41 бал.

При порівнянні розрахованих оцінювальних балів за різними методичними підходами встановлено, що збільшення кількості оцінювальних показників порівняно з чинною методикою бонітування призводить до уточнення оцінювальних балів досліджених

ґрунтів. Це стосується як методичного підходу В.В. Медведєва та ін., так і запропонованого удосконаленого методичного підходу.

4. Висновки

Запропоновано удосконалений методичний підхід до оцінювання якості орних ґрунтів, який передбачає окрім показників ґрунту та клімату, використовувати ряд мікробіологічних показників, зокрема, фітотоксичність ґрунту, потенційну целюлозоруйнівну здатність та показник «дихання ґрунту» (за інтенсивністю виділення CO₂). Оскільки, оцінка біологічної активності ґрунтів близька до оцінки рівня родючості, відповідно вищезазначені показники мають доповнити методику оцінки якості земель, яка, в основному, базується на використанні агрофізичних та агрохімічних властивостей. Додаткове врахування мікробіологічних показників ґрунтів дозволяє об'єктивізувати підходи до оцінювання якості ґрунтів з метою визначення сучасного стану їхньої родючості.

Список використаних джерел

1. Волох П.В., Левченко Г.П., Острініна О.П. Парадигма бонітування ґрунтів та економічні оцінки сільськогосподарських земель в аграрному праві. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2021. № 8. С.168-175. <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2021-8/38>.
2. Волков В.П., Переверзева А.В., Полякова О.І. Управління якістю ґрунтів в ЄС та Україні. *Ефективна економіка*. 2020. № 9. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.9.4>
3. Чорний С.Г. Оцінка якості ґрунтів у провідних країнах світу. *Оцінка якості ґрунтів: навчальний посібник*. Миколаїв: МНАУ, 2018. С.157-188.
4. Assessing agricultural soil quality on a global scale / L. Mueller, U. Schindler, T. Graham [et al.]. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2012. Vol. 58. P. 576-582. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.692877>.
5. Herencia J.F., Pérez-Romero L.F., Daza A., Arroyo F.T. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional Japanese plum orchards. *Biological Agriculture & Horticulture*. 2021. Vol. 37. No.2. P. 71-90. <https://doi.org/10.1080/01448765.2020.1842243>
6. Schloter M., Nannipieri P., Sørensen S.J., Elsas J.D. Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility Soils*. 2018. Vol. 54. P. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1248-3>
7. Журавель М.Ю., Найдьонов О.Є., Яременко В.В. Застосування біологічних показників для визначення агроекологічного стану рекультивованих ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. зб. 2015. Вип. 84. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 80-88. URL: <http://agrochemsoilsci.org/84/84-10.html> (дата звернення 02.09.2022).
8. Цюк О.А., Кирилюк В.І., Ющенко Л.П. Біохімічна активність чорнозему типового за різних систем землеробства. *Мікробіологічний журнал*. 2017. Т. 79. № 3. С. 65-71. <https://doi.org/10.15407/microbiol79.03.065>.
9. Цигічко Г.О., Маклюк О.І. Динаміка біохімічної активності чорнозему типового за органічної та традиційної систем землеробства. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. зб. 2015. Вип. 82. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 91-97. URL: <http://agrochemsoilsci.org/NNN.html#82>
10. Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С., Симочко В.В. Біоіндикація і біотестування ґрунтів – сучасні методичні підходи. *Науковий вісник Ужгородського університету*. Серія Біологія. 2017. Випуск 42. С. 77-81.
11. Оцінка і управління якістю ґрунтів. Навчальний посібник / С.Ю. Булигін, О.Л. Тонха, С.В. Вітвіцький [та ін.]. Київ, 2020. 489 с.
12. Медведєв В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция. Итоги. Задачи. (2-ое пересмотренное и дополненное издание). Харьков : КП «Городская типография», 2012. 536 с.
13. Soil quality – a critical review / E.K. Bütemann, G. Bongiorno, Z. Bai, [et al.] *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. Vol. 120. P. 105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>.
14. Martinez M., Gutiérrez-Romero V., Jannsens M., Ortega-Blu R. Biological soil quality indicators: a review. In: A. Mendes-Vilas (Ed.) *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*. 2010. P. 319-328. URL: https://www.researchgate.net/publication/285738755_Biological_soil_quality_indicators_a_review (дата звернення 05.09.2022)
15. Huera-Lucero T., Labrador-Moreno J., Blanco-Salas J., Ruiz-Téllez T. Framework to incorporate biological soil quality indicators into assessing the sustainability of territories in the Ecuadorian Amazon. *Sustainability*. 2020. Vol. 12(7):3007. <https://doi.org/10.3390/su12073007>.
16. Blum W.E.H. Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 2008. Vol. 4. No 3. P. 75-79. <https://doi.org/10.1007/s11157-005-2236-x>.
17. Schlotera M., Dilly O., Munch J.C. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2009. № 99. P. 255-265.
18. Schiefer J., Lair G.J., Blum W.E.H. Indicators for the definition of land quality as a basis for the sustainable intensification of agricultural production. *International Soil and Water Conservation Research*. 2015. Volume 3. Issue 1. P. 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.003>.
19. Simplified performance assessment methodology for addressing soil quality of nature-based solutions / R. Bouzouidja, B. Béchet, J. Hanzlikova [et al.]. *Journal of Soils and Sediments*. 2021. Vol. 21, P. 1909–1927. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02731-y>.
20. Патица В.П. Мікробіомна індикація стану чорноземів України. Матеріали міжнародного науково-практичного семінару, присвяченого 130-річчю виходу книги професора В.В. Докучаєва «Русский чернозем» і появи сільськогосподарської дослідної справи як галузі знань. 2013. С. 98.

21. Макарова Г.А., Глущенко М.К., Вакуленко С.І. Сидерація, як фактор підвищення родючості ґрунтів. *Екологія: сучасний стан родючості ґрунтів та шляхи її збереження*. 2003. Вип. 68. Т. 81. С. 56-62.
22. Шерстобоева О.В., Шустерук Т.З., Дем'янюк О.С. Біологічний моніторинг ґрунтів як складова екологічного моніторингу агроєкосистем. *Агроєкологічний журнал*. 2007. № 3. С. 45–49.
23. Лико Д.В., Лико С.М., Портухай О.І., Безверха О.В. Целюлозолітична активність дерново-підзолистого ґрунту різних біотопів. *Агроєкологічний журнал*. 2017. № 4. С. 53-57. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2017.219729>
24. Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія. Київ: Арістей, 2006. 284 с.
25. Гамкало З. Біотична активність як критерій едафічного комфорту. *Екологічна якість ґрунту*. Львів: Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка, 2018. С. 200-254.
26. Шерстобоева О.В., Дем'янюк О.С., Чабанюк Я.В. Біодіагностика і біобезпека ґрунтів агроєкосистем. *Агроєкологічний журнал*. 2017. № 2. С. 142-148. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220170>.
27. Zhang J., Li, P. Using soil microorganism to construct a new index of soil quality evaluation. *Earth Environ. Sci.* 2020. Vol. 440(052023). P.1-4. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/440/5/052023>.
28. Qadir M., Schubert S., Steffens D. Phytotoxic Substances in Soils. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. 2013. P. 216-222. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05255-6>.
29. Ziolkowska A., Wyszowski M. Toxicity of petroleum substances to microorganisms and plants. *Ecological Chemistry and Engineerings*. 2010. Vol. 17. № 1. P. 73-82.
30. Glibovytska N., Mykhailiuk Yu. Phytoindication research in the system of environmental monitoring. *Екологічні науки*. 2020. №1 (28). С. 111-114. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.16>.
31. Grossbard E. Antibiotic production by fungi on organic manures and in soil. *J. Gen. Microbiol.* 1952. V. 6. № 5-4. P. 295-310.
32. Bansal O.P. The influence of potentially toxic elements on soil biological and chemical properties. / In Z.A. Begum, I.M. Rahman, & H. Hasegawa (Eds.). *Metals in Soil - Contamination and Remediation*. 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.81348>.
33. Impacts of sewage irrigation on soil properties of farmland in China: A review / Q. Li, J. Tang, T. Wang [et al.]. *International Journal of Experimental Botany*. 2018. Vol.87. P. 40-50. <https://doi.org/10.32604/phyton.2018.87.040>.
34. Берестецкий О.А., Элисашвили Т.А., Боровков А.В. Образование некоторыми почвенными микроорганизмами фитотоксичной метилсалициловой кислоты и влияние её на растения. *С.-х. биология*. 1978. Т. 13. № 6. С. 868-871.
35. Варнайта Р.Н., Раудонене В.З. Биодеградація растительных отходов микромицетами. *Микол. и фитопатол.* 2003. № 2. С. 49-52.
36. Gomes I., Shaheen M., Rahman S.R., Gomes D.J. Comparative studies on production of cell wall-degrading hydrolases by *Trichoderma reesei* and *T. Viride* in submerged and solid-state cultivations. *Bangladesh Journal of Microbiology*. 2008. Vol. 23(2). P. 149-155. <https://doi.org/10.3329/bjm.v23i2.882>.
37. Домусчи С.В., Тригуб В.І. Целюлозолітична активність ґрунтів міста Одеса. *Вісник Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова. Серія: Географічні та геологічні науки*. 2022. Т. 27. Вип. 1(40). С. 61-71. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.1\(40\).257533](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.1(40).257533).
38. Востров И.С., Петрова А.Н. Определение биологической активности почвы различными методами. *Микробиология*. 1961. Т. 30. № 4. С. 665-672.
39. Мальярчук Р.В. Целюлозолітична активність ґрунтів м. Дубровиця. *Сучасні досягнення природничих наук: матеріали Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції (для молодих науковців, студентів, магістрантів, аспірантів)*. Полтава. 2019. С. 100-102.
40. Syshchykov D.V., Agurova I.V., Syshchykova O.V. Features of the formation of biological and cellulolytic activity in soils of anthropogenous transformed ecosystems. *Darnios aplinkos vystymas*. 2021. 1(18). P. 99-107.
41. Krzyśko-Łupicka T., Kręciło Ł., Kręciło M. The comparison of cellulolytic activity of the modified soil treated with roundup. *Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology*. 2016. Vol. 21(1-2). P. 133-139.
42. Стернік В.М. Целюлозолітична активність ґрунтів урбоєкосистеми м. Рівне. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*. 2015. Том 6 (13). № 1. С. 317-324.
43. Ryan M.G., Law B.E. Interpreting, measuring, and modelling soil respiration. *Biogeochemistry*. 2005. Vol. 73. № 1. P. 3-27.
44. Lynd L.R., van Zyl W.H., McBride J.E., Laser M. Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. *Current Opinion in Biotechnology*. 2005. Vol. 16(5). P. 577-583. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.08.009>.
45. Новаковський Л.Я., Канах А.П., Розумний І.А., Деревицкий А.В. *Методика бонитировки почв Украины*. Киев, 1992. 102 с.
46. Медведєв В.В., Пліско І.В. Бонитировка и качественная оценка пахотных земель Украины. Харьков: 13 типография, 2006. 386 с.
47. Пліско І.В. Якість орних ґрунтів України. Харків: ФОП Бровін О.В., 2020. 372 с.
48. Пліско І.В., Строкова Д.О. Досвід оцінювання якості ґрунтів. *Матеріали Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. «Наукові пріоритети розвитку аграрної сфери в умовах глобальних змін»*, 4-5 грудня 2014. Тернопіль: Крок, 2014. С.57-59.

UDC 631. 461:631.474

On the issue of using microbiological indicators in the assessment of soil quality

I. V. Plisko, D. O. Morgun, K. Yu. Romanchuk

National scientific center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky"

Kharkiv, Ukraine

E-mail: irinachujan@gmail.com

The article substantiates the use of microbiological indicators in soil quality assessment. A wide range of microbiological indicators was analyzed based on the results of many years of research by leading Ukrainian and foreign scientists - soil scientists, ecologists, microbiologists. In addition to soil and climate indicators, it is proposed to use microbiological indicators as evaluative indicators, such as soil phytotoxicity, potential cellulose-degrading capacity, and the "soil respiration" indicator (based on the intensity of CO₂ release). The purpose of the article is to highlight the results of assessing the quality of arable soils (on the example of the Kharkiv region) using an improved methodical approach by taking into account the above-mentioned microbiological indicators. As a result of determining the microbiological evaluation indicators of the main arable soils of the Kharkiv region, their influence on evaluation points was analyzed according to the improved method of soil quality assessment. A comparison of the results of determining evaluation points using different methodical approaches was carried out. When comparing the calculated evaluation points according to different methodical approaches, it was established that the increase in the number of evaluation indicators compared to the current rating method leads to the clarification of the evaluation points of the studied soils. This concerns the methodical approach of V.V. Medvedev and others, as well as the proposed improved methodical approach.

Key words: assessment; soil; microbiological indicators; quality.

Citing: Plisko, I.V., Morgun, D.O., & Romanchuk, K.Yu. (2022). On the issue of using microbiological indicators in the assessment of soil quality. *AgroChemistry and Soil Science*, 93, 12-23. [doi:10.31073/acss93-02](https://doi.org/10.31073/acss93-02) [in Ukrainian].

УДК 631.442

Фосфор коричневых почв горных пастбищ Узбекистана

А. Ахатов, С. С. Буриев, В. Б. Нурматова*

Научно-исследовательский институт окружающей среды и природоохранных технологий при Государственном комитете по экологии и охране окружающей среды Республики Узбекистан, Ташкент, Республика Узбекистан

ИНФОРМАЦИЯ	АННОТАЦИЯ
Рукопись получена 15.08.2022 Получена после доработки 12.10.2022 Утверждение в печать 13.10.2022 Доступна онлайн 01.12.2022 Ключевые слова: горные пастбища; гумус; илистая фракция; коричневые почвы; резервы фосфора; фосфор.	Целью настоящей работы является оценка содержания и распределения фосфора в профиле коричневых почв (Cambisols, Kastanozems, Leptosols) горных пастбищ Республики Узбекистан. Почвенные разрезы заложены в 7 сельскохозяйственных районах страны. Полевые исследования, отбор проб и аналитические работы выполнены в 2019–2021 гг. В перечень исследуемых показателей вошли степень эродированности почв, общее содержание гумуса, содержание илистой фракции, общее содержание фосфора и содержание подвижного фосфора в выделенной илистой фракции и в почве. Проведено детальное деление фосфора на резервы и их расчет по методике расчетов резервов элементов питания по Н.И. Горбунову (1978). Изученные горные коричневые почвы характеризуются суглинистым гранулометрическим составом, ореховато-комковатой структурой, слабокислой или слабощелочной реакцией. Общее содержание гумуса в верхнем горизонте варьирует от 1,0 до 6,8 %. Доля илистой фракции — от 2,9 до 18,3 %. Содержание фосфора в илистых фракциях в 2–3 раза выше, чем в почве в целом и максимальное — 0,558 %. Был выделен фосфор резервов — ближнего, непосредственного и потенциального. Выявлены колебания по содержанию фосфора резервов в гумусовом горизонте: ближний — от 7 до 19, непосредственный — от 6 до 26, потенциальный, доминирующий в общем содержании, — от 68 до 80 %. В гумусовом горизонте происходит накопление нерастворимой формы фосфора, что повышает устойчивость почв к водной эрозии благодаря образованию водопрочных структур. Констатируется неравномерность распределения фосфора и его резервов в коричневых почвах на горных пастбищах Узбекистана, как по почвенному профилю, так и по регионам страны, на что влияют рельеф, экспозиция склонов, особенности почвообразующих пород, атмосферные осадки, гидротермические условия, период биологической активности почв. Потери ближнего и непосредственного резервов гумуса приводят к снижению общего содержания фосфора в целом.

* E-mail: nurmatoffkennel@gmail.com

Форма цитирования: Ахатов А., Буриев С.С., Нурматова В.Б. Фосфор коричневых почв горных пастбищ Узбекистана. Агрохимия и почвоведение. Межведомств. тем. научн. сборник. 2022. Вып. 93. Харьков: ННЦ "ИПА им. А.Н. Соколовского". С. 24–32. <https://doi.org/10.31073/acss93-03>

1. Введение

Известно, что фосфор является одним из важных элементов в питании растений. Он участвует в метаболических процессах, таких как фотосинтез, передача энергии, синтез и расщепление углеводов и признан одним из наиболее действенных факторов роста и продуктивности растений в мировом масштабе [1]. Вовлечение земель в сельскохозяйственный оборот и их интенсивное использование обуславливает утрату почвенного плодородия. Нехватка фосфора широко распространена и остается основным ограничением питательных веществ в неорошаемых горных системах земледелия, так как фосфор является одним из важнейших элементов управления и обеспечения устойчивости систем землепользования в горных районах [2, 3, 4].

Повышение эффективности сельскохозяйственного производства является актуальной проблемой в сфере управления земельными ресурсами, особенно в регионах, где наблюдается дефицит сельскохозяйственных земель по причине неблагоприятных условий климата или рельефа. В экономике Узбекистана сельское хозяйство является одной из ключевых отраслей, в которой последовательно осуществляется стратегия развития, направленная на обеспечение продовольственной безопасности страны. Принятый в 2019 году Закон о пастбищах [5] и Стратегия развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы [6] стали толчком к более активному использованию горных территорий в сельском хозяйстве как пастбища, и сенокосы. Чрезмерный выпас, сопровождающийся выбиванием растительного покрова животными, приводит к нарушению стабильности склонов, благоприятствуя эрозии почв, их дегумификации и уменьшению площади полезных земель, восстановление которых в условиях горного рельефа проблематично [7, 8]. Несмотря на большое количество проведенных исследований, посвященных изучению содержания фосфора, его запасов, влияния факторов на их динамику в местных почвах [9–16], эта тематика остается по-

прежнему актуальной, учитывая современный тренд изменения климата в регионе [17]. Особенный интерес вызывает проблема истощения запасов фосфора коричневых почв, которые широко распространены на средне- и низкогорьях и составляют основную часть земельного фонда страны. В связи с этим целью настоящей статьи является представление некоторых результатов исследований по оценке содержания фосфора и его резервов, а также его распределения в профиле коричневых почв горных пастбищ Узбекистана.

2. Объекты и методы исследования

2.1. Районы и объекты исследования

Профильные исследования содержания фосфора в почвах проведены в 7 сельскохозяйственных районах страны в период 2019–2021 гг. В качестве объекта исследования выбраны коричневые почвы под горными пастбищами [18]. В соответствии с Мировой реферативной базой почвенных ресурсов (WRB) [19], изученные почвы относятся к Cambisols и Kastanozems, наиболее эродированные варианты — Leptosols. Для проведения исследований заложено 7 разрезов на коричневых почвах со сходным гранулометрическим составом на склонах различной экспозиции [16]. Названия и краткое описание почв, а также географическая привязка разрезов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Почвы и географическое положение ключевых почвенных разрезов

№	Координаты		Абсолютная высота, м	Географическая позиция разреза, название почвы
	широта (с. ш.)	долгота (в. д.)		
54	39°52'21"	68°22'24"	924	Туркестанский хребет, северный макросклон, вблизи поселка Зомин, склон западной экспозиции; почва – коричневая, выщелоченная, слабоэродированная, среднегумусированная, среднесуглинистая на лессе
1	37°42'24"	66°44'55"	824	Гиссарский хребет, юго-западные отроги, хребет Кугитангау, восточный макросклон, вблизи поселка Пашхурт, склон южной экспозиции; почва – коричневая выщелоченная, эродированная, малогумусированная, среднесуглинистая на лессе
40	39°30'38"	66°44'11"	885	Заравшанский хребет, западный отрог, северный макросклон, вблизи поселка Сазагон, склон восточной экспозиции; почва – коричневая выщелоченная, слабоэродированная, среднегумусированная, среднесуглинистая на лессовидном суглинке
28	40°25'47"	66°02'20"	839	Горы Нуратау (Южно-Нуратинский хребет), хребет Актау, северный макросклон, вблизи поселка Чуя, склон северной экспозиции; почва – коричневая выщелоченная, среднеэродированная, среднегумусированная, среднесуглинистая на лессовидном суглинке
66	41°35'29"	70°07'17"	1382	Западный Тянь-Шань, Коксуйский хребет, юго-западный склон, вблизи поселка Бурчмулла, склон южной экспозиции; почва – коричневая выщелоченная, среднеэродированная, среднегумусированная, среднесуглинистая на лессовидном делювии гранитов
13	39°12'54"	67°04'10"	1112	Заравшанский хребет, юго-западный отрог, западный макросклон, вблизи поселка Варганза, склон южной экспозиции; почва – коричневая выщелоченная, среднеэродированная, среднегумусированная, среднесуглинистая на лессовидном суглинке
74	40°57'41"	70°46'05"	1044	Кураминский хребет, южный макросклон, вблизи поселка Чодак, склон западной экспозиции; почва – коричневая типичная, карбонатная, слабоэродированная, среднегумусированная, среднесуглинистая на лессе

Коричневые почвы широко распространены в горах Узбекистана, где занимают склоны различной крутизны и экспозиции на высотах от 800 до 1800 м. Почвообразующими породами выступают делювиальные, лессовидные суглинки и карбонатные породы [18, 20].

Климатические условия характеризуются резкой континентальностью — абсолютный температурный максимум +45 °С, абсолютный минимум -30 °С. Суммарная радиация в горах до 8350 МДж/м². Количество осадков в предгорьях варьирует от 300 до 400 мм, на западных и юго-западных склонах горных хребтов достигает 600–800 мм,

отчетливо выражен весенний максимум выпадения осадков — до 600 мм, на летний период приходится минимум влаги (менее 100 мм). Устойчивый снежный покров в предгорьях (от 300–400 до 600–1000 м н.у.м.) образуется не каждую зиму, а в горной зоне (выше 600–1000 м н.у.м.) начинается с высоты 800–1000 м и местами его максимальная толщина превышает полтора метра [21].

Растительность представлена разнотравно-дернинно-злаковыми степями с участием пырея волосистого (*Agropyrum trichophora* (Link) Nevski), ячменя луковичного (*Hordeum bulbosum* L.), мятлики луковичного (*Poa bulbosa* L.), костра (*Bromus* sp.), прангоса высокого (*Prangos pabularia* Lindl.), ферулы (*Ferula* sp.), ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.), мортука восточного (*Eremopyrum orientale* (L.) Jaub. & Spach), вьюнка шерстистого (*Convolvulus subhirsutus* Regel & Schmalh.), кузинии теневой (*Cousinia umbrosa* Bunge) и др. На сухих склонах развиты арчово-кустарниковые леса с арчей туркестанской (*Juniperus turkestanica* Kom.), жимолостью (*Lonicera* sp.), шиповником (*Rosa* sp.) [20]. В целом по стране, пустынные пастбища занимают 77 %, предгорные — 16 %, горные — 4 %, высокогорные — 3 %. Естественные предгорные и горные пастбища Узбекистана занимают около 5 млн га, однако урожайность их низка и составляет 3–7 ц/га воздушно-сухой массы, но на некоторых участках и при благоприятных погодных условиях может достигать 12 ц/га [22].

В горах коричневые почвы, как правило, образуют выраженный высотный пояс. В нижней части пояса выделяется подтип коричневых слабо выщелоченных почв, а в верхней — подтип коричневых типичных. Почвы подвержены эрозии, в связи с чем часто встречаются в разной степени эродированные разновидности. Типичный профиль коричневых почв характеризуется большой мощностью, хорошо дифференцирован на гумусо-аккумулятивный, метаморфический (срединный) и карбонатно-иллювиальный горизонты [20]. Гумусо-аккумулятивный горизонт имеет серую или темно-серую окраску с коричневым оттенком, суглинистый и средне-суглинистый состав, комковато-зернистую структуру, насыщен корнями (дернина), карбонатные роды почв вскипают от 10 % соляной кислоты с поверхности. Срединный горизонт отличается коричневой окраской, глинистым гранулометрическим составом, ореховато-комковатой структурой. Иллювиально-карбонатный горизонт хорошо диагностируется по белесой окраске, уплотнен, содержит обильные новообразования вторичных карбонатов (белоглазка, пропитка, псевдомицелий). У сильноэродированных коричневых почв профиль нарушен до карбонатного горизонта, верхняя часть профиля часто отсутствует. У средне- и слабоэродированных почв верхняя часть профиля фрагментарна, дифференциация на горизонты слабо выражена.

2.2. Методы исследования

В задачи исследования входило полевое изучение морфологических особенностей профилей коричневых почв, отбор почвенных образцов, лабораторно-аналитические работы. Полевые исследования, отбор образцов и пробоподготовка выполнены в соответствии с общепринятыми методиками [23, 24]. Степень эродированности почв оценивали по С.С. Соболеву [25].

Пробы почвы отобраны в средней части генетических горизонтов. В образцах определяли общее содержание гумуса по методу И.В. Тюрина [26]. Илистые фракции выделяли с помощью центрифугирования по методу М.Ш. Шаймухаметова и К.А. Ворониной [27]. Общее содержание фосфора определяли в одной навеске с последующим колориметрированием по методу И.М. Мальцевой [28]. Содержание подвижного фосфора (непосредственный резерв) в почвах и илистых фракциях определяли в 1 % $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ углеаммонийной вытяжке по методу Б.П. Мачигина [28].

Ключевой задачей настоящего исследования является более детальное деление на так называемые резервы фосфора и расчет их количества, который производили по методике расчета элементов питания Н.И. Горбунова [29]. Суть метода заключается в расчетах, которые показывают потери общего содержания фосфора за счет убывания из почвы резервов. Ближний резерв был определен как фосфор в илистой фракции, с учетом содержания илистой фракции ($< 0,001$ мм) в почве (%); непосредственный резерв — водорастворимая, подвижная форма; потенциальный резерв вычислили от общего резерва фосфора. При порядке расчета резервов фосфора исходными величинами были: содержание фосфора в почве в целом и во фракции $< 0,001$ мм (%), содержание в почве фракции менее 0,001 мм. Расчеты всех видов резервов фосфора пересчитывались в миллиграммах на 100 г. Все виды резервов суммировали и от суммы вычисляли процентное содержание каждого вида резерва. Ближний резерв рассчитан по формуле:

$$\text{БФ} = (\text{Ф}_{\text{ил}} \times \text{ИФ}) / 100 \quad (1),$$

где БФ — ближний резерв фосфора, мг на 100 г почвы;

$\Phi_{\text{ил}}$ — содержание фосфора в илистой фракции, мг на 100 г почвы;
ИФ — доля илистой гранулометрической фракции, %.

Непосредственный резерв фосфора (НФ) это водорастворимая и подвижная формы, и он равен содержанию фосфора в 1 % углеаммонийном растворе.

Потенциальный резерв фосфора находим как разность между общим и суммой ближнего и непосредственного резервов:

$$ПФ = ОФ - (БФ + НФ) \quad (2),$$

где, ПФ — потенциальный резерв фосфора, мг/100 г;

ОФ — общий резерв фосфора, мг/100 г;

БФ — ближний резерв фосфора, мг/100 г;

НФ — непосредственный резерв фосфора, мг/100 г.

3. Результаты исследований

Проведенные исследования показали следующее (Табл. 2). В почвах разрезов 74, 54, 40, pH 6,5 (слабокислая среда), в остальных разрезах — 7,2 (среда слабощелочная, ближе к нейтральной). Общее содержание фосфора в верхнем горизонте изученных коричневых почв варьирует от 0,141 до 0,350 %, содержание подвижного фосфора от 12,50 до 54,00 мг/кг почвы. Доля подвижного фосфора в общем содержании фосфора варьирует от 6,98 до 38,30 %. Заметна тенденция снижения общего содержания и содержания подвижного Р к нижним горизонтам почвенного профиля.

Таблица 2

Содержание фосфора и илистой фракции в коричневых почвах Узбекистана

Раз- рез	Границы горизонта, см	Содержание фосфора в почве			Содер- жание илистой фракции, %	Общее содер- жание фосфора в илистой фракции, %
		общее, %	подвижного, мг/кг	доля подвижного в общем, %		
54	0-9	0,350	48,05	13,16	11,1	0,558
	9-31	0,241	20,48	8,50	17,5	0,369
	31-52	0,215	12,14	5,65	18,3	0,329
	52-85	0,200	9,21	4,61	18,3	0,306
	85-126	0,152	8,17	5,40	17,5	0,233
1	0-8	0,279	35,14	12,60	12,6	0,427
	8-38	0,209	25,25	12,08	13,5	0,320
	40-69	0,214	12,46	5,82	14,8	0,322
	69-105	0,145	7,13	4,92	16,3	0,221
40	0-7	0,248	21,17	8,54	12,7	0,379
	7-11	0,145	11,10	7,66	13,5	0,222
	11-27	0,098	13,96	14,24	12,7	0,150
	27-50	0,074	7,84	10,59	11,9	0,113
	50-80	0,065	5,90	9,08	11,1	0,100
28	80-110	0,065	5,78	8,89	12,7	0,100
	0-8	0,179	12,50	6,98	4,80	0,274
	8-25	0,103	8,45	8,20	4,00	0,158
	25-60	0,059	4,31	7,31	3,20	0,090
	60-95	0,052	0,96	1,85	4,00	0,080
66	0-5	0,164	43,20	26,34	5,0	0,251
	5-29	0,157	28,80	18,34	5,2	0,240
	29-63	0,107	16,00	14,95	3,6	0,164
	63-90	0,090	11,20	12,44	4,0	0,138
	90-122	0,037	8,00	21,62	2,9	0,057
13	0-9	0,151	26,23	17,37	6,3	0,234
	9-25	0,143	16,71	11,68	12,2	0,231
	25-65	0,127	9,12	7,18	14,5	0,219
	65-97	0,087	8,11	9,32	11,6	0,041
74	0-7	0,141	54,00	38,30	3,0	0,216
	7-26	0,124	14,09	11,32	8,3	0,189
	26-75	0,128	18,00	14,06	8,6	0,230

Гранулометрический состав изученных почв среднесуглинистый. Доля илистой фракции варьирует от 2,9 до 18,3 % (Табл. 2). Вертикальное распределение относительно

равномерное с неясно выраженным накоплением в средней части профиля, что может быть объяснено иллювиальными процессами (Рис. 1). Из этого можно сделать вывод, что в изученных почвах процесс внутрипочвенного выветривания происходит очень медленно. В илистых фракциях содержание фосфора в 2 – 3 раза больше, чем в почве в целом. В частности, максимум содержания фосфора в выделенных илистых фракциях выявлен в разрезе 54 и составил 0,558 % (Рис.1).

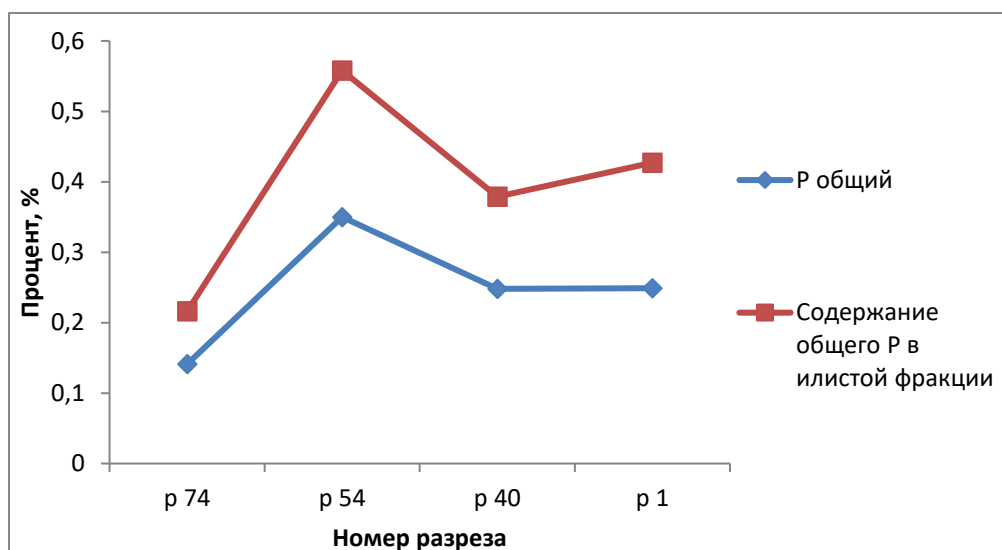


Рис. 1. Общее содержание фосфора и содержание в составе илистой фракции в гумусово-аккумулятивном горизонте коричневых почв разной степени эродированности.

Оценка резервов фосфора показала следующее (Табл. 3). Как мы указали, фосфор непосредственного резерва доступен для микроорганизмов, считается, что такой фосфор наиболее активен и в первую очередь удаляется из почвы [30]. Вертикальное распределение фосфора непосредственного резерва зависит от экспозиции склонов и эродированности почвы, так как в слабо щелочной среде он подвижен по почвенному профилю. В изученных почвах доля фосфора непосредственного резерва от общего содержания фосфора варьирует от 1,92 до 38,30 % (Табл. 3).

Фосфор ближнего резерва выделен из илистой фракции < 0,001 мм с учетом ее содержания в почве (%). В целом вертикальное распределение фосфора ближнего резерва однотипное, в диапазоне значений от 65,0 до 2,0 мг/100 г, с равномерным уменьшением содержания вниз по профилю. В процентном отношении в верхнем горизонте почв содержится от 7,26 до 19,86 % всего фосфора. Максимальное накопление ближнего резерва в гумусовом (верхнем) горизонте коричневых почв в разрезе № 54 составляет 62,0 мг/100 г, минимальное в разрезе № 66 — 12,60 мг/100 г. На склонах южной и восточной экспозиций (разрезы 40, 13, 1) распределение ближнего резерва по профилю неоднородное, так как именно южные и восточные склоны получают меньшее количество осадков.

В изученных коричневых почвах потенциальный резерв фосфора является доминирующим в общем содержании фосфора и колеблется по профилю от 65,86 до 92,31 % (Табл. 3), его вертикальное распределение неоднородное. Наблюдается резкое снижение содержания фосфора потенциального резерва в подгумусовой части профиля. Максимальный потенциальный резерв фосфора в гумусовом горизонте коричневых почв зафиксирован в разрезе № 54 — 255 мг/100 г (до 70 % от общего количества фосфора), минимальный — в разрезе № 74 — 59 мг/100 г (до 82,1 % от общего количества фосфора) (Табл. 3).

Дефицит Р в почве может быть вызван низким фосфорным статусом исходного материала, выветриванием и реакцией почвы, долгосрочным антропогенным неправильным управлением из-за дисбаланса между поступлением питательных веществ и экспортом, а также потерями Р в результате эрозии и поверхностного стока [4] и, что наиболее важно, с высокой степенью фиксации Р.

Таблица 3
Фосфор резервов в коричневых почвах Узбекистана

Раз- рез	Границы горизонта, см	Гумус, %	Фосфор резерва, мг/100 г почвы			Фосфор резерва, % от общего содержания		
			непосред- ственного	ближнего	потен- циального	непосред- ственного	ближнего	потен- циального
54	0-9	4,24	48,05	62,00	255,00	13,15	16,99	69,86
	9-31	2,74	20,48	65,00	154,00	8,75	27,08	64,17
	31-52	2,43	12,14	60,00	143,00	5,58	27,91	66,51
	52-85	0,92	9,21	56,00	135,00	4,40	28,00	67,50
	85-126	0,85	8,17	41,00	103,00	5,30	26,97	67,76
1	0-8	1,19	35,14	53,00	191,00	12,55	18,99	68,46
	8-40	1,02	25,25	43,00	141,00	11,96	20,57	67,46
	40-70	1,00	12,46	48,00	154,00	5,61	27,43	71,96
	79-105	0,92	7,13	36,00	102,00	4,83	24,84	70,34
40	0-7	3,68	21,17	48,00	179,00	8,47	19,35	72,18
	7-11	1,50	11,10	30,00	104,00	7,59	20,69	71,72
	11-27	1,27	13,96	19,00	65,00	14,29	19,39	66,33
	27-50	1,03	7,84	13,00	53,00	10,81	17,57	71,62
	50-80	1,03	5,90	11,00	48,00	9,23	16,92	73,85
	80-160	0,95	5,78	13,00	46,00	9,23	20,00	73,85
28	0-8	2,69	12,50	13,00	153,00	7,26	7,26	85,47
	8-53	2,00	8,45	6,00	88,00	8,74	5,83	85,44
	53-98	1,28	4,31	3,00	52,00	6,78	5,08	88,14
	98-136	0,65	0,96	3,70	48,00	1,92	6,15	92,31
66	0-5	2,76	43,20	12,60	108,00	26,2	7,68	65,86
	5-29	1,30	28,80	12,50	115,00	18,47	7,96	73,25
	29-63	1,05	16,00	5,90	85,00	14,95	5,51	79,44
	63-90	0,81	11,20	5,50	73,00	12,72	6,11	81,11
	90-136	0,33	—	—	—	—	—	—
13	0-9	2,60	26,23	14,74	127,00	5,96	9,76	84,11
	9-45	1,32	16,71	28,00	97,00	17,22	18,54	64,24
	45-85	1,14	9,12	32,00	94,00	11,89	22,38	65,73
	85-130	0,84	8,11	5,00	13,00	33,33	18,58	48,15
74	0-7	6,58	54,00	28,00	59,00	38,30	19,86	82,14
	7-26	2,79	14,09	16,00	94,00	11,29	17,90	75,81
	26-75	2,38	18,00	2,00	9,00	14,06	15,62	70,31

В отличие от дефицита, ограниченная доступность почвенного Р для растений может быть объяснена присущим почве низким содержанием Р и, что наиболее важно, высокой степенью Р-фиксации. Значительная фиксация Р и его осаждение в виде фосфата кальция отмечено в известково-щелочных (с высоким рН — 7,0-7,5) почвах [2, 3, 4, 31].

Содержание фосфора, который вносится с удобрениями и освобождается при выветривании фосфорсодержащих первичных минералов, в илистой фракции всегда выше, чем в более крупных фракциях. При равенстве других условий в суглинистых и глинистых почвах фосфора содержится больше, чем в почвах легкого гранулометрического состава, также его количество в гумусовом и подгумусовом горизонтах, в 1,5–2,0 раза больше, чем в других горизонтах почвы [32, 9]. Фосфорные частицы претерпевают некоторые изменения под влиянием длительности орошения и повышения уровня обработки почвы [33, 34]. В регионах с жарким и сухим климатом, применяемые фосфорные удобрения постоянно выпадают в осадок в виде нерастворимых форм в результате их химической поглотительной способности. Увеличение количества фульвокислот в составе гумуса ускоряет растворение фосфорного осадка $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и приводит к снижению химического поглощения фосфора. Например, для получения более высоких урожаев, годовая норма вносимых фосфорных удобрений в светло-сероземную почву под хлопчатник составляет 180 кг на гектар, из них около 30 % усваивается растениями, 30–35 % осаждается в виде нерастворимых форм, 30 % вымывается.

4. Обсуждение

Таким образом, различия по параметрам фосфора в изученных коричневых почвах разных районов Узбекистана главным образом объясняются тем, что они распространены по склонам различной экспозиции, крутизны и формы. Также расположение горных хребтов, экспозиция склонов и высотное положение местности оказывают большое влияние на увлажнение. Особенно сильно увлажнены и имеют более густое растительное

покрытие, западные и северные склоны, обращенные в сторону влажных ветров, приносящих осадки. Общее содержание фосфора в верхнем горизонте изученных коричневых почв варьирует от 0,151 % на южных склонах и до 0,350 % на западных, также для всех обследованных профилей характерно резкое вертикальное снижение общего содержания гумуса, что свидетельствует о его глубоком проникновении. Вертикальное распределение фосфора в изученных почвах относится к регрессивно-аккумулятивному типу. Гранулометрический состав изученных почв среднесуглинистый. Доля илистой фракции в гумусовом горизонте варьирует от 3,0 в разрезе № 74, до 12,70 в разрезе № 40, вертикальное распределение относительно равномерное с неясно выраженным накоплением в средней части профиля практически во всех разрезах, что может быть объяснено иллювиальными и биоклиматическими процессами. Вертикальное распределение фосфора непосредственного резерва от общего содержания составило от 2 до 38 %. Вертикальное распределение гумуса ближнего резерва однородное от 6 до 20 %, с равномерным увеличением содержания вниз по профилю. Потенциальный резерв гумуса является доминирующим в общем содержании гумуса и колеблется по профилю от 48,15 до 85,47 %, его вертикальное распределение неоднородно, что указывает на его слабую подвижность. В целом, в изученных коричневых почвах не наблюдается дефицита фосфора и необходимости в фосфорных удобрениях.

5. Выводы

Исследования показали, что распределение и качество фосфора в коричневых почвах на горных пастбищах Узбекистана неравномерно, как по почвенному профилю, так и по регионам страны, на что влияют рельеф, экспозиция склонов, особенности почвообразующих пород, атмосферные осадки, гидротермические условия, период биологической активности почв. В целом, горные коричневые почвы содержат достаточное количество фосфора — от 0,141 до 0,350 %. Фосфор ближнего и непосредственного резервов под влиянием атмосферных осадков вымывается, что в результате приводит к уменьшению общего содержания фосфора. Для уменьшения химической поглотительной способности, возникающей в почве, необходимо поддерживать постоянное растительное покрытие пастбищ. Дальнейшее изучение особенностей фосфора, его накопления и восстановления в горных коричневых почвах имеет важное значение для разработки рекомендаций по рациональному использованию, противоэрозионной защите и увеличению продуктивности горных пастбищ на коричневых почвах Узбекистана.

Финансирование работы. Исследования проведены при частичной финансовой поддержке Научно-исследовательского института окружающей среды и технологий охраны окружающей среды при Государственном комитете Республики Узбекистан по экологии и охране окружающей среды.

Список цитируемых источников

1. World Bank. Role of phosphorus in agriculture. In: *Feasibility of phosphate rock as a capital investment in sub-Saharan Africa: issues and opportunities*. P. 9-37. World Bank/IFA/MIGA, 1994.
2. Sánchez P.A., Salinas J.G. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. *Advances in agronomy*. 1981. 34. P. 279-406. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60889-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60889-5)
3. Buresh R.J. Phosphorus management in tropical agroforestry: current knowledge and research challenges. *Agroforestry forum*. 1999. 9(4). P. 61-65.
4. Fairhurst T., Lefroy R., Mutert E., Batjes N. The importance, distribution and causes of phosphorus deficiency as a constraint to crop production in the tropics. *Agroforestry forum*. 1999. 9(4). P. 2-8. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Niels-Batjes/publication/228068243>
5. Указ Президента Республики Узбекистан, от 23.10.2019 г. № УП-5853. Стратегия развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы. URL: <https://lex.uz/docs/4567337?ONDATE=12.02.2022&action=compare>
6. Закон Республики Узбекистан, № ЗРУ-538, 20.05.2019 г. «О пастбищах». URL: <https://lex.uz/ru/docs/4344718?ONDATE=17.08.2021>
7. Risk assessment of soil erosion in Central Asia under global warming / X. Dou, X. Ma, C. Zhao [et al.]. *Catena*. 2022. 212. P. 106056. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106056>
8. Disentangling the relative impacts of climate change and human activities on arid and semiarid grasslands in Central Asia during 1982–2015 / T. Chen, A. Bao, G. Jiapaer [et al.]. *Science of the Total Environment*. 2019. 653. P. 1311-1325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.058>
9. Ахатов А., Муродова Д. Қашқадарё ҳавзаси чўл минтақаси суғориладиган тупроқларнинг фосфорли ҳолати ва уларни резерв шакллари. *Ўзбекистон замини*. 2020. No 2. Б. С. 48-52. <https://uzzamin.uz/ru/magazines/2-2020/qashqadaryo-havzasi-cho-l-mintaqasi-sug-oriladigan-tuproqlarning-fosforli-holati-va-ulami-rezerv-shakllari-uzzamin.pdf> [in Uzbek].

10. Akhatov A., Gafurov B., Jakhonov A., Khalimbetov A. Distribution of the forms of reserves of humus in typical serozems formed in geomorphological areas Tashkent-Keles. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 869(4). 042018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/4/042018>
11. Ахатов А. Гумус ва унинг резерв шакллари. Тошкент: Наврӯз, 2021. 118 с.
12. Ахатов А, Буриев С.С., Ходжиев А.К., & Нурматова В.Б. Распределение кальция и его резервных форм в орошаемых луговых и сероземно-луговых почвах. *Плодородие*. 2022. 1(124). С. 24-28. <https://doi.org/10.25680/S19948603/2022/124/07>
13. Ахатов А., Буриев С.С., Нурматова В.Б., Жураев Г.А. Гумус коричневых почв горных пастбищ Узбекистана. *Почвы и окружающая среда*. 2022. 5(3), е174. <https://doi.org/10.31251/pos.v5i3.174>
14. Кадырова Д.А., Забиров Ф.М., Ананова К.К. Морфогенезис почв среднегорий южных отрогов Гиссарского хребта и влияние на них эрозионных процессов. *Science Review*. 2018. Vol. 3(10). P. 17-20. URL: <https://www.academia.edu/36403019>
15. Почвенно-климатические условия Сурхандарии / О.У. Нормуратов, Х.Х. Закиров, Ш.К. Чориева [и др.]. *Universum: химия и биология*. 2018. № 6(48). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/5948>
16. Раупова Н.Б. Групповой и фракционный состав гумуса горно-коричневых выщелоченных почв. *Вестник аграрной науки Узбекистана*. 2018. No. 1(71), P. 117-120 URL: <http://agriculture.uz/filesarchive/AgrarJournal12018.pdf#page=117>
17. Li J., Chen H., Zhang C. Impacts of climate change on key soil ecosystem services and interactions in Central Asia. *Ecological Indicators*. 2020. Vol. 116. P. 106490. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106490>
18. Генусов А.З., Горбунов Б.В., Кимберг Н.В. Классификация и диагностика почв Узбекистана, В кн.: *Генезис, география и мелиорация почв Узбекистана*. Ташкент, 1972, с. 3-49.
19. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports*. № 106. FAO, Rome, 2014, update 2015. 181 p.
20. Почвы Узбекистана / Б.В. Горбунов, А.З. Генусов, Н.В. Кимберг [и др.] Ташкент: ФАН, 1975. 222 с.
21. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. Ташкент: НИГМИ, 2007. 132 с. http://www.cawater-info.net/6wwf/conference_tashkent2011/files/uzhymet.pdf
22. Юсупов С., Мукимов Т., Хамраев А. Стратегия управления пастбищным животноводством Узбекистана. Сборник материалов «Проблемы и пути решения устойчивого использования пастбищных ресурсов». Казахстан, Астана. 2010. С. 106-113.
23. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: МГУ, 1970. 487 с.
24. Розанов Б.Г. Морфология почв. Москва: МГУ, 1983. 320 с.
25. Соболев С.С. Защита почв от эрозии и повышение их плодородия. Москва: Сельхозиздат, 1961.
26. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии: учение о почвенном гумусе. Москва: Сельхозгиз, 1937. 289 с.
27. Шаймухамедов М.Ш., Воронина К.А. (1972) Методика фракционирования органо-глинных комплексов почв с помощью лабораторных центрифуг. *Почвоведение*. № 8. С. 134-138.
28. Методы агрохимических, агрофизических и микробиологических исследований в полевых хлопковых районах. Ташкент: СоюзНИХИ, 1963. 440 с.
29. Горбунов Н.И. *Минералогия и физическая химия почв*. Москва: Наука, 1978. 292 с.
30. Иванов И.В., Кудяров В.Н. (Ред.). Эволюция почв и почвенного покрова. Москва: Геос, 2015. 928 с
31. Wakene N., Gebrekidan H. Forms of phosphorus and status of available micronutrients under different land-use systems of Alfisols in Bako area of Ethiopia. *Ethiopian Journal of Natural Resources*. 2003. 5(1). 17-37. URL: <https://www.researchgate.net/publication/286209270>
32. Рыжов С.Н., Ташкузиев М.М. *Состав и миграционный ряд основных химических элементов типичного серозема*. Ташкент: ФАН, 1976. 108 с.
33. Рыжов С.Н., Саакянц К.Б. Формы соединений фосфорной кислоты в орошаемых почвах Средней Азии. *Агрохимия*. 1966. №5. С. 59-63.
34. Тохри Б.А., Асланов Н.Н., Ташкузиев М.М. Содержание и формы фосфатов в некоторых сероземах и такырских почвах. В сб.: *Химия и технология минеральных удобрений*. Ташкент: Фан, 1971.

UDC 631.442

Phosphorus in brown soils of mountain pastures in Uzbekistan

A. Akhatov, S. S. Buriev, V. B. Nurmatova*

Research Institute of Environment and Environmental Protection Technologies at the State Committee for Ecology and Environment Protection of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

*E-mail: nurmatoffkennel@gmail.com

The aim of this work is to assess the content and distribution of phosphorus in the profile of brown soils (Cambisols, Kastanozems, Leptosols) of the mountain pastures of the Republic of Uzbekistan. Soil incisions laid 7 agricultural areas of the country. Field research, sampling and analytical work were performed in 2019–2021. The list of indicators under study includes the degree of soil erosion, the general content of humus, the content of the clay fraction, the general content of phosphorus and the content of the movable phosphorus in the selected clay fraction and in the soil. A detailed division of phosphorus into reserves and their calculation according to the methodology of calculations of reserves of nutrition elements according to N.I. Gorbunov (1978). The studied mountain brown soils are characterized by a loamy granulometric composition, nutty-cloddy structure, a slightly acidic or slightly alkaline reaction. The total humus content in

the upper horizon varies from 1.0 to 6.8 %. The proportion of the clay fraction is from 2.9 to 18.3 %. The content of phosphorus in the clay fractions is 2–3 times higher than in the soil as a whole and the maximum is 0.558 %. The phosphorus reserves was allocated – close, immediate and potential. Fluctuations in the content of phosphorus reserves in the humus horizon were revealed: immediate from 6 to 26 %, near – from 7 to 19 %, potential, dominant in the total content of 68 to 80 %. In the humus horizon, an insoluble form of phosphorus occurs, which increases the resistance of soils to water erosion due to the formation of water resistance structures. Uneven distribution of phosphorus and its reserves in brown soils on the mountain pastures of Uzbekistan, both in the soil profile and the regions of the country, is stated, which is affected by the relief, exposure of slopes, the features of soil-forming rocks, atmospheric precipitation, hydrothermal conditions, and the period of biological activity of soils. The losses of the near and direct reserves of the humus lead to a decrease in the total content of the phosphorus as a whole.

Keywords: brown soils; clay fraction; humus; mountain pastures; phosphorus; phosphorus reserves..

Citing: Akhatov, A., Buriev, S. S., & Nurmatova, V. B. (2022). Phosphorus in brown soils of mountain pastures in Uzbekistan. *AgroChemistry and Soil Science*. 93, 24-32. [doi:10.31073/acss93-03](https://doi.org/10.31073/acss93-03) [in Russian].

МОНІТОРИНГ ҐРУНТІВ MONITORING of SOILS

УДК: 631.67.03

Просторово-часова трансформація якості поливних вод на Південнобузькій та Кам'янській зрошувальних системах

С. Г. Чорний*, В. В. Ісаєва

Миколаївський національний аграрний університет, Миколаїв, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 16.12.2021 Отримано після доопрацювання 03.10.2022 Затверджено до видання 13.10.2022 Доступно онлайн 01.12.2022 <i>Ключові слова:</i> поливна вода; електропровідність; мінералізація; засолення ґрунтів; осолонцювання ґрунтів; катіони натрію; аніони хлору; аніони гідрокарбонатів; рН	Значна частина України розташована у зонах недостатнього зволоження, а тому продовольче забезпечення населення та експортний потенціал держави великою мірою залежать від наявності, стану та ефективності використання зрошуваних земель. Фактором, що суттєво впливає на розвиток зрошення на Півдні України, є якість поливних вод. Метою статті є висвітлення результатів дослідження просторово-часових аспектів різних показників агрономічної якості поливних вод Південнобузької зрошувальної системи (ПБЗС) та Кам'янської зрошувальної системи (КЗС). У завдання досліджень входило визначення ступеню небезпеки засолення та осолонцювання ґрунту, небезпеки токсичного впливу на сільськогосподарські культури окремих токсичних аніонів та катіонів та величини рН. Щодо загрози засолення ґрунту — поливні води мають середній рівень небезпеки, що зумовлює певні обмеження у використанні. З аналізу солестійкості головних культур на ПБЗС помітного зниження врожайності не прогнозується, але на КЗС поливи цією водою призведуть до вагомої втрати врожаїв найбільш чутливих культур. На обох системах виявлено середні ризики щодо потенційного осолонцювання ґрунтів, що дозволяє рекомендувати внесення гіпсу як обов'язковий агротехнологічний захід. Щодо впливу катіонів натрію на рослини, якість поливних вод на землях ПБЗС оцінено як низьку та середню, а на землях КЗС — як середню. Але в кінці поливного сезону, під дією температурного фактора та ймовірного припливу у водосховища по трасі транспортування мінералізованих підґрунтових вод, використання таких вод на землях КЗС вимагає суттєвого обмеження через надлишок катіонів натрію. Невеликий вихідний вміст аніонів хлору в річці Південний Буг не суттєво змінюється в процесі транспортування води і не призводить до токсичного впливу на рослини. Гідрокарбонати домінують у складі аніонів але вміст бікарбонатів не перевищує нормативних параметрів, притаманних «середній небезпеці впливу на ґрунтовий розчин». Водночас наявність відносно великої кількості аніонів гідрокарбонатів та катіонів натрію призводить до високих значень «індексу залишкового карбонату натрію» (RSCI), особливо на КЗС, що вказує на потенційну небезпеку зростання вмісту натрію у воді, що може мати негативний наслідок для ґрунту і рослини. Значення рН поливної води на всій трасі транспортування у всі терміни вимірювання найчастіше не виходять за межі діапазону параметрів, прийнятих для сільськогосподарських рослин. Отже, оцінка, застосовувана на ПБЗС та КЗС, за більшістю показників вказує на середню та низьку агрономічну якість води, а тому можливе лише обмежене її використання для поливів. Особливо це стосується земель КЗС.

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

Форма цитування: Чорний С. Г., Ісаєва В. В. Просторово-часова трансформація якості поливних вод на Південнобузькій та Кам'янській зрошувальних системах. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2022. Вип. 93. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 33-42. <https://doi.org/10.31073/acss93-04>

1. Вступ

Значна частина території України розташована у зонах недостатнього та нестійкого зволоження, а тому продовольче забезпечення населення та експортний потенціал держави значною мірою залежать від наявності, стану та ефективності використання зрошуваних земель. Фактором, що суттєво впливає на розвиток зрошення на Півдні України є якість поливних вод.

Якість поливних вод оцінюють за трьома групами критеріїв [1]:

- агрономічні, якими визначають вплив вод на урожайність сільськогосподарських культур та родючість ґрунту (зокрема, вплив вмісту та хімічного складу водорозчинних солей);
- екологічні, якими визначають вплив поливної води на здоров'я людини та показники якості довкілля (вміст важких металів, гельмінтів, кишкової палички тощо);
- управлінські, якими характеризують вплив на якість води стану меліоративних систем (вміст суспендованих твердих речовин, гідробіонтів, марганцю, заліза).

Агрономічну якість поливної води, а саме цю групу критеріїв розглянуто в нашій роботі, Продовольча та сільськогосподарська організація ООН, Міністерство сільського

господарства США та автори наукових публікацій [1, 2, 3, 4] визначають за такими показниками:

- вміст водорозчинних солей, висока концентрація яких призводить до засолення ґрунту, що знижує доступність рослинам води та поживних речовин;
- вміст катіонів натрію, зміна якого кардинально змінює властивості ґрунту, зокрема, призводить до виникнення вторинної солонцюватості, через що погіршується інфільтраційна здатність ґрунту;
- вміст певних іонів (натрію, хлору, бору тощо), які можуть накопичуватись в токсичних для сільськогосподарських культур концентраціях, що призводить до зниження врожайності;
- вміст аніонів азотної та вугільної кислот, надлишок яких негативно впливає на рослини;
- величина рН.

Метою статті є висвітлення результатів дослідження просторово-часових аспектів різних показників агрономічної якості поливних вод Південнобузької зрошувальної системи (ПБЗС) та Кам'янської зрошувальної системи (КЗС). До завдань досліджень входило визначення ступеню небезпеки використання вод через засолення та осолонцювання ґрунту, токсичний вплив на рослини окремих аніонів та катіонів і підвищення значень рН.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Південнобузька та Кам'янська зрошувальні системи, які знаходяться на території Миколаївського, Веселинівського, Березанського та Очаківського районів Миколаївської області, по суті, є одним водогосподарським комплексом. Джерелом води для обох зрошувальних систем є річка Південний Буг (головна насосна станція знаходиться біля села Ковалівка), воду з якої двома нитками напірного водоводу подають у магістральний канал довжиною 16,6 км (Рис.). Саме з цього магістрального каналу і здійснюється зрошення на землях ПБЗС (10,3 тис. га). Далі частину води водоходом перекидають у басейн річки Березань, і вода самопливом по річищу цієї, майже пересохлої, річки через систему водосховищ (Степівське, Данилівське і Катеринівське) транспортується до Нечаянського водосховища, з якого і здійснюється зрошення на землях КЗС (6,5 тис. га).

По трасі транспортування води було закладено шість моніторингових майданчиків для спостережень за якістю поливної води. Перший — на річці Південний Буг у місці закачування води (N 47°15'04.5" E 31°44'15.2"), другий — на магістральному каналі (N 47°14'37.5" E 31°36'04.9"), третій — на Степівському водосховищі (N 47°10'25.8" E 31°30'17.3"), четвертий — на Данилівському водосховищі (N 47°00'21.1" E 31°30'59.5"), п'ятий — на Нечаянському водосховищі (N 46°55'57.7" E 31°32'44.5") та шостий — на розподільчому каналі — безпосередньо біля земель Навчально-науково-виробничого центру (ННВЦ) Миколаївського національного аграрного університету (N 46°56'11.4" E 31°39'04.5") (Рис.). Таким чином у пунктах 1, 2 і 3 здійснювали моніторинг якості поливної води у ПБЗС, а у пунктах 4, 5 і 6 — КЗС.

У дослідженнях проб води було застосовано такі лабораторні методи визначення вмісту окремих хімічних компонентів: комплексонометричний — для іонів кальцію та магнію; ваговий — для сульфат-іону; аргентометричний за Мором — для іону хлору, ацидиметричний — для карбонат- та бікарбонат-іонів; з використанням полум'яного фотометру — для іонів натрію та калію.

У польових умовах електрохімічним методом, за допомогою кондуктометра EZODO CTS-406, визначали електропровідність води (electrical conductivity – EC_w), яку вимірювали в міллісіменсах на сантиметр (мСм/см), а також загальний вміст солей (г/дм³). рН поливної води визначали електрохімічним методом за допомогою портативного приладу рН-метр EZODO 6011.

Агрономічну якість поливних вод визначали за методикою лабораторії засолення Міністерства сільськогосподарства США (Salinity laboratory (SL USA)) [2], а також використовували більш сучасні варіанти, рекомендовані FAO [3] та дослідницькими роботами різних авторів [5, 6, 7, 8, 9].

3. Результати досліджень

3.1. Оцінка небезпеки засолення ґрунтів

Високий вміст водорозчинних солей у поливній воді викликає, перш за все, безпосередній, часто короткотерміновий, вплив на рослину через реалізацію небезпечного явища — так званої «фізіологічної сухості», коли волога та розчинені поживні елементи під час поливу та після нього стають недоступними для рослин попри їх високий вміст у ґрунті.

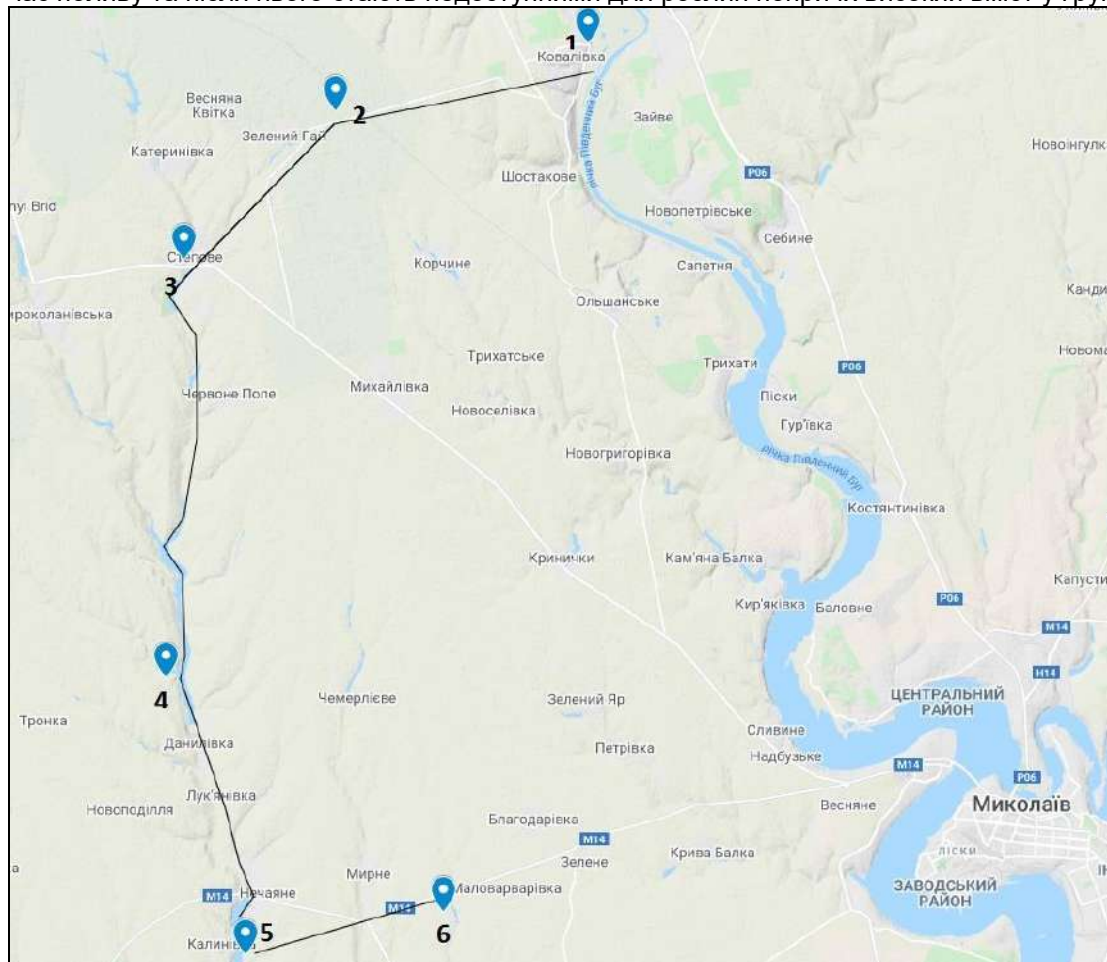


Рисунок. Схема транспортування поливної води до Південнобузької та Кам'янської зрошувальних систем і розташування моніторингових майданчиків 1–6

Перенасичений солями водний розчин має високий осмотичний тиск, що перешкоджає поглиненню коренями води і поживних речовин, а це суттєво знижує врожайність сільськогосподарських культур. Побічним негативним ефектом високої концентрації солей у ґрунтовому розчині є пригнічення процесів фотосинтезу. Іншим, але більш тривалим, наслідком поливів мінералізованими водами є вторинне засолення ґрунту, коли йде поступове накопичення солей, які постійно підвищують осмотичний тиск ґрунтового розчину, що призводить до посилення транспірації, погіршення асиміляції, дихання, утворення цукрів, що в екстремальних випадках призводить до загибелі рослин.

На склад і вміст водорозчинних солей у воді ПБЗС та КЗС впливає, певною мірою, вихідний вміст і склад солей у воді річки Південний Буг. За гідрохімічними спостереженнями у нижній течії річки загальна мінералізація коливається в межах 500-700 мг/дм³ і залежить від водності конкретного року. Помітне збільшення мінералізації води Південного Бугу в пониззі річки, порівняно з верхів'ям, відбувається внаслідок зростання випаровування, зарегульованості стоку та нагінних явищ з Дніпро-Бузького лиману [10,11].

Узагальнені результати проведених досліджень та деякі комплексні показники якості поливної води у пунктах моніторингу представлено в таблицях 1 і 2.

Аналіз даних (Табл. 1 і 2) показує, що на всіх моніторингових майданчиках у всі терміни визначення впродовж поливного сезону параметри електропровідності води знаходяться в діапазоні нормативу середньої небезпеки засоленості ґрунту (0,7–3,0 мСм/см). Водночас на перших трьох майданчиках (у місці забору води, в магістральному

каналі та на вході в Степівське водосховище), які характеризують воду ПБЗС, EC_w становить 0,9–1,0 мСм/см, а на останніх трьох, які характеризують поливну воду КЗС, у 2020 році — 1,9–2,6 мСм/см, а в 2021 — 1,3–1,7 мСм/см. Тобто, після проходження води через систему водосховищ її мінералізація помітно зростає і особливо інтенсивно — у 2020 році.

Таблиця 1

Якість поливної води у пунктах моніторингу у травні 2020 і 2021 рр.

Показник якості води, одиниця вимірювання	Рік	Параметри показників якості води у пунктах моніторингу					
		1	2	3	4	5	6
CO_3^{2-} , мг-екв/дм ³	2020	2,000	2,775	2,400	2,050	2,750	3,450
	2021	0,000	0,000	0,000	—	—	—
HCO_3^- , мг-екв/дм ³	2020	4,900	5,950	5,300	4,600	6,000	8,000
	2021	3,800	3,800	3,934	—	—	4,467
Cl^- , мг-екв/дм ³	2020	0,096	0,088	0,088	0,280	0,448	0,456
	2021	0,276	0,284	0,432	—	—	0,698
SO_4^{2-} , мг-екв/дм ³	2020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2021	0,004	0,003	0,003	—	—	0,004
Mg^{2+} , мг-екв/дм ³	2020	0,000	0,400	0,300	0,700	0,900	0,800
	2021	0,143	0,125	0,169	—	—	0,062
Ca^{2+} , мг-екв/дм ³	2020	0,600	0,500	0,500	0,500	0,300	0,400
	2021	0,267	0,275	0,220	—	—	0,278
Na^+ , мг-екв/дм ³	2020	1,300	1,300	1,400	3,500	5,400	4,900
	2021	1,400	1,400	1,700	—	—	3,400
K^+ , мг-екв/дм ³	2020	0,200	0,200	0,300	0,400	0,600	0,600
	2021	0,200	0,200	0,200	—	—	0,400
рН	2020	8,60	8,00	7,70	8,50	8,40	8,40
	2021	8,27	8,35	7,80	—	—	8,11
Електропровідність (EC_w), мСм/см	2020	0,900	0,940	0,920	2,000	2,650	2,540
	2021	0,901	0,911	1,006	—	—	1,688
Мінералізація (TDC), г/дм ³	2020	0,590	0,620	0,600	1,330	1,740	1,670
	2021	0,592	0,602	0,663	—	—	1,116
Ступінь насиченості натрієм (SAR)	2020	2,30	1,90	2,20	4,70	7,10	6,50
	2021	3,09	3,13	3,85	—	—	8,25
Індекс залишкового карбонату натрію (RSCI), мг-екв/дм ³	2020	6,00	7,90	6,60	5,50	7,60	10,90
	2021	3,39	3,40	3,55	—	—	4,13

Примітка. Пункти моніторингу: 1 – р. Південний Буг; 2 – Магістральний канал; 3 – Степовське водосховище; 4 – Данилівське водосховище; 5 – Нечаївське водосховище; 6 – канал ННПЦ МНАУ

Причиною зростання електропровідності й мінералізації води в процесі її транспортування через річище Березанки та в Нечаянському водосховищі є можливе виклинення мінералізованих підґрунтових вод, які змішуються з водою Південного Бугу. Випаровування з поверхні водосховищ є ще одним важливим чинником збільшення загального вмісту солей у поливній воді Кам'янської ЗС. За даними метеорологічної станції Миколаїв, сума середньомісячних температур у поливний сезон (травень–вересень) у 2020 році становила 105,7°, у 2021 — лише 99,3°, а тому EC_w у 2020 р. була вищою ніж у 2021.

Сучасними оцінками якості поливних вод, з огляду на небезпеку засолення ґрунтів [3, 4, 8, 12], визначено, що за $EC_w > 0,7$ мСм/см (вміст солей більше 0,45 г/л) вода може призвести до зниження урожайності окремих, не стійких до засолення, сільськогосподарських культур, а тому зрошення у таких умовах вимагає більш ретельного управління цим процесом. Зокрема поливи такою водою є можливими лише на ґрунтах з високою водопроникністю та за наявності постійного дренажу. Ще небезпечнішим є засолення ґрунтів з низькою водопроникністю та за відсутності природного або штучного дренажу, що буде проявлятися за $EC_w > 3$ мСм/см (вміст солей більше 2 г/л) (Табл. 3).

Ступінь толерантності сільськогосподарської рослини до солей за зрошення мінералізованою водою можна описати як функцію потенційного зниження врожайності (Z , %) через певну концентрацію солей у поливній воді, яку визначено через електропровідність (EC_w) за допомогою двох параметрів — порогового значення електропровідності (EC_{wo} , мСм/см), з якого починається зниження врожайності певної сільськогосподарської культури, та величини «нахилу» (δ), що є відсотком очікуваного зниження врожайності на одиницю збільшення електропровідності вище порогового значення [12]:

$$Z = \delta(EC_w - EC_{wo}) \quad (1)$$

Очевидно, що якщо EC_w буде менша за EC_{wo} , тоді $Z = 0$.

Таблиця 2

Показники якості поливної води у пунктах моніторингу у вересні 2020 і 2021 рр.

Показник якості води, одиниця вимірювання	Рік	Параметри показників якості води у пунктах моніторингу					
		1	2	3	4	5	6
CO ₃ ²⁻ , мг-екв/дм ³	2020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2021	0,000	0,000	0,000	—	0,100	0,100
HCO ₃ ⁻ , мг-екв/дм ³	2020	3,800	4,000	4,200	4,400	4,600	3,600
	2021	5,000	5,200	5,200	—	6,700	6,800
Cl ⁻ , мг-екв/дм ³	2020	0,400	0,400	0,480	1,100	1,672	0,944
	2021	0,400	0,400	0,432	—	0,844	0,850
SO ₄ ²⁻ , мг-екв/дм ³	2020	2,700	2,600	1,600	2,400	3,300	1,600
	2021	0,004	0,004	0,004	—	0,005	0,005
Mg ²⁺ , мг-екв/дм ³	2020	0,400	0,400	0,100	0,100	0,000	0,100
	2021	0,150	0,150	0,170	—	0,170	0,170
Ca ²⁺ , мг-екв/дм ³	2020	0,200	0,200	0,300	0,300	0,300	0,200
	2021	0,200	0,200	0,220	—	0,270	0,278
Na ⁺ , мг-екв/дм ³	2020	1,700	1,700	2,200	4,4	6,600	5,000
	2021	1,400	1,500	1,700	—	3,400	3,700
K ⁺ , мг-екв/дм ³	2020	0,200	0,200	0,300	0,500	0,600	0,500
	2021	0,200	0,300	0,500	—	2,000	2,000
рН	2020	8,20	8,30	8,20	8,20	8,20	8,20
	2021	6,93	7,10	7,20	—	8,40	8,50
Електропровідність (EC _w), мСм/см	2020	0,960	0,950	1,000	1,860	2,650	2,140
	2021	0,970	0,975	1,001	—	1,300	1,315
Мінералізація (TDC), г/дм ³	2020	0,630	0,620	0,710	1,230	1,750	1,410
	2021	0,595	0,644	0,655	—	1,300	1,315
Ступінь насиченості натрієм (SAR)	2020	3,20	3,20	4,80	9,80	15,80	12,50
	2021	3,35	3,59	3,85	—	7,25	7,82
Індекс залишкового карбонату натрію (RSCI), мг-екв/дм ³	2020	3,20	3,60	3,80	4,10	4,30	3,60
	2021	4,65	4,85	4,81	—	6,36	6,45

Примітка. Пункти моніторингу: 1 – р. Південний Буг; 2 – Магістральний канал; 3 – Степовське водосховище; 4 – Данилівське водосховище; 5 – Нечаївське водосховище; 6 – канал ННПЦ МНАУ

Таблиця 3

Кількісна оцінка різних небезпек за використання води для зрошення (Ayers R.S., Westcot D.W. [3])

Показники оцінки води		Одиниці вимірювання	Ступінь обмеження для використання			
			без обмежень	середній	високий	
Небезпека засолення						
Електропровідність (EC _w)		мСм/см	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	
Мінералізація (TDC)		г/л	< 450	450 - 2000	> 2000	
Небезпека осолонцювання						
SAR =	= 0-3	Електро-	мСм/см	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
	= 3-6	провідність	мСм/см	> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
	= 6-12	(EC _w) =	мСм/см	> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
	= 12-20		мСм/см	> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
	= 20-40		мСм/см	> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
Небезпека токсичної дії іонів натрію (Na ⁺)						
SAR за поверхневого зрошення		—	< 3	3 - 9	> 9	
Вміст Na ⁺ за зрошення дощуванням		мг-екв/дм ³	< 3	>3	—	
Небезпека токсичної дії іонів хлору (Cl ⁻)						
Вміст Cl ⁻ за поверхневого зрошення		мг-екв/дм ³	< 4	4 - 10	> 10	
Вміст Cl ⁻ за зрошення дощуванням		мг-екв/дм ³	< 3	>3	—	
Несприятливий вплив деяких іонів та рН						
Вміст бікарбонатів (HCO ₃ ⁻) за зрошення дощуванням		мг-екв/дм ³	< 5	5 –30	> 30	
Вміст нітратів (NO ₃ ⁻)		мг-екв/дм ³	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5	
рН (безпечний діапазон)			6,5-8,4			

Розрахунки за формулою (1) для головних сільськогосподарських культур, вирощуваних на території КЗС, показали (Табл. 4), що врожаї найбільш чутливих до засолення культур — цибулі та моркви, будуть втрачені приблизно на 12–20 %. Для культур середньої солестійкості (кукурудза, люцерна, капуста, томати) втрати врожайності будуть

становити 2–12 %, а для солестійких культур (соє, пшениця озима, буряк столовий) втрат урожайності взагалі не буде.

Таблиця 4

Оцінка солестійкості головних сільськогосподарських культур (КЗС)

Культура	Порогове значення EC_{w_0} , мСм (за [12])	Зниження врожайності на одиницю зростання EC , % (за [12])	Зниження врожайності (%) за різних значень EC мСм/см				Рейтинг солестійкості (за [12])
			1,5	2,0	2,5	3,0	
Кукурудза (зерно)	1,7	12,0	0	3,6	9,6	15,6	MS
Соє	5,0	20,0	0	0	0	0	MT
Пшениця озима	6,0	7,1	0	0	0	0	MT
Люцерна	2,0	7,3	0	0	3,6	7,3	MS
Томати	2,5	9,9	0	0	0	5,0	MS
Капуста	1,8	9,7	0	1,9	6,8	11,6	MS
Цибуля	1,2	16,0	4,8	12,8	20,8	28,8	S
Буряк столовий	4,0	9,0	0	0	0	0	MT
Морква	1,0	14,0	7,0	14,0	21,0	28,0	S

Примітка. Рейтинг солестійкості – чутливість культури до солей: S – чутлива, MS – помірно чутлива; MT – помірно толерантна

Для сільськогосподарських культур на території ПБЗС EC_w (0,9–1,0 мСм/см) є меншою за порогове значення і тому, слід прогнозувати, що урожайність всіх сільськогосподарських культур не буде знижуватися.

3.2. Оцінка небезпеки осолонцювання ґрунтів

Вторинне осолонцювання пов'язано з наявністю великої кількості обмінного натрію в ґрунтовому вбирному комплексі (ГВК), що за зрошення ґрунтів середнього та важкого гранулометричного складу може призвести до погіршення структури ґрунту, зменшення водопроникності, зростання щільності будови ґрунту тощо. В результаті осолонцювання трансформується водний баланс ґрунту, зокрема, збільшується поверхневий стік, що негативно впливає на забезпеченість кореневих систем рослин водою.

Для оцінювання небезпеки вторинного осолонцювання, згідно з [3, 4], найбільш інформативним є показник ступеню насиченості поливної води натрієм SAR (Sodium Adsorption Ratio [2]), який розраховується таким чином:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (2)$$

де Na, Ca, Mg – значення вмісту катіонів натрію, кальцію та магнію в поливній воді, мг-екв/дм³.

Дослідження показали (Табл. 1 і 2), що від місця закачування води із річки в водогін до розподільного каналу, з якого зрошуються поля ННПЦ МНАУ, вміст катіонів натрію зростає з 1,3–1,7 до 3,4–5,0 мг-екв/дм³ за відносно стабільного вмісту катіонів кальцію та магнію, а тому величина SAR зростає в процесі транспортування води від 2,3–3,4 до 6,5–12,8. Сtribкоподібне (у кілька разів) зростання вмісту катіонів натрію та SAR спостерігається в процесі проходження води через річище Березанки та в Нечаянському водосховищі. Крім можливого припливу ззовні мінералізованих підґрунтових вод, іншою причиною цього явища є температурна трансформація поливної води. За наявності надлишкової кількості карбонатів в результаті випаровування розчину іде процес утворення малорозчинних карбонатів кальцію ($CaCO_3$) та карбонатів магнію ($MgCO_3$), які випадають в осад. Одночасно зростання температури води у водосховищах посилює розчинність таких солей як Na_2SO_4 та $NaCl$.

Сучасними методиками оцінювання небезпеки осолонцювання через показник SAR [3, 4] визначають небезпеку осолонцювання залежно від загального вмісту солей, що, своєю чергою, є функцією електропровідності води (Табл. 3). Високий вміст солей зменшує набухання і руйнацію агрегатів, тим самим зменшуючи щільність будови ґрунту та сприяє, тим самим, поліпшенню його водопроникності. І навпаки, невеликий загальний вміст солей, але при значному вмісту катіонів натрію в поливній воді викликає деградацію ґрунтової структури, сприяє утворенню ґрунтової кірки і зменшує проникнення вологи.

При таких оцінках небезпека осолонцювання та, зокрема, зменшення інфільтраційної здатності ґрунту від поливів та випадіння природних опадів буде найбільшою в умовах відносно низького загального вмісту солей у воді і, відповідно, невеликих значень EC_w . І, навпаки, за поливу високо мінералізованими водами, небезпека

погіршення фізичних та водно-фізичних властивостей ґрунтів буде мінімальною навіть при високих значеннях SAR. З цих позицій поливна вода КЗС зі середніми значеннями SAR = 8,9 та $EC_w = 1,9$ мСм/см та поливна вода ПБЗС зі середніми значеннями SAR = 3 та $EC_w = 0,9$ мСм/см мають приблизно однакові середні ризики осолонцювання (Табл. 3). Ця небезпека повинна нівелюватися низкою агротехнічних заходів та хімічною меліорацією ґрунтів гіпсом та іншими речовинами, які містять кальцій [13].

3.3. Оцінка токсичності окремих іонів

Проблема токсичності окремих іонів відрізняється від проблеми засолення та осолонцювання тим, що цей процес відбувається у середині рослини і виникає за поглинання іонів із ґрунту та накопичення їх у листях, під час транспірації води, до токсичних кількостей, що призводить до ушкодження рослини. У разі поливу дощуванням токсичні іони проникають в рослину безпосередньо через листя. Ступінь ушкоджень залежить від часу поглинання, концентрації токсичних іонів у ґрунтовому розчині та чутливості рослин до певного іона. Але загалом, за інтенсивного поглинання цих іонів разом з поливною водою, урожайність сільськогосподарських культур знижується.

Зазвичай токсичними іонами у зрошувальній воді вважаються катіони натрію та аніони хлору, а також іони деяких металів та напівметалів (B, Fe, Cu, Zn, Mn, Cr) [3, 4 та ін.]. Останні в воді, яка забирається для зрошення з Південного Бугу, не містяться в будь-яких помітних концентраціях. У воді пониззя цієї річки, згідно з [10, 11], вміст заліза коливається в межах 0,14–0,25 мг/дм³ при максимально допустимій, за методикою FAO [3] в 5,0 мг/дм³, міді — 0,004–0,007 та 0,2, цинку — 0,007–0,009 та 2,0, марганцю — 0,01–0,04 та 0,2, хрому — 0,006–0,009 мг/дм³ та 0,1 мг/дм³, відповідно. Інших джерел цих іонів по трасі транспортування води немає. А тому наш аналіз якості поливних вод щодо вмісту токсичних іонів обмежився катіонами натрію та аніонами хлору.

Виявити токсичність катіонів натрію відносно важко порівняно з визначенням токсичності інших іонів. Типовими симптомами токсичного впливу на рослину є опік листя, обпалення та загибель тканини по зовнішніх краях листка на відміну від симптомів токсичності хлоридів, які, зазвичай, виникають спочатку на крайньому кінчику листка.

У воді Південного Бугу вміст катіонів натрію не перевищує 2 мг-екв/дм³ [11], що підтверджують і наші дослідження. Величина показника SAR, який є діагностичним індикатором безпеки токсичного впливу натрію на сільськогосподарські рослини згідно з [3, 4], на ПБЗС весною коливається у межах 2,0–3,8. Ступінь обмеження використання такої води як для поверхневого зрошення, так і для дощування — низький або середній. В кінці поливного сезону величина SAR під дією температурного фактора, особливо у 2020 році, зростає до 3,2–4,8, але ступінь обмеження використання такої води для поливів на ПБЗС залишається в межах середнього рівня.

Що стосується КЗС, то після проходження води через систему водосховищ у річищі Березанки вміст натрію зростає у кілька разів, досягаючи значень в 3,4–5,4 мг-екв/дм³ у травні, що, очевидно, призводить і до збільшення величини показника SAR. Його значення весною становить 5–7 одиниць, що вказує на середній ступінь обмеження у використанні цієї води для поливів. Восени, під дією температурного фактора та припливу в водосховища мінералізованих підґрунтових вод, SAR стає більшим за 9 (особливо в 2020 році), що, згідно з [3, 4], вимагає суттєвого обмеження у використанні такої води для зрошення через небезпеку пошкодження рослин катіонами натрію.

Іони хлору, як і натрію, майже завжди зустрічаються у водах, які використовуються для зрошення. Їх токсичний ефект констатується у вигляді опіків листя. Травмуються, як правило, кінчики листя, але в критичних випадках може відбутися рання дефоліація всього листового апарату рослини. Однак у нашому випадку, коли вміст іонів хлору не перевищує 3 мг-екв/дм³ (Табл. 1 та 2), токсичної кількості в рослинах спостерігатися не буде. Відсутність помітної кількості аніонів хлору в поливній воді, як на ПБЗС, так і на КЗС, пов'язана з невеликим вихідним вмістом аніонів хлору в річці Південний Буг. Відносно невелике зростання вмісту цього іону в процесі транспортування (див. табл. 3) не перевищує порогових значень, так само і за свідченнями інших авторів [3, 8].

В наявних підходах до агрономічної оцінки якості поливних вод [3, 12, 4, 8 та ін.] нормуються також вміст нітратів і бікарбонатів, які різнобічно негативно впливають на рослину та ґрунт. Зокрема, надмірний вміст нітратів у поливній воді призводить до небажаного росту рослин, затримки їх досягання або низької якості продукції. Водночас гідрохімічні дослідження вмісту нітратів у воді річки Південний Буг показали [10, 11], що їх середня кількість у пониззі річки (0,010–0,015 мг-екв/дм³) на два порядки менша ніж унормована величина — 1,5 мг-екв/дм³ [3] (Табл. 3), і тому цей показник в аналізі якості поливної води на ПБЗС та КЗС не використовували.

Вміст гідрокарбонатів є дуже важливим показником якості поливних вод. Їх надлишкова кількість, як було вказано вище, в результаті випаровування води, призводить до утворення малорозчинних карбонатів кальцію та магнію та до відносного збільшення вмісту у воді катіонів натрію, що викликає зростання токсичної дії цього катіону на рослини та поширення осолонцювання ґрунтів.

У воді Південного Бугу міститься 4–5 мг-екв/дм³ гідрокарбонатів, які домінують серед всіх аніонів. Великий вміст гідрокарбонатів пояснюється особливостями літологічного складу гірських порід басейну Південного Бугу. Основним джерелом надходження зазначених іонів до поверхневих вод є гірські породи, які руйнуються процесами хімічного вивітрювання у результаті розчинення карбонатних порід типу вапняків, мергелів та доломітів. Крім того, достатня кількість опадів у верхній та середній частинах басейну Південного Бугу створює промивний та періодично промивний водний режим ґрунтів на цій території, що стимулює потрапляння аніонів HCO_3^- у підґрунтові води та формування специфічного іонного стоку річки [10, 11].

Травневе визначення показників якості поливних вод показало, що вміст аніонів гідрокарбонату HCO_3^- коливається в межах 4,0–6,0 мг-екв/дм³, що в деяких випадках, вказує на середню небезпеку їх впливу на ґрунтовий розчин. Невелике збільшення вмісту гідрокарбонату в кінці поливного сезону (до 7,0–8,0 мг-екв/дм³) не виходить за межі діапазону (5,0–30,0 мг-екв/дм³), яким окреслено, згідно з [3], «середній ступінь обмеження для використання» води.

3.4. Оцінка величини рН

Величина водневого показника (рН) у поверхневих водах, як правило, формується у межах карбонатно-кальцієвої системи, компонентами якої є катіони кальцію, карбонатні та бікарбонатні іони та діоксид вуглецю. Стан рівноваги цієї системи визначається температурним режимом водойм, від якого залежить розчинність CO_2 , та інтенсивністю гідробіологічних процесів. Величина рН у поверхневих водах збільшується за зменшення вмісту CO_2 в результаті зростання температури води або інтенсивного фотосинтезу гідробіонтів, зокрема, синьо-зелених водоростей, та зменшується, коли зростає вміст CO_2 . В нашому випадку (Табл. 1 і 2) величина рН відносно стабільна (6,9–8,6 одиниць), як по трасі транспортування, так і впродовж року, що пояснюється наявністю великої кількості іонів гідрокарбонатів, які компенсують зменшення вмісту CO_2 через прогрівання водойм. Утворення вугільної кислоти, яка визначає величину водневого показника, в цьому випадку не залежить від концентрації вуглекислого газу, а тому величина рН практично не змінюється ні впродовж поливного сезону, ні в процесі транспортування поливної води від річки до розподільчих каналів КЗС.

Що стосується нормативних значень рН поливної води, то різні автори [3, 14, 7] визначають діапазон $\text{pH} = 6,5(6,6)–8,4(8,6)$ як безпечний для більшості сільськогосподарських рослин. Дослідження показали, що практично всі наші результати визначення рН поливної води не виходять за межі цього діапазону. Тобто, з певною часткою умовності, можна вважати, що в більшості випадків води ПБЗС та КЗС є прийнятними для зрошення за цим показником.

3.5. Оцінка індексу залишкового карбонату натрію (RSCI)

Для прогнозування потенційної небезпеки відносного зростання частки катіонів натрію в поливній воді від суми всіх катіонів часто використовують індекс залишкового карбонату натрію (RSCI) (Residual sodium carbonate index). Катіони натрію, як викладено вище, викликають посилення осолонцювання ґрунту та негативно впливають на сільськогосподарські рослини. Цей показник широко застосовується в оцінках якості поливної води у країнах з аридним та семіаридним кліматом [5, 7, 8, 9 та ін.].

Він розраховується за формулою:

$$\text{RSCI} = (\text{HCO}_3 + \text{CO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg}), \quad (3)$$

де HCO_3 та CO_3 – вміст у воді аніонів гідроген-карбонату та карбонату, мг-екв/дм³, Ca та Mg – вміст катіонів кальцію та магнію, мг-екв/дм³.

Якщо показник RSCI (3) має позитивне значення, то очевидно, що кальцій і магній втрачаються з ґрунтового розчину через утворення з цими катіонами карбонатів, які випадають в осад. Втрата двовалентних катіонів призведе до відносного зростання вмісту натрію в поливній воді, що зумовить посилення небезпеки осолонцювання та зростання вірогідності токсичного впливу на рослини.

Іншим наслідком утворення надлишкового натрію є зростання рН через ймовірне утворення соди.

Аналіз літератури показує, що більшість авторів [5, 8, 9 та ін.] декларують, що вода з RSCI більше ніж 2,5 мг-екв/дм³ є непридатною для зрошення. Як правило, ці науковці [15] спираються на оригінальні оцінки, зроблені в умовах південно-західних штатів США. Але існують і більш м'які визначення критичних значень показника RSCI. Зокрема, в сучасних оцінках якості поливної води в Туреччині [7] — це допустимою для зрошення є вода з величиною RSCI у 2,5–5,0 мг-екв/дм³.

Якщо спиратися на оцінки [7], то травневі визначення якості води на ПБЗС та КЗС на всіх майданчиках, коли RSCI більше ніж 5 мг-екв/дм³, показують, що ця вода не придатна для зрошення. А визначення цього індексу у вересні вказують, у більшості випадків, на середній рівень небезпеки через ймовірне збільшення токсичного впливу катіонів натрію на рослини та на ґрунт.

4. Висновки

1. Досліджувані поливні води мають середній рівень небезпеки засолення ґрунту ($EC_w = 0,7–3,0$ мСм/см). Така поливна вода має певні обмеження у використанні. Якщо на ПБЗС помітного зниження врожайності не прогнозується, то на КЗС поливи цією водою приведуть до втрати від 12 до 20 % врожайів культур, чутливих до засолення. Для культур середньої солестійкості (кукурудза, люцерна, капуста, томати) втрати врожайності становитимуть 2–12 %, а для солестійких культур (соя, пшениця озима, буряк столовий) втрат врожайності не передбачається.

2. Поливна вода КЗС із середніми значеннями $SAR = 8,9$ та $EC_w = 1,9$ мСм/см та поливна вода ПБЗС із середніми значеннями $SAR = 3$ та $EC_w = 0,9$ мСм/см мають приблизно однакові середні ризики осолонцювання ґрунту. Землекористувачі повинні виконувати хімічну меліорацію чорнозему гіпсом та іншими речовинами, які містять кальцій.

3. Щодо впливу катіонів натрію на сільськогосподарські рослини, ступінь обмеження на землях ПБЗС, як для поверхневого зрошення, так і для дощування, є низьким або середнім. На землях КЗС аналіз даних показує в цілому на середній ступінь обмеження у використанні цієї води для поливів. Але в кінці поливного сезону під дією температурного фактора та притоку у водосховища мінералізованих підґрунтових вод, використання таких вод вимагає суттєвого обмеження через велику небезпеку пошкодження рослин катіонами натрію.

4. Невеликий вихідний вміст аніонів хлору (менше 3 мг-екв/дм³) у воді річки Південний Буг не суттєво змінюється у процесі транспортуванням води і не викликає токсичного впливу на рослини на всіх землях обох зрошувальних систем.

5. Гідрокарбонати домінують у складі аніонів у поливній воді, як на ПБЗС, так і на КЗС, що пояснюється особливостями літологічного складу гірських порід басейну річки Південний Буг, з якої забирається вода для зрошення. По всій трасі транспортування води вміст бікарбонатів не перевищує нормативних параметрів, притаманних «середній небезпеці впливу на ґрунтовий розчин» (5,0–30,0 мг-екв/дм³). Водночас, наявність великої кількості аніонів гідрокарбонатів у поливній воді та катіонів натрію призводить до високих значень індексу залишкового карбонату натрію (RSCI), який показує на небезпеку можливого зростання відносного вмісту цього іону у воді. А тому існує висока ймовірність поширення осолонцювання ґрунтів та посилення токсичного впливу катіонів натрію на рослини. Наявні критерії показують, що вода, яка використовується на ПБЗС та КЗС, з цих позицій не придатна для зрошення за використання найбільш жорстких критеріїв (RSCI повинен бути меншим за 2,5 мг-екв/дм³), або, у більшості випадків, є обмежено придатною за використання більш поблажливих нормативних параметрів (RSCI повинен бути меншим за 5 мг-екв/дм³).

6. Діапазон значень рН поливної води на всій трасі транспортування у всі терміни вимірювання найчастіше є прийнятним для сільськогосподарських рослин (рН = 6,5–8,4).

Отже, оцінка поливної води, яка використовується на ПБЗС та КЗС, за більшістю параметрів показує на середню та низьку агрономічну якість, а тому можливе лише обмежене використання цієї води для поливів. Особливо це стосується земель КЗС.

Список використаних джерел

1. Bortolini L., Maucieri C., Borin M.A. A Tool for the evaluation of irrigation water quality in the arid and semi-arid regions. *Agronomy*, 2018. 8(2), 23. <https://doi.org/10.3390/agronomy8020023>.
2. USSL Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook No 60. Washington DC, USA. 1954. 160 p. URL: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf.
3. Ayers R.S., Westcot D.W. Water Quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper. Vol. 29. Rome: FAO, 1994. 174 p. URL: <http://www.fao.org/3/t0234e/t0234E00.htm>.

4. Zaman M., Shahid S.A., Heng L. Irrigation water quality. In *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related technique*. Springer: Cham, Switzerland, 2018. P. 113–131. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_5.
5. 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. Vol.10, №2. P. 79–96. URL: <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jas/2010/79-96.pdf>
6. Irrigation water quality criteria / T.A. Bauder, R.M. Waskom, H.L. Sutherland [et al.]. Colorado State University, 2011. 0.506. URL: <https://extension.colostate.edu/docs/pubs/crops/00506.pdf>.
7. Kavurmac M., Karakuş C.B. Evaluation of irrigation water quality by data envelopment analysis and analytic hierarchy process-based water quality indices: the Case of Aksaray City, Turkey. *Water Air Soil Pollut.* 2020. 231:55. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4427-z>.
8. Irrigation groundwater quality characteristics: a case study of Cyprus / G. Nikolaou, D. Neocleous, C. Christophi [et al.]. *Atmosphere*. 2020. 11, 302. <https://doi.org/10.3390/atmos11030302> www.mdpi.com/journal/atmosphere.
9. Singh K.K., Tewari G., Kumar S. Evaluation of groundwater quality for suitability of irrigation purposes: a case study in the Udham Singh Nagar, Uttarakhand. *Journal of Chemistry*. 2020. Volume 20, Article ID 6924026, 15 p. <https://doi.org/10.1155/2020/6924026>.
10. Типізація поверхневих вод басейну Південного Бугу за вмістом головних іонів, біогенних елементів, органічних речовин та розчиненого кисню / О.О. Ухань, В.І. Осадчий, Ю.Б. Набиванець [та ін.]. Наукові праці УкрНДГМІ, 2015. Вип. 267, С. 46–55. URL: https://uhmi.org.ua/pub/np/267/Ukhan_Osadchy_Yu_Nabyvaniets_Osadcha_Glotka_257.pdf
11. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу / В.К. Хільчевський, О.В. Чунарьов, М.І. Ромась [та ін.]. Київ: Ніка-Центр, 2009. 184 с.
12. Grieve C.M., Grattan S.R. Maas E.V. Plant salt tolerance. In: W.W. Wallender and K.K. Tanji (eds.) *ASCE Manual and reports on engineering practice No. 71 Agricultural Salinity Assessment and Management (2nd Edition)*. ASCE, Reston, VA. Chapter 13. 2012. P. 405–459. URL: https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/20360500/pdf_pubs/P2246.pdf.
13. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / за наук. ред. С.А. Балука, М.І. Ромащенко, В.А. Сташук. Київ: Аграрна наука, 2009. 624 с.
14. Simsek C., Gunduz O. IWQ index: A GIS-Integrated technique to assess irrigation water quality. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2007. 128. P. 277–300. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9312-8>.
15. Wilcox L.V. Classification and use of irrigation waters. Circular 969, Washington, D.C.: United States Department of Agriculture. 1955. URL: <https://ia601701.us.archive.org/23/items/classificationus969wilc/classificationus969wilc.pdf>.

UDK: 631.67.03

Spatial and temporal aspects of irrigation water quality in South Bug and Kamianska irrigation systems

S. G. Chornyy, V. V. Isayeva

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
 s.g.chornyy@gmail.com

Much of Ukraine is located in areas of insufficient moisture, and therefore the food supply and export potential of the state largely depends on the availability, condition and efficiency of irrigated land use. A factor that significantly affects the development of irrigation in the South of Ukraine is the quality of irrigation water. The aim of the article is to highlight the results of the study of spatial-temporal aspects of various indicators of agronomic quality of irrigation waters of the South Bug Irrigation System (SBIS) and Kamianska Irrigation System (KIS). The task of the research was to determine the degree of danger of salinization of soils, the hazard of physical degradation of soils, the danger of toxic effects on the plant of certain toxic anions and cations and the pH value. In terms of the risk of soil salinization, these waters have a medium level of hazard. Such irrigation water has certain limitations in use. If there is no noticeable reduction in the yield of the main crops at the SBIS, then watering with this water will lead to a noticeable loss of yield at the KIS for the most sensitive to salinity crops. KIS and SBIS irrigation water have medium risks of potential salinization of soils, which makes the application of gypsum a mandatory technological measure in the process of growing crops. Regarding the impact of sodium cations on agricultural plants, the quality of irrigation water on the lands of SBIS is low and medium, and on the lands of KIS – average. But at the end of the irrigation season under the influence of temperature and probable inflow into reservoirs along the route of transportation of mineralized groundwater, the use of such water on KIS lands requires significant restrictions due to the high risk of injury to plants with excess sodium cations. The low initial content of chlorine anions in the Southern Bug River, which does not change significantly in the process of water transportation, does not lead to toxic effects on plants in all lands of both irrigation systems hydrocarbonates dominate among all anions in irrigation water, both on SBIS and on KIS, but the content of bicarbonates does not exceed the normative indicators inherent in "average danger of influence on soil solution". At the same time, the presence of large relative amounts of hydrocarbonate anions and sodium cations leads to high values of the "residual sodium carbonate index" (RSCI), especially in the KIS, which indicates the potential danger of rising sodium in water, which can have negative consequences for soil and for the plant. The pH values of irrigation water on the entire transport route in all terms of measurement often fall into the range of values acceptable for agricultural plants. Thus, the assessment of water used in SBIS and KIS, for most parameters shows an average and low agronomic quality, and therefore only limited use of this water for irrigation is possible. This is especially true of KIS lands.

Keywords: irrigation water; electrical conductivity; mineralization; soil salinization; sodium cations; chlorine anions; hydrocarbonate anions; pH.

Citing: Chornyy, S. G., & Isayeva, V. V. (2022). Spatial and temporal aspects of irrigation water quality in South Bug and Kamianska irrigation systems. *AgroChemistry and Soil Science*, 93, 33-42. [doi:10.31073/acss93-04](https://doi.org/10.31073/acss93-04) [in Ukrainian].

УДК 528.88.042:528.852.5

Дистанційне визначення величини фотосинтетичного стоку органічного вуглецю (Ph) в агроценозі пшениці озимої залежно від строкатості ґрунтового покриття

П. І. Трофименко¹, В. І. Зацерковний¹, І. С. Зобнів¹, Н. В. Трофименко¹,
О. П. Сябрук^{2*}, В. О. Забалуєв³

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

²Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

³Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 19.06.2022 Отримано після доопрацювання 02.10.2022 Затверджено до видання 13.10.2022 Доступно онлайн 01.12.2022	У статті представлено результати досліджень зв'язку диференціації ґрунтового покриття та даних дистанційної ідентифікації величини фотосинтетичного стоку органічного вуглецю (Ph) на посівах пшениці озимої, та розробку нових і вдосконалення існуючих моделей накопичення біомаси сільськогосподарських культур, з метою формування структури цих моделей за різних кліматичних умов та на різних типах ґрунтів. У ході дослідження розроблено моделі величин стоку вуглецю в агроценозі пшениці озимої на супіщаних та легкосуглинкових ґрунтах ($PhCO_{2LIG}$ та PhC_{LIG}), середньо- та важкосуглинкових ґрунтах ($PhCO_{2HEAV}$ та PhC_{HEAV}), а також проведено оцінку точності моделей. Експериментальними дослідженнями виявлено та підтверджено територіальну узгодженість значень величин стоку органічного вуглецю $PhCO_{2LIG}$ на посівах пшениці з геоморфологічними ознаками якості супіщаних та легкосуглинкових ґрунтів, зокрема гранулометричним складом, глейовістю та глеюватістю. Встановлено, що на 95,2 % значення похибки дистанційної ідентифікації Ph біомаси пшениці озимої на різних ґрунтах зумовлені врожайністю зерна, соломой та кореневою масою. Із урахуванням особливостей настання діагностичних, для дистанційної ідентифікації, значень фотосинтетичного стоку органічного вуглецю і фаз органогенезу пшениці озимої розроблено рекомендовані середньорічні часові вікна замови знімку Sentinel 2A у розрізі природно-кліматичних зон України. Таким чином, пропонується розробити подібні моделі для інших супутників, які здійснюють створення зображення в діапазонах SWIR3 та SWIR2, близьких до 2080–2350 нм та 1550–1750 нм відповідно. Це дозволить отримувати більше зображень, необхідних для діагностики стоку вуглецю на посівах пшениці озимої.
Ключові слова: дистанційна ідентифікація; диференціація ґрунтового покриття; діапазони SWIR; моделювання; пшениця озима; фотосинтетичний стік вуглецю	

* E-mail: syabryk86@gmail.com

Форма цитування: Дистанційне визначення величини фотосинтетичного стоку органічного вуглецю (Ph) в агроценозі пшениці озимої залежно від строкатості ґрунтового покриття / П. І. Трофименко, В. І. Зацерковний, І. С. Зобнів (та ін.). *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2022. Вип. 93. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 43-53.
<https://doi.org/10.31073/acss93-05>

1. Вступ

Кругообіг біогенних елементів, перш за все вуглецю, є важливою частиною функціонування біосфери. Останніми десятиріччями антропогенний вплив часто призводить до відчутного порушення реального природного балансу в агроландшафтах. Нині спостерігається істотне підсилення цього впливу, яке супроводжується явищами глобального потепління та парникового ефекту. Тому, усе частіше провідні науковці світу розглядають ґрунти та рослинний покрив як дієві інструменти зниження концентрації парникових газів атмосфери.

У випадках кількісного оцінювання вуглецевого циклу або окремих його ланок об'єктивність параметрів балансу біогенних парникових газів характеризується високим рівнем невизначеності [1]. Наявність супутникових засобів діагностування, завдяки суттєвим технічним можливостям, підвищує об'єктивність та точність означених оцінок. Серед очевидних переваг слід зазначити можливість відстежування впливу локальних чинників на певних ділянках земної поверхні, що зумовлюють перебіг та розвиток досліджуваних процесів, і в разі необхідності виключити їхню дію, зосередившись лише на окремих із них.

До недоліків необхідно віднести високу часову дискретність космічних знімків, внаслідок чого отримані у такий спосіб дані для проведення балансових підрахунків, можуть виявитися непридатними. Результати раніше проведених досліджень свідчать, що найбільш «корисними» є знімки, зроблені у час з 9-00 до 11-00 годин, коли значення емісії CO_2 з ґрунту приблизно відповідають середньодобовим значенням, що важливо під час інвентаризації діоксиду вуглецю [2]. Зрозуміло, що забезпечити отримання періодичних космічних зображень, навіть із використанням декількох супутникових систем, доволі проблематично. Натомість безпосереднє дистанційне визначення показника біомаси

рослинних співтовариств, в тому числі й агроценозів дозволяє встановити величину «чистої» органічної речовини стоку без необхідності врахування кількісних та часових осциляцій на окремих етапах її формування. У контексті зазначеного, достатньо цікавим є моделювання геопросторового поширення обсягів стоку CO_2 на посівах сільськогосподарських культур.

Одним з найбільш актуальних викликів сьогодення є пошук науковцями й землекористувачами технологій дистанційної ідентифікації обсягів емісії та асиміляції органічного вуглецю на посівах сільськогосподарських культур на різних ґрунтах. Науковою спільнотою опубліковано значну кількість досліджень, результати яких висвітлюють алгоритми дистанційного зондування стану ґрунтів та посівів [3-6]. Застосування технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) забезпечує сталі врожаї, дозволяє мінімізувати вуглецевий і нітрогенний слід [7, 8], спричинений вирощуванням сільськогосподарських культур, та уповільнити розвиток небезпечних процесів у біосфері. Саме тому останніми роками екологічно стабілізувальна роль агроландшафтів у кругообігу елементів біосфери, поряд із традиційно пріоритетною (перш за все, для виробників) функцією вирощування продукції, постійно зростає. Однак, раніше проведені дослідження поширення вмісту вуглецю у ґрунті, в умовах його екранованості рослинністю (2019), а також маси асимільованого рослинами вуглецю (2021) та встановлені відповідні емпіричні залежності [Ошибка! Источник ссылки не найден.-11] не дозволяють зробити остаточний висновок про рівень їхньої достовірності.

Слід зауважити, що отримання вище означеної інформації традиційними (наземними) способами зазвичай виконано шляхом проведення постійних або періодичних моніторингових спостережень інструментальними методами [2, 12]. Проте, значна кількість та виключна динамічність зумовлюючих інтенсивність фотосинтетичної асиміляції CO_2 рослинами факторів, які мають річні, сезонні та добові осциляції, часто є наслідком отримання необ'єктивних параметрів вуглецевого стоку. Одним із відомих шляхів є врахування величин зв'язування діоксиду вуглецю біомасою рослин на основі даних про врожайність культур.

У представленому дослідженні йдеться про розробку нових та удосконалення існуючих моделей накопичення біомаси сільськогосподарських культур, з метою формування структури цих моделей за різних кліматичних умов та на різних типах ґрунту.

Як відомо, розробка подібних геопросторових моделей у сільському господарстві вимагає від авторів значних зусиль щодо забезпечення необхідного рівня їхньої достовірності. Останнє можливо у випадку наявних польового та лабораторного етапів досліджень, які передують розробці зазначених моделей. Важливою також є обов'язкова верифікація самих моделей та якісна перевірка їхньої ефективності в умовах агроландшафту.

Не менш принциповим є максимальна мінімізація матеріально-технічних і фінансових витрат на розробку, оптимізацію, підтримку та впровадження для розв'язання прикладних задач виробництва. Розробка подібних математичних моделей є важливою науковою проблемою. Її вирішення дозволяє об'єктивно оцінити ґрунт як засіб виробництва рослинницької продукції та врахувати його роль як дієвого важеля регулювання концентрації парникових газів атмосфери, зокрема CO_2 .

Зважаючи на вище зазначене, виключно цінною є інформація про територіальну диференціацію величин основної та побічної продукції і кореневої маси сільськогосподарських культур — з одного боку та поширення ареалів ґрунтів — з іншого. За допомогою геостатистичного аналізу та інтерпретації такої інформації можливо розробити геопросторові моделі фотосинтетичного стоку вуглецю (Ph) в умовах агроландшафту. Їх застосування дозволяє отримати дані про територіальне поширення, просторову й часову варіабельність величини (Ph) та закономірності формування її значень на різних культурах і ґрунтах.

Під фотосинтетичним стоком (Ph) розуміли масу фотосинтетично зв'язаного вуглецю (C-CO_2) поточного періоду вегетації окремої сільськогосподарської культури, яку витратили рослини для формування власної біомаси у вигляді діоксиду (CO_2) або еквівалентної маси карбону (C).

Враховуючи те, що пшениця озима вирощується на значних площах на всій території України, а період її вегетації (за виключенням періоду промерзання ґрунту) становить не менш як 10 місяців, під час розробки моделей її обрано як індикаторну сільськогосподарську культуру.

Крім того, пшениця озима є однорічною культурою, тому величини Ph та NPP (чистої рослинної продуктивності) для неї можуть бути близькими, а тому, отримані результати досліджень — достатньо інформативними.

Зауважимо, що важливою для проведення розрахунків балансу органічної речовини є інформація про прямі втрати біомаси сільськогосподарських культур, які відбуваються щорічно під час вилучення з кругообігу певної частини органічного вуглецю (у вигляді врожаю). Тому, під час здійснення дистанційного визначення обсягів емісії або стоку органічної речовини, картографічна інформація про структуру біомаси пшениці (зерно, солома, коренева маса) є надто важливою.

Не менш важливим аспектом розробки означеної геопросторової моделі є достатньо висока диференційованість ґрунтового покриву України. Відомо, що в межах країни нараховують близько 8 тисяч ґрунтових відмін. При цьому кількість агровиробничих груп ґрунтів становить 222 [13]. Значна диференціація ґрунтового покриву створює додаткові перешкоди у разі встановлення закономірностей утворення біомаси сільськогосподарських культур в умовах виробництва на значних площах.

Представлення такої інформації у вигляді детальних картосхем стало можливим завдяки застосуванню методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та засобів геоінформаційних технологій (ГІТ). Зауважимо, що їх побудова допомагає виробникам оптимізувати баланс поживних речовин у рослинництві, сприятиме уповільненню втрат органічного вуглецю ґрунтами та дозволяє створити найкращі умови його фіксації сільськогосподарськими культурами.

2. Матеріали і методи досліджень

Дослідження проведено впродовж 2017-2021 рр. та включало польовий та камеральний етапи розробки комплексної моделі дистанційної ідентифікації обсягів стоку органічного вуглецю у вигляді CO₂ та C біомасою пшениці озимої.

Польові дослідження виконано на території Житомирського району Житомирської області, на землях ТОВ «Вега-Агро» (с. Осівці) на площі 223,3 га (Рис. 1). Ця територія розташована в межах Житомирського Полісся на межі з зоною Лісостепу України і відрізняється винятковою ґрунтовою неоднорідністю. Шифри агрогруп ґрунтів в Україні, їхні назви, а також назви та шифри ґрунтів, згідно з класифікацією FAO, представлено в таблиці 1.

Таблиця 1
Досліджувані ґрунти

Ґрунти	Агрогрупа	Назва і шифр за класифікацією FAO (WRB)
Ясно-сірі і сірі лісові супіщані	29в	Eutric podzoluvisols (Pde)
Ясно-сірі і сірі лісові глеюваті легкосуглинкові	33г	Gleic Greyzems (GRg)
Темно-сірі опідзолені і чорноземи опідзолені поверхнево глеюваті легкосуглинкові	47г	Haplic Greyzems (GRh)
Темно-сірі опідзолені і чорноземи опідзолені поверхнево глейові легкосуглинкові	48г	Haplic Greyzems (GRh)
Ясно-сірі і сірі лісові глеюваті супіщані	33в	Gleic Greyzems (GRg)
Дерново-підзолисті і підзолисто-дернові глейові супіщані	14в	Eutric podzoluvisols (Pde)
Дерново-підзолисті і підзолисто-дернові поверхнево глеюваті зв'язно-піщані	18б	Eutric podzoluvisols (Pde)
Дерново-підзолисті і підзолисто-дернові поверхнево глеюваті супіщані	18в	Eutric podzoluvisols (Pde)
Лучно-болотні, мулуваті-болотні і торфувато-болотні неосушені	141	Mollic Gleysols (GLm)
Дернові глибокі глейові легкосуглинкові та їх опідзолені відміни	178г	Eutric Planosols (PLe)

Закладання тестових ділянок зондування (всього 29 ділянок) для побудови моделі та її верифікації проводили на основі несучільної мережі на найбільш поширених ґрунтах, у тому числі: 15 ділянок безпосередньо відібрано для розробки математичних залежностей складових моделі — врожайності зерна та соломи пшениці озимої. Решту (14) використано як верифікаційні [14] тестові ділянки. Для локалізації ареалів ґрунтів використано карту агровиробничих груп ґрунтів М 1 : 10 000.

На дослідному полігоні виконували польові дослідження в агроценозі пшениці озимої (сорт «Богдана»). На тестових ділянках за загально прийнятою методикою [15] відбирали проби рослин у фазі повної стиглості та провели лабораторний аналіз на визначення продуктивності пшениці озимої. Висота рослин на момент дослідження становила від 95 до 108 см.

Для дистанційної ідентифікації параметрів урожаю використано спектрозональний знімок Sentinel 2A, зроблений 04.08.2017 року: S2A_OPER_MSI_L1C_TL_MPS__20170804T111320_A011058_T35UPR об 9¹⁵, WGS 84, формату «jpeg».

Проведення геоінформаційного аналізу здійснено в середовищі Arc Map 10.4 та передбачало застосування інструменту Raster calculator. Розрахунок індексу NDSI (Normalized Difference Soil Index) — нормалізований диференційований ґрунтовий індекс виконано за формулою:

$$\text{NDSI} = \text{float} \frac{\text{SWIR} - \text{NIR}}{\text{SWIR} + \text{NIR}} \quad (1)$$

де: SWIR — відображення в інфрачервоному діапазоні 1550–1750 нм (band 11); NIR — відображення в інфрачервоному діапазоні 2080–2350 нм (band 12). Геостатистичний аналіз передбачав застосування функції кригінгу (kriging).

Під час побудови картосхем кореневої маси, зерна та соломи, біомаси та вуглецево-асиміляційного потенціалу пшениці озимої використано метод контрольованої класифікації (manual classification) із встановленням рівних інтервалів (equal intervals).

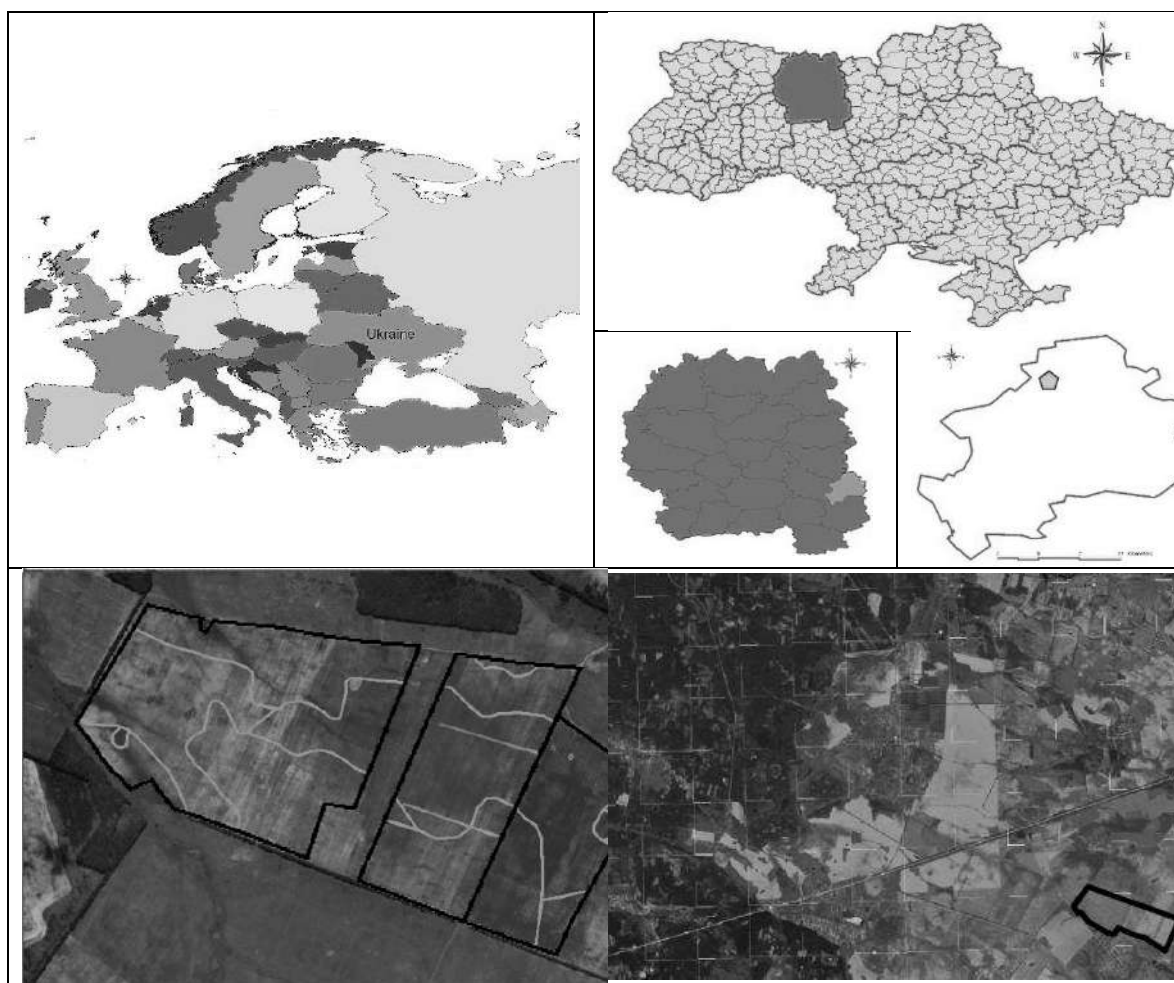


Рис. 1. Місцезположення території досліджень, 50° 21' 11" пн. ш., 29° 28' 15" сх. д.

3. Результати досліджень

У програмі досліджень передбачено розробку моделей накопичення біомаси пшениці озимої та маси стоку C-CO₂ (Ph), який використано на її формування.

Як вихідні складових майбутньої моделі використано розроблені емпіричні залежності врожайності зерна та соломи пшениці (формули 2, 3) [14]:

$$Y_{\text{ЗЕРНО}} = 113,29 \cdot \text{NDSI} - 19,736 \quad (2)$$

де Y_{ЗЕРНО} — врожайність зерна пшениці озимої, т/га, NDSI (Normalized Difference Soil Index) — нормалізований диференційований ґрунтовий індекс.

$$Y_{\text{СОЛОМА}} = -167,09 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{11}\text{TOA} + 39,709 \quad (3)$$

де $Y_{\text{СОЛОМА}}$ — врожайність соломи пшениці озимої, т/га, ρ_{11} TOA — Top of Atmosphere Reflectance 11-го каналу.

Структурно-логічну схему побудови моделі наведено на рисунку 2.

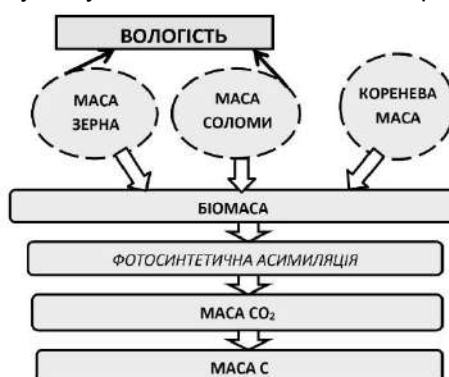


Рис. 2. Структурно-логічна схема розробки моделей обсягів стоку C-CO₂ (Ph).

Картосхему врожайності зерна пшениці озимої, побудовану на основі рівняння 2, представлено на рисунку 3.

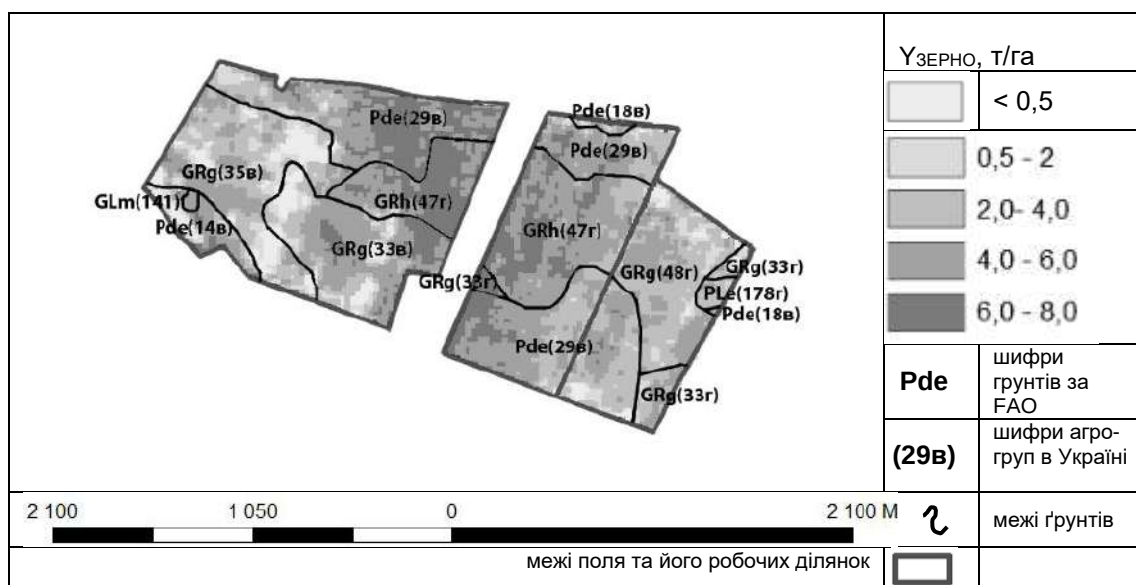


Рис. 3. Картосхема врожайності зерна пшениці озимої, т/га, 1р = 20х20 м. (побудовано за формулою 2)

Наведені дані свідчать, що у центральній частині полігону локалізовано найвищу врожайності зерна.

Під час розробки, як складові моделі, використано загально відомі регресійні рівняння Ф.І. Левіна (1977) [16] (рівняння 4) та Г.Я. Чесняка (1987) [Ошибки! Источник ссылки не найден. 7, 18] (рівняння 5) для визначення кореневої маси пшениці озимої:

$$Y_{\text{дп}} = 0,7y + 10,2 \quad (4)$$

де $Y_{\text{дп}}$ — маса коренів пшениці озимої, ц/га; y — врожайність зерна пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті;

$$Y_{\text{ч}} = 0,71y + 10,0 \quad (5)$$

де $Y_{\text{ч}}$ — маса коренів пшениці озимої, ц/га на чорноземі типовому, y — врожайність зерна пшениці озимої.

Використовуючи вихідні рівняння (формули: 1, 2, 3, 4, 5) шляхом алгебраїчних перетворень отримуємо моделі геопросторового поширення маси корневих решток на посівах пшениці озимої (ф. 6, 7):

$$Z_{\text{wheat}_{\text{LIG}}} = 79,303 \cdot \text{NDSI} - 12,7952 \quad (6)$$

де $Z_{\text{wheat}_{\text{LIG}}}$ — модель визначення маси коренів (для супіщаних та легкосуглинкових ґрунтів), ц/га

$$Z_{\text{wheat}_{\text{HEAV}}} = 80,434 \cdot \text{NDSI} - 13,0126 \quad (7)$$

де $Z_{\text{wheat}_{\text{HEAV}}}$ — модель визначення маси коренів (для середньо- та важкосуглинкових ґрунтів), ц/га.

Модель за формулою 6 ($Zwheat_{LIG}$) пропонується застосовувати для визначення кореневої маси пшениці озимої на ґрунтах супіщаного та легкосуглинкового гранулометричного складу, а модель за формулою 7 ($Zwheat_{HEAV}$) на ґрунтах середньо- та важкосуглинкового гранулометричного складу.

Отримані моделі, окрім безпосереднього алгоритму побудови геопросторової моделі кореневої маси пшениці озимої на різних ґрунтах, виконують допоміжну роль і, разом із масою зерна та соломи (наземної частини), дозволяють розробити модель загальної біомаси пшениці озимої.

У загальному вигляді модель біомаси пшениці озимої та її вуглецево-асиміляційного потенціалу, має такий вигляд:

$$M_{BIO} = a \cdot NDSI - b \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{11} TOA + c \quad (8)$$

де M_{BIO} — біологічна продуктивність посівів пшениці озимої, т/га; a , b — значення множників при змінних моделі; c — вільний член.

Параметри рівняння (a , b , c) змінюють свої значення залежно від декількох основних чинників: типу та гранулометричного складу ґрунту, агробіологічних характеристик сорту, величини врожайності пшениці озимої у фазі повної стиглості та інших. Розроблена модель фотосинтетичного стоку вуглецю ($PhCO_{2LIG}$) біомасою пшениці озимої (суха речовина) враховує значення вологості зерна та соломи.

Модель геопросторового поширення біологічної продуктивності посівів пшениці озимої для ґрунтів супіщаного та легкосуглинкового гранулометричного складу має такий вигляд:

$$M_{BIOLIG} = 175,5995 \cdot NDSI - 137,0138 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{11} TOA + 2,9906 \quad (9)$$

де M_{BIOLIG} — біологічна продуктивність посівів пшениці озимої на супіщаних та легкосуглинкових ґрунтах (суха речовина), т/га.

Модель геопросторового поширення величини фотосинтетичного стоку вуглецю для ґрунтів супіщаного та легкосуглинкового гранулометричного складу ($PhCO_{2LIG}$) (у перерахунку на CO_2) наведено нижче:

$$PhCO_{2LIG} = 1,65 \cdot M_{BIOLIG} \quad (10)$$

де $PhCO_{2LIG}$ — величина фотосинтетичного стоку CO_2 посівів пшениці озимої на супіщаних та легкосуглинкових на ґрунтах, т/га; 1,65 — коефіцієнт асиміляції (еквівалент маси CO_2 для формування одиниці маси органічної речовини).

Модель просторового поширення біомаси посівів пшениці озимої (суха речовина) для ґрунтів середньосуглинкового та важкосуглинкового гранулометричного складу має такий вигляд:

$$M_{BIOHEAV} = 176,7304 \cdot NDSI - 137,0138 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{11} TOA + 2,7732 \quad (11)$$

де $M_{BIOHEAV}$ — біомаса посівів пшениці озимої на середньо- та важкосуглинкових ґрунтах (суха речовина), т/га.

Модель геопросторового поширення величини фотосинтетичного стоку вуглецю на середньо- та важкосуглинкових ґрунтах ($PhCO_{2HEAV}$) (у перерахунку на CO_2) виглядає так:

$$PhCO_{2HEAV} = 1,65 \cdot M_{BIOHEAV} \quad (12)$$

де $PhCO_{2HEAV}$ — величина фотосинтетичного стоку CO_2 пшениці озимої на середньо- та важко суглинкових ґрунтах, т/га; 1,65 — коефіцієнт асиміляції (еквівалент маси CO_2 для формування одиниці маси органічної речовини).

Модель стоку вуглецю на посівах пшениці озимої на ґрунтах супіщаного та легкосуглинкового гранулометричного складу (PhC_{LIG}) після спрощень має вигляд:

$$PhC_{LIG} = 0,45 \cdot M_{BIOLIG} \quad (13)$$

де PhC_{LIG} — величина фотосинтетичного стоку вуглецю посівів пшениці озимої на ґрунтах супіщаних та легкосуглинкових ґрунтах, т/га.

Модель стоку вуглецю на посівах пшениці озимої для ґрунтів середньосуглинкового та важкосуглинкового гранулометричного складу (PhC_{HEAV}) має вигляд:

$$PhC_{HEAV} = 0,45 \cdot M_{BIOHEAV} \quad (14)$$

де PhC_{HEAV} — величина фотосинтетичного стоку вуглецю посівами пшениці озимої на середньо- та важкосуглинкових ґрунтах, т/га.

Картосхему геопросторової диференціації кореневої маси та загальної біомаси пшениці озимої представлено на рисунках 4 та 5.

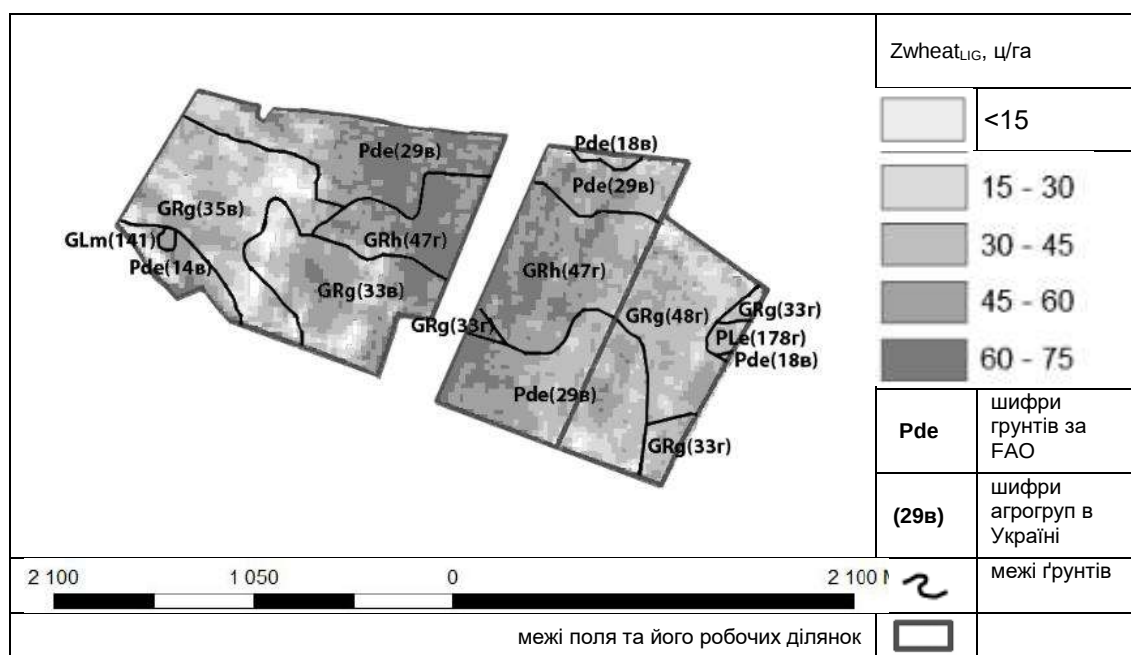


Рис. 4. Геопросторова диференціація кореневої маси пшениці озимої ($Zwheat_{LIG}$) ц/га, (побудовано за ф. 5) $1p = 20 \times 20$ м

Дані, представлені на рисунках, свідчать, що найвищі значення біомаси пшениці, врожайності та кореневої маси загалом зосереджені у центральній частині тестового полігону.

У межах середньої ділянки земельного масиву чітко виділяється пробний прокіс (test cat), проведений фермером (див. рис. 5).

Картосхему геопросторової диференціації величини стоку вуглецю $PhCO_2$ LIG на посівах пшениці озимої в умовах агроценозу ґрунтів супіщаного та легкосуглинкового гранулометричного складу представлено на рисунку 6.

На картосхемі диференціація маси стоку CO_2 біомасою пшениці за загальними морфологічними ознаками ґрунтів в цілому узгоджується з рівнем їхньої родючості (див. рис. 3). Зокрема, зі зміною гранулометричного складу ґрунтів із супіщаного на легкосуглинковий, спостерігається підвищення дистанційно визначених значень $PhCO_2$ LIG. А за наявності у ґрунтах ознак глейовості, навпаки — зниження.

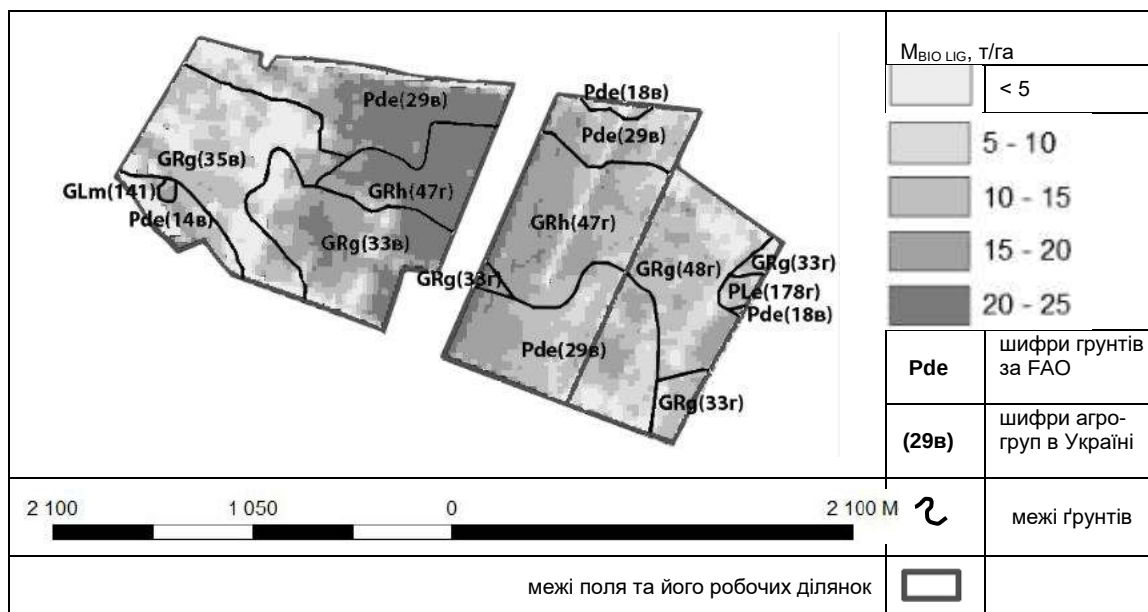


Рис. 5. Геопросторова диференціація біомаси пшениці озимої (суха речовина), т/га, (побудовано за ф. 8) $1p = 20 \times 20$ м

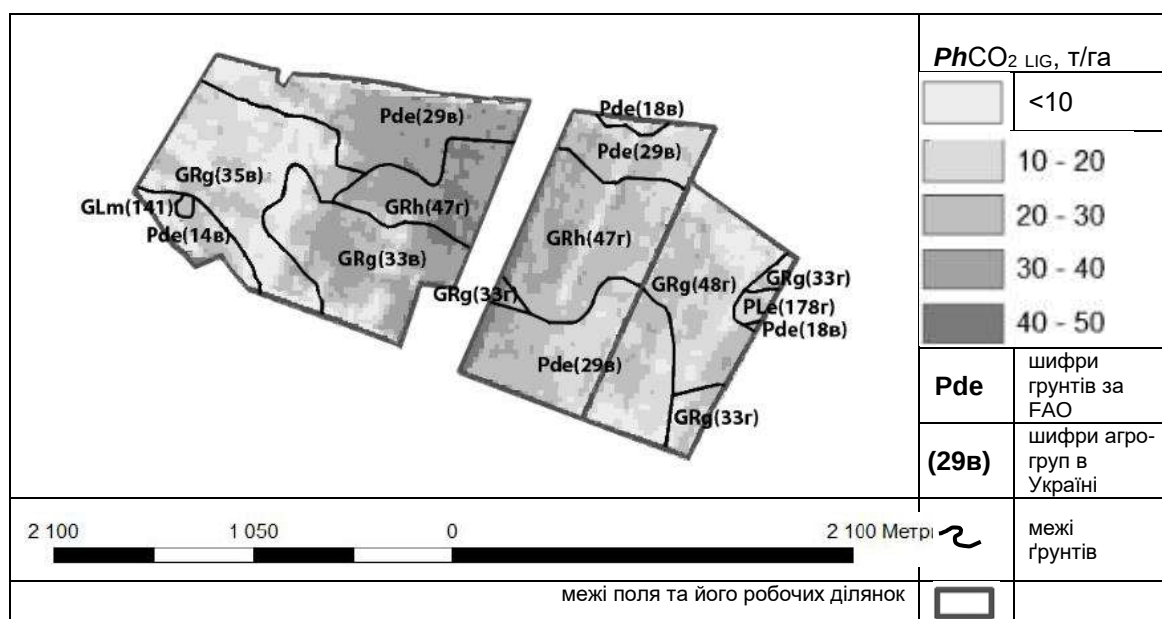


Рис. 6. Геопросторова диференціація стоку діоксиду вуглецю біомасою пшениці озимої, т/га, (побудовано за ф. 11), 1р = 20х20 м

У ґрунтах супіщаного гранулометричного складу з ознакою глеюватості та, відповідно, із більшою продуктивністю, спостерігається підвищення значень $PhCO_{2LIG}$, що є логічним (Табл. 2). Виняток становлять органігенні та органо-мінеральні ґрунти (141), GLm, які не підпадають під параметри моделі.

Разом з тим, у більшості ґрунтів спостерігається значна диференціація біомаси культури та невідповідність величині балу бонітету відносно врожайності пшениці озимої, що пояснюється впливом на значення її продуктивності умов рельєфу та інших.

За результатами досліджень встановлено, що модель дистанційної ідентифікації геопросторового поширення величини стоку $PhCO_2$ пшениці озимої дозволяє детально оцінити здатність її біомаси щодо зниження концентрації діоксиду вуглецю в межах ареалів різних ґрунтів.

Таблиця 2

Середньозважені значення величини вуглецевого стоку ($PhCO_{2LIG}$) на досліджуваних ґрунтах, отримані дистанційно

Назва і код агропромислової групи ґрунтів та шифр за FAO	Бал бонітету за пшеницею	Величина $PhCO_{2LIG}$ т/га
Ясно-сірі і сірі лісові супіщані ґрунти (29в), Pde	15	16,6
Ясно-сірі і сірі лісові глеюваті легкосуглинкові ґрунти (33г), GRg	16	21,2
Темно-сірі опідзолені і чорноземи опідзолені поверхнево-глеюваті легкосуглинкові (47г), GRh	16	29,4
Темно-сірі опідзолені і чорноземи опідзолені поверхнево-глейові легкосуглинкові (48г), GRh	22	15,0
Ясно-сірі і сірі лісові глеюваті супіщані ґрунти (33в), GRg	18	23,3
Дерново-підзолисті і підзолисто-дернові глейові супіщані ґрунти (14в), Pde	11	17,4
Дерново-підзолисті і підзолисто-дернові поверхнево-глеюваті зв'язно-піщані ґрунти (18б), Pde	13	15,5
Дерново-підзолисті і підзолисто-дернові поверхнево-глеюваті супіщані ґрунти (18в), Pde	11	19,1
Дернові глибокі глейові легкосуглинкові ґрунти та їх опідзолені відміни (178г), PLe	22	13,3

У процедурі оцінювання точності моделі передбачено проведення обрахунків параметрів точності окремих її складових та оцінювання точності моделі в цілому на

прикладі найбільш поширеної на досліджуваній ділянці агрогрупи ґрунтів 29в — ясно-сірі і сірі лісові супіщані (29в) — Eutric podzoluvisols (Pde).

Результати обчислень окремих складових моделі представлено в таблиці 3. Як свідчать наведені дані, 95,9 % похибок дистанційної ідентифікації значень Ph пшениці озимої на різних ґрунтах залежать від точності визначення врожайності зерна, соломи та кореневої маси пшениці озимої.

Таблиця 3

Параметри точності складових моделі геопросторового поширення величини $PhCO_2 LIG$ пшениці озимої на ясно-сірому і сірому лісових супіщаних ґрунтах

Складові моделі		Похибки та спосіб їх визначення	
		RMSE, %	спосіб визначення
врожайність зерна	модель 2	14,5	наземна верифікація
врожайність соломи	модель 3	15,3	наземна верифікація
коренева маса	моделі 6, 7	14,5-15,0	обраховано на основі врожайності
вологість зерна	коефіцієнт - 0,14	0,71*	розраховано
вологість соломи	коефіцієнт - 0,18	0,56*	розраховано
асиміляція CO_2	коефіцієнт - 1,65	0,60*	розраховано
перерахунок CO_2 у C	коефіцієнт - 0,2727	0,04*	розраховано

Примітка. Значення похибок складових моделі визначено з дотриманням існуючих вимог [19, 20].

Оцінку загальної точності моделі проведено на основі растру геопросторової моделі (див. рис. 5) усього діапазону значень величини $M_{BIO LIG}$ — від низьких до високих (12 значень). Вихідні значення для обрахунку величини похибки (значення $\rho_{11}TOA$ (SWIR), $\rho_{12}TOA$ (NIR); $M_{BIO LIG}$) отримано попіксельно з допомогою інструменту «identify». У подальшому обраховано середні значення $M_{BIO LIG}$ (16,57 т/га) та середньої похибки $\Delta M_{BIO LIG}$ (3,94 т/га) та середню відносну похибку (у відсотках 23,8 %).

Враховуючи комплексний характер моделі та допустимі значення похибок дистанційної ідентифікації окремих її складових, оцінене значення її точності є достатньо високим. Виходячи із можливості уточнення параметрів окремих складових моделі з метою її оптимізації, доцільність її впровадження є достатньо виправданою.

Застосування розроблених моделей потребує спектрозональний знімок Sentinel 2A, зроблений на досліджувану територію у період «фаза воскової стиглості» – «фаза повної стиглості» пшениці озимої, підданий геометричній, радіометричній та атмосферній корекції.

Із урахуванням особливостей настання означених фаз органогенезу пшениці озимої встановлено орієнтовні середньорічні часові діапазони для замовлення знімку у розрізі природно-кліматичних зон України (Табл. 4).

Таблиця 4

Рекомендовані терміни замовлення знімку Sentinel 2A для дистанційної ідентифікації величини фотосинтетичного стоку вуглецю (Ph) в Україні

Природно-кліматична зона	Оптимальний період
Полісся	25.06–01.08
Лісостеп	20.06–25.07
Степ	10.06–15.07

Слід зауважити, що у випадках підвищеної вологості біомаси пшениці, коли її значення перевищують параметри таблиці 2, розроблені моделі можуть бути оптимізовані шляхом коригування значень коефіцієнтів вологості.

4. Висновки

1) Упродовж досліджень установлено, що за допомогою моделювання отримання картосхем біомаси та величин стоку органічного вуглецю Ph пшениці озимої може здійснюватися в автоматизованому режимі, що виключає необхідність проведення перманентних або періодичних спостережень за інтенсивністю асиміляції CO_2 рослинами.

2) Визначено, що розробка вихідних моделей може здійснюватися на основі несучільних спостережень, що значно здешевлює їх проведення.

3) Доведено, що незважаючи на певну часову дискретність отримання зображень земної поверхні з однієї супутникової системи, важливою перевагою застосування означених моделей є відсутність потреби використання часового ряду знімків у різні періоди

вегетації культур. Вважаємо перспективною розробку подібних моделей для інших супутників, які продукують зображення в SWIR та NIR діапазонах, близьких відповідно до 2080–2350 нм та 1550–1750 нм, що дозволить отримувати більше необхідних знімків.

Список використаних джерел

1. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. United Nations Framework Convention on Climate Change. IPCC, 2006. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/>.
2. Трофименко П.І., Іванік О.М., Трофименко Н.В. Методологія моніторингу CO₂ в системі «ґрунт – атмосфера – рослина» та добовий біологічний колообіг вуглецю ґрунтів агроландшафтів Полісся України *Таврійський науковий вісник Херсонського національного аграрного університету*. 2019. № 110. Ч 2. С. 232–243. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.30>
3. Оцінка деградації земель на основі глобальних та національних супутникових наборів даних у рамках програми ООН / Н. Кусуль, А. Колотій, А. Шелестов [та ін.]. // 9-й IEEE Інтер. конф. з інтелектуального збору даних та передових обчислювальних систем: технології та додатки (IDAACS). 2017. С. 383–386. <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2017.8095109>
4. Супутниковий моніторинг посівів в Україні / А.Ю. Шелестов, Б.Я. Яйлимов, Г.О. Яйлимова [та ін.]. *Космічна наука і техніка*. 2020. № 26. С. 27–37. <https://doi.org/10.15407/knit2022.02.030>
5. Дистанційна діагностика врожайності зернової соломки на основі сценаріїв площі ґрунту / П.І. Трофименко, В.І. Зацерковний, О.В. Зубова, Ф.І. Борисов. // XVII Міжнародна конференція з геоінформатики. Теоретичні та прикладні аспекти. Київ, 2018. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193445839>.
6. Методи визначення істотних змінних для оцінки стану поверхні Землі / Б.Я. Яйлимов, М.С. Лавренюк, А.Ю. Шелестов [та ін.]. *Космічна наука і техніка*. 2018. № 24(4). С. 24–37. <https://doi.org/10.15407/knit2018.04.026>.
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global Soil Partnership [Official site]. URL: <https://www.fao.org/global-soil-partnership/en/>.
8. Institute for Environmental IT Hamburg. Definition, goals, mythology and standards. URL: <https://www.ifu.com/en/product-carbon-footprint/>.
9. Космічний моніторинг балансу парникових газів з метою уточнення їхньої інвентаризації / В.І. Лялька, О.І. Сахацький, Ю.В. Костюченко [та ін.]. *Космічна наука і технологія*. 2012. Т. 18, № 2. С. 3–14. URL: www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/knit/2012-18/knit-2012-18-2
10. Трофименко П.І., Трофименко Н.В., Зобнів І.С. Білявський Ю.А. Геопросторова диференціація ґрунтового покриву та величина потенціалу асиміляції вуглекислого газу посівами озимої пшениці // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів, присвяченої 65-річчю Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавчих та агрохімічних досліджень імені О.Н. Соколовського». 2021. С. 124–126.
11. Applying the models of soil screening and organic carbon content in the soils of Ukrainian Polissia based on the vegetation indices / P.I. Trofymenko, I.A. Radion, V.V. Degtyarjov [et al.] // XIIIth International conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects». Kyiv, 2019. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193445839>.
12. Трофименко П.І., Трофименко Н.В., Зацерковний В.І., Борисов Ф.І. Моніторинг обсягів викидів ↔ засвоєння CO₂ в системі «ґрунт–атмосфера–рослина» // Матеріали XII Міжнародної наукової конференції «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану навколишнього середовища». Київ, 2018. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=5719344539>.
13. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру». Київ, 2012. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF#Text>.
14. Использование данных дистанционного зондирования для оценки продуктивности озимой пшеницы в условиях Житомирского Полесья / П.И. Трофименко, В.И. Зацерковный, Е.В. Зубова [и др.]. *Вестник Белорусской сельскохозяйственной академии*. 2018. № 2. С. 161–168.
15. Доспехов Б.А. Техника полевого эксперимента. Москва: Агропромиздат, 1985. 350 с.
16. Левин Ф.И. Количество растительных остатков в почвах под полевыми культурами и его определение по выходу основной продукции. *Агрохимия*. 1977. № 8. С. 36–43.
17. Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті. За ред. О.О. Бацули. Київ: Урожай, 1987. 128 с.
18. Чесняк Г.Я., Бацула О.О., Дерев'янко Р.Г. Параметри гумусного стану ґрунтів. // Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті. Київ: Урожай, 1987. С. 77–91.
19. Тейлер Дж. Введение в теорию ошибок / Л.Г. Деденко. Пер. Москва: Мир, 1985. 272 с.
20. Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин. Ленинград: Наука, 1985. 112 с.

UDC 528.88.042:528.852.5

Remote determination quantity of photosynthetic flow of organic carbon (Ph) in the agrocenosis of winter wheat depending on the variegated soil cover

P. Trofymenko¹, V. Zatserkovnyy¹, I. Zobniv¹, N. Trofimenko¹, O. Siabruk^{2*}, V. Zabaluyev³,

¹Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine

²National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky”, Kharkiv, Ukraine

³National University of life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*E-mail: syabryk86@gmail.com

The article presents the results of research on the relationship between soil differentiation and remote identification of the amount of photosynthetic runoff of organic carbon (Ph) in winter wheat crops. scientific work is devoted to the development of new and improvement of existing models of accumulation of biomass of agricultural crops, in order to form the structure of these models under different climatic conditions and on different types of soils. Models were developed during the research of carbon runoff values in the agrocenosis of winter wheat on sandy and light loam soils ($PhCO_{2LIG}$ and PhC_{LIG}), medium and heavy loam soils ($PhCO_{2HEAV}$ and PhC_{HEAV}) have been developed, and their accuracy has been assessed.

Experimental studies have established and confirmed territorial consistency of the values of organic carbon runoff $\text{PhCO}_{2\text{LIG}}$ on wheat crops with geomorphological features of the quality of sandy and loamy soils, in particular the particle size distribution, gleying of soil and gley soil, was revealed. It is established that 95.2 % of the value of the error of remote identification of Ph of winter wheat biomass is due to the values of grain yield, straw and root mass. Taking into account the peculiarities of diagnostic phases of photosynthetic runoff of organic carbon phases of organogenesis of winter wheat for remote identification, the recommended average annual time windows of the Sentinel 2A image order in terms of natural and climatic zones of Ukraine have been developed. Thus, it is proposed to develop similar models for other satellites that produce images in the SWIR and NIR bands close to 2080-2350 nm and 1550-1750 nm, respectively. This will provide more images needed to diagnose carbon runoff in winter wheat crops.

Keywords: remote identification; soil cover differentiation; winter wheat; photosynthetic carbon runoff; modeling; SWIR; NIR ranges.

Citing: Trofymenko, P., Zatserkovnyy, V., Zobniv, I., Trofimenko, N., Siabruk, O., & Zabaluyev, V. (2022). Remote determination quantity of photosynthetic flow of organic carbon (Ph) in the agrocenosis of winter wheat depending on the variegated soil cover. *AgroChemistry and Soil Science*, 93, 43-53. [doi:10.31073/acss93-05](https://doi.org/10.31073/acss93-05). [in Ukrainian].

УДК 631.81

Концептуальні положення сталого менеджменту добрив в Україні

А. В. Ревтьє-Уварова

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 28.07.2022 Отримано після доопрацювання 03.10.2022 Затверджено до видання 13.10.2022 Доступно онлайн 01.12.2022	У статті представлено результати аналізу основних національних і міжнародних документів, які є свідченням того, як глобальне погіршення якості і стану ґрунтових ресурсів каталізувало процес усвідомлення міжнародною спільнотою необхідності розроблення та впровадження механізмів збереження продуктивних та екологічних функцій ґрунтів агроценотів задля досягнення нейтрального рівня деградації земель. Одним із головних блоків сталого управління ґрунтовими ресурсами є сталий менеджмент добрив, використання яких суттєво підвищує продуктивність сільськогосподарських культур, впливає на якість ґрунту, але може мати певні екологічні ризики. Метою досліджень є визначення концептуальних підходів до сталого менеджменту добрив, які гармонізовані з вимогами міжнародного кодексу добрив та адаптовані до умов України. Дослідження проведено з використанням загальнонаукового, структурно-функціонального та абстрактно-логічного методів. Аналіз чинної вітчизняної бази нормативно-правових документів щодо управління ґрунтовими ресурсами та добривами свідчить про її удосконалення, в тому числі й через ратифікацію та імплементацію міжнародних регуляторних документів. У межах міжнародної інтеграції країни запропоновано концептуальний підхід до сталого менеджменту добрив в Україні, що спрямований на переорієнтацію вектору дій від «контролювання впливу» до «запобігання впливу», де об'єктом дії виступає ґрунт, предметом дії — добрива. Суб'єкти забезпечення сталого менеджменту добрив — владні органи, виробники добрив, у тому числі зі вторинної сировини, наукові установи Національної академії аграрних наук та Державна установа «Держґрунтохорона», вищі навчальні заклади агрономічних та екологічних спеціальностей, організації та об'єднання різних форм власності, діяльність яких стосується добрив, агрохімічні лабораторії та господарства різних форм власності. Сталий менеджмент добрив, гармонізований з міжнародними керівними документами, ґрунтується на таких принципах як об'єктивність, репрезентативність, регуляторність, науковість, системність, причинність, екологічність, еталонність та інформативність. За результатами аналізу запропоновано комплекс заходів із забезпечення сталого менеджменту добрив в Україні, який складається із взаємопов'язаних і взаємодоповнювальних блоків – нормативно-регуляторного, організаційного, інформаційного та технологічного (виробництва і застосування добрив), що мають низку відповідних завдань, які спрямовані на забезпечення збалансованого та нормованого застосування добрив у землеробстві країни, збереження продуктивної та екологічних функцій ґрунтів, запобігання розвитку деградаційних процесів задля досягнення їх нейтрального рівня, гарантування продовольчої стабільності та екологічної безпеки країни.

* E-mail: alina_rev@meta.ua

Форма цитування: Ревтьє-Уварова А.В. Концептуальні положення сталого менеджменту добрив в Україні. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. 2022. Вип. 93. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С.54-63. <https://doi.org/10.31073/acss93-06>

1. Вступ

Унікальність ґрунту обумовлена його поліфункціональністю. Підтримуючи якість навколишнього середовища на місцевому, регіональному та глобальному рівнях через виконання низки екологічних (біогеоценотичних) функцій, ґрунти забезпечують виробництво 95 % продовольства завдяки їх продуктивній функції [1]. Наразі саме стабілізація та підвищення якості ґрунтів є одним із глобальних викликів перед сучасним сільським господарством, особливо коли їх надмірно інтенсивне використання може викликати низку екологічних проблем, а збільшення обсягів валової продукції рослинництва вже не є можливим лише за рахунок уведення до складу ріллі нових площ.

Ключовою міжнародною угодою, яка спрямована на запобігання процесів деградації земель під впливом природних та антропогенних чинників, стала Конвенція Організації Об'єднаних Націй (ООН) про боротьбу з опустелюванням, яку ратифіковано в Україні в липні 2002 року [2]. На період до 2030 р. однією зі Стратегічних цілей сталого розвитку [3], зокрема для України, є досягнення нейтрального рівня деградації земель.

Одним із пріоритетних напрямів забезпечення сталого функціонування агроєкосистем є сталий менеджмент ґрунтових ресурсів, добровільні принципи якого затверджено на 155-й сесії (Рим, 5 грудня 2016 р.) Ради Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) [4].

Європейською комісією Європейського Союзу (ЄС) у травні 2021 року оприлюднено План дій щодо досягнення нульового забруднення повітря, води та ґрунтів [5] задля зведення до нуля шкоди від їх забруднення для здоров'я людей та екосистем. Для

реалізації цього завдання запропоновано Місію у сфері здоров'я ґрунту та продовольства (The Mission for Soil Health and Food) [6] та запущено нову Стратегію щодо ґрунтів ЄС (EU Soil Strategy) [7], що обумовлено незадовільним станом 60–70 % ґрунтів Європи, які є «нездоровими», через тривале нераціональне використання та управління, забруднення, урбанізацію та зміни клімату.

Однією із пріоритетних цілей, окреслених Європейською комісією, до 2030 року є забезпечення сталого управління ґрунтом шляхом зменшення щонайменше на 50 % втрат елементів живлення, що сприятиме скороченню використання добрив якнайменше на 20 % [5, 7]. При цьому, потрібно враховувати, що фактично у кожній системі землеробства, орієнтованій на підвищення продуктивності ріллі, передбачено застосування добрив як безальтернативний спосіб поліпшення живлення рослин шляхом усунення дефіциту елементів живлення в ґрунті.

За статистичними даними ФАО (FAOSTAT [8], рис.) у 2020 році в країнах ЄС на один гектар площі внесено в середньому 86 кг N, 23 кг P₂O₅ та 26 кг K₂O. Серед наведеного на рисунку переліку країн найбільше азотних добрив застосовується в Нідерландах та Люксембурзі (по 206 кг/га N), найменше – в Україні (51 кг/га N) та Румунії (50 кг/га N), тоді як у сусідніх Угорщині та Польщі 107 і 81 кг/га N відповідно. Найбільше фосфорних добрив на одиницю площі внесено в Хорватії (36 кг/га P₂O₅) та Туреччині (33 кг/га P₂O₅), в Україні — 13 кг/га P₂O₅ порівняно з 29 кг/га P₂O₅ у Польщі, 27 кг/га P₂O₅ в Угорщині та 20 кг/га P₂O₅ в Румунії. Більше 50 кг/га K₂O внесено в Норвегії та Бельгії, 10 і менше кг/га K₂O — в Україні, Чехії Румунії та Туреччині.

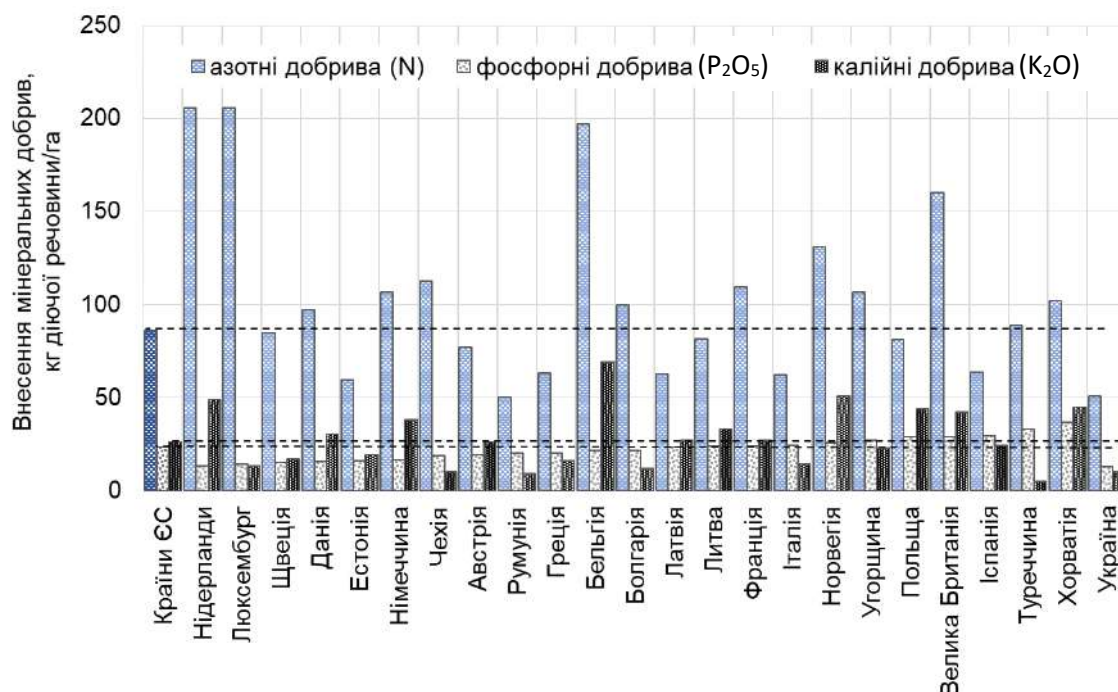


Рис. Внесення мінеральних добрив у різних країнах у 2020 році (за даними FAOSTAT [8])

В цілому, об'єми внесення мінеральних добрив в Україні, хоча й мають чітку тенденцію до щорічного збільшення (Табл.), проте знаходяться на найнижчому, серед країн ЄС, рівні, що зумовлено та підтверджується систематичним дефіцитним характером балансу азоту, фосфору та калію в ґрунтах країни [9]. Тому, задля уникнення шаблонного підходу до застосування добрив, що може призвести до суттєвого зниження рівня валового збору врожаю і, як наслідок, створити ризики для продовольчої безпеки, необхідно диференціювати та адаптувати загальні міжнародні підходи щодо менеджменту добрив відповідно до локального комплексу чинників (погодні, ґрунтові, агротехнічні тощо) конкретної країни [10].

У червні 2019 року ФАО схвалила остаточну редакцію Міжнародного кодексу поведінки в галузі стійкого використання та менеджменту добрив (The international Code of Conduct for the sustainable use and management of fertilizers) [11], який спрямований на мінімізацію негативного і максимізацію позитивного ефекту від застосування добрив задля реалізації принципів сталого управління ґрунтовими ресурсами. В цілому, цей документ представляє загальну основу і містить набір добровільних практик, спрямованих на допомогу різним зацікавленим сторонам, які прямо або опосередковано мають справу з добривами.

Таблиця

Структура внесених мінеральних добрив під посіви сільськогосподарських культур в Україні за період 2015–2020 років (за даними Державної служби статистики України [12])

Рік	Обсяг внесених мінеральних добрив (у діючій речовині)										NPK, кг/га посівної площі
	всього		азотні (N)		фосфорні (P)			калійні (K)			
	тис. т	тис. т	%	кг/га	тис. т	%	кг/га	тис. т	%	кг/га	
2015	1411,9	983,5	69,7	55,1	222,4	15,7	12,4	206,0	14,6	11,5	79
2016	1724,4	1195,0	69,3	66,5	286,1	16,6	15,9	243,3	14,1	13,0	96
2017	2023,8	1362,9	67,3	74,1	362,4	17,9	19,7	298,4	14,7	16,2	110
2018	2150,6*	1404,9	65,3	79,0	410,3	19,1	23,1	335,4	15,6	18,9	121
2019	2142,5*	1467,5	68,5	81,5	367,1	17,1	20,4	307,7	14,4	17,1	119
2020	2488,7*	1716,1	69,0	96,6	432,7	17,4	24,3	339,9	13,6	19,1	140
2021	2584,1*	1769,9	68,5	97,3	450,8	17,4	24,8	363,4	14,1	20,0	142

Примітка. *У тому числі з комплексними добривами

За реалізації практичних положень Кодексу добрив очікується, що кожна система удобрення буде адаптована до локальних ґрунтово-кліматичних та економіко-технологічних умов господарства з урахуванням комплексу природних та антропогенних факторів впливу на якість та стан ґрунтів і продуктивність сільськогосподарських культур. Тому, актуальним питанням є окреслення керівних підходів до належного менеджменту добрив, що враховують вимоги вищезазначеного Кодексу добрив та адаптовані до умов України.

Мета досліджень — окреслити концептуальні підходи до сталого управління добривами, що враховують вимоги міжнародних добровільних керівних документів, адаптовані до умов України, які спрямовані на досягнення нейтрального рівня розвитку деградаційних процесів та сталого менеджменту ґрунтів агроценозів.

2. Об'єкти та методи досліджень

Об'єктом досліджень є нормативно-правове регулювання та наукові підходи до менеджменту добрив як активної складової сталого управління ґрунтами, міжнародні підходи до сталого менеджменту добрив, що стосуються усіх зацікавлених сторін.

Теоретичні дослідження проведено з використанням загальнонаукового, структурно-функціонального та абстрактно-логічного методів, якими передбачено дослідницький пошук, аналіз та узагальнення актуальної вітчизняної нормативно-правової та наукової бази документів щодо використання ґрунтів та добрив у сільському господарстві і їх порівняння з вимогами Міжнародних добровільних керівних документів стосовно управління добривами [4, 11]. Абстрактно-логічний метод використано для формування пропозицій щодо визначення концептуальних положень сталого менеджменту добрив в Україні в межах міжнародних інтеграційних процесів.

3. Аналіз вітчизняної бази нормативно-правових документів щодо менеджменту ґрунтів та добрив

Історично за Україною закріпився статус аграрної країни, проте нормативно-правове регулювання раціонального управління ґрунтовими ресурсами потребує удосконалення, особливо в питанні охорони ґрунтів. Це стосується й раціонального застосування добрив, як чинника істотного впливу на якість і стан ґрунтів та невід'ємного елементу технологій вирощування сільськогосподарських культур.

В Україні головним нормативно-правовим документом, що визначає принципи земельних відносин є Земельний кодекс України (чинний від січня 2002 року) [13]. До зобов'язань землекористувачів входить підвищення родючості ґрунтів та збереження інших корисних властивостей землі. Положення щодо охорони земель регламентуються розділом VI Земельного кодексу, в якому наведено завдання, зміст і порядок охорони земель (Глава 26), використання техногенно забруднених земель (Глава 27) та консервація земель (Глава 28). Згадування про застосування добрив зустрічається лише раз у статті 61, де зазначено, що у прибережних захисних смугах уздовж річок, навколо водойм та на островах забороняється, в тому числі й зберігання та застосування пестицидів і добрив.

Державну політику в галузі охорони земель регулює Закон України «Про охорону земель» (2003) [14]. Цей документ визначає правові, економічні та соціальні основи охорони земель, які спрямовані на забезпечення їх раціонального використання, відтворення та підвищення родючості ґрунтів, інших корисних властивостей землі, збереження екологічних функцій ґрунтового покриву та охорони довкілля.

Система заходів у галузі охорони земель, окреслена Законом, включає:

- державну комплексну систему спостережень;
- розробку загальнодержавних і регіональних програм використання та охорони земель, документації із землеустрою в галузі охорони земель;
- створення екологічної мережі;
- здійснення природно-сільськогосподарського, еколого-економічного, протиерозійного та інших видів районування (зонування) земель;
- економічне стимулювання впровадження заходів щодо охорони та використання земель і підвищення родючості ґрунтів;
- нормування гранично допустимого забруднення ґрунтів, нормування якісного стану ґрунтів, нормування оптимального співвідношення земельних угідь, нормування показників деградації земель та ґрунтів.

Системою спостережень та діагностування змін якості ґрунтів, згідно з Законом України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» (2003) [15], передбачено проведення:

- моніторингу ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення, яке регулюється Положенням про моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення (2004) [16];
- агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення шляхом здійснення агрохімічного обстеження ґрунтів (обов'язкове суцільне обстеження сільськогосподарських угідь через кожні 5 років задля державного контролю зміни параметрів родючості і забруднення ґрунтів) [17].

У грудні 2021 року для громадського обговорення оприлюднено проєкт Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо охорони ґрунтів та відтворення їх родючості» [18]. Зокрема, пропозиції до внесення змін у Земельний Кодекс України [13], Закон України «Про охорону земель» [14], Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» [15] та Закон України «Про Державний земельний кадастр» [19].

Також, українська наукова ґрунтово-агрохімічна спільнота постійно лобіює інтереси удосконалення охорони ґрунтів та збереження їх родючості. Для цього розроблено проєкти законів «Про ґрунти та їх родючість» [20], «Про збереження ґрунтів та охорону їх родючості» [21], підготовлено Загальнодержавну програму використання та охорони земель і Національну програму охорони родючості ґрунтів [22]. Зокрема, в січні 2022 року Розпорядженням Кабінету міністрів України на період до 2032 року схвалено Концепцію Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель [23], яка спрямована на забезпечення сталого розвитку землекористування, створення екологічно безпечних умов проживання населення і провадження господарської діяльності, захисту земель від виснаження, деградації та забруднення, відтворення та підвищення родючості ґрунтів, збереження функцій ґрунтового покриву, збереження ландшафтного і біологічного різноманіття в умовах ринкового середовища та з урахуванням глобальної зміни клімату.

Питання добрив на законодавчому рівні регулюються Законом України «Про пестициди і агрохімікати» (1995) [24]. До переліку агрохімікатів включено органічні, мінеральні і бактеріальні добрива, хімічні меліоранти, регулятори росту рослин та інші речовини, що застосовуються для підвищення родючості ґрунтів і урожайності сільськогосподарських культур та поліпшення якості рослинницької продукції. Цим Законом передбачено положення, якими регламентовано державні випробування та державну реєстрацію пестицидів, агрохімікатів і технічних засобів їх застосування; вимоги до виробництва, транспортування, торгівлі, зберігання, застосування, утилізації, знищення та знешкодження пестицидів і агрохімікатів; реалізацію державної політики, здійснення державного нагляду і державного контролю дотримання законодавства; вимоги до безпечності сільськогосподарської сировини та відповідальність за порушення законодавства про пестициди й агрохімікати.

Окрім цього, в напрямі організації поводження з добривами чинним законодавством України передбачено вимоги щодо безпеки та здоров'я працівників та правила охорони праці на об'єктах з виробництва мінеральних добрив [25–27]. Також у попередні десятиліття на державному рівні регулювалися забезпечення підприємств хімічної промисловості сировиною для виробництва мінеральних добрив [28] та граничні рівні оптово-відпускних цін на мінеральні добрива вітчизняного виробництва [29].

Задля запобігання шкоди населенню країни та забруднення ґрунтів упроваджено нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК) небезпечних речовин у ґрунтах (2021) [30], до переліку яких включені ГДК для нітратів (за NO_3), фосфору (за P_2O_5) та хлориду калію. Проте наведені показники і їх значення викликають певний скептицизм, оскільки для об'єктивного оцінювання потрібно враховувати як безпосередній вплив речовини на навколишнє середовище (а вони не включені до класів небезпеки хімічних речовин, що надходять у ґрунти), так і строкатість ґрунтів країни як за генетичними властивостями, так і за корегованими параметрами ґрунтових показників, від чого залежить «чутливість» ґрунту до дії того чи іншого добрива.

Також на державному рівні для збирання інформації про обсяги використаних добрив та площ, на яких вони застосовуються, Державна служба статистики України щорічно проводить статистичні спостереження щодо використання добрив під урожай сільськогосподарських культур. Для цього кожне сільськогосподарське підприємство, яке займається виробництвом продукції рослинництва і має у власності та/або користуванні від 200 га сільськогосподарських угідь та більше, подає річний звіт про використання добрив і пестицидів за формою № 9-сг (річна) [12].

У рамках імплементації Директиви Ради 91/676/ЄЕС щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел [31], Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України затверджено Правила щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів (2021) [32]. Ці правила поширюються на товаровиробників, що займаються сільськогосподарською діяльністю в уразливих до (накопичення) нітратів зонах, визначених згідно з відповідною Методикою [33]. Правилами передбачено розмежування вимог до використання агрохімікатів щодо:

- періодів, під час яких внесення добрив у ґрунт є небажаним;
- внесення добрив на полях, розташованих на крутих схилах;
- внесення добрив у перезволожений, підтоплений, затоплений, замерзлий чи вкритий снігом ґрунт;
- умов внесення добрив у ґрунт поблизу водних об'єктів;
- правил зберігання гною у зонах, уразливих до накопичення нітратів;
- процедур застосування добрив, що мінімізують вимивання сполук нітрогену у водні об'єкти;
- управління використанням земель, включаючи сівозміни, їх оптимальне співвідношення та підтримання якості ґрунту;
- підтримання мінімального рослинного покриву впродовж дощових періодів;
- планування внесення добрив та ведення обліку їх застосування;
- застосування добрив на зрошуваних територіях.

Фактично це перший документ безпосереднього державного контролю щодо застосування добрив. Для інших територій суходолу комплекс заходів з розроблення системи удобрення має суто рекомендаційний характер. Розробляється переважно експертно для конкретного поля з урахуванням показників якості ґрунту, поточних погодних умов, біологічних особливостей культури та економіко-технічних особливостей господарства тощо.

Також, набуття Україною статусу кандидата на вступ у ЄС передбачає зобов'язання щодо переходу на технічні регламенти та стандарти ЄС. Зокрема, це Регламент ЄС № 2019/1009 від 5 червня 2019 р. [34], яким передбачено внесення змін до Регламентів ЄС № 1069/2009 і № 1107/2009 та скасування Регламенту (ЄС) № 2003/2003, що встановлює правила щодо розміщення на ринку добрив (удобрювальних продуктів) та визначає технічні вимоги щодо різних видів добрив, їх ідентифікації, маркування, пакування, оцінювання відповідності та контролю. Сфера застосування цього Регламенту охоплює органічні, органо-мінеральні та мінеральні (неорганічні) добрива, вапняні продукти, меліоранти ґрунту, субстрати, інгібітори, біостимулятори росту та розмноження рослин, суміші добрив, де визначено їх категоризацію за функціональним призначенням та за матеріальною складовою.

В цілому, застосування добрив, яке є невід'ємною складовою технології вирощування, поряд з функцією прямого впливу на рівень урожайності сільськогосподарських культур, є частиною комплексу заходів з управління ґрунтовими ресурсами. Зокрема раціональне використання добрив відповідає Стратегії національної безпеки України [35] та Національному плану дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням [36]. Відповідно орієнтація всіх зацікавлених суб'єктів на сталий менеджмент добрив є одним із чинників досягнення стабільного функціонування вітчизняного агропромислового комплексу та запобігання розвитку деградації земель країни.

4. Результати досліджень

4.1. Принципи та особливості сталого менеджменту добрив

Запропонованими концептуальними положеннями сталого менеджменту добрив в Україні передбачено окреслення комплексних цілеспрямованих дій щодо удосконалення поводження з добривами з урахуванням рекомендацій основних положень міжнародних керівних документів у цій галузі та зважаючи на чинні вітчизняні нормативно-правові документи, вимоги сучасного агросектору, погодно-кліматичні флуктуації та характеристики староорних ґрунтів.

Ключовим підходом до сталого менеджменту добрив є зміна вектору дій від «контролювання впливу» до «запобігання впливу», що орієнтовано на збалансування продуктивної та екологічних (біогеоценотичних) функцій ґрунтів шляхом забезпечення оптимальних заходів щодо управління добривами. У такому разі об'єктом дії виступає ґрунт, предметом дії – добрива.

Засади сталого менеджменту добрив, гармонізовані з міжнародними керівними документами, ґрунтуються на таких принципах:

Об'єктивність — виключення суб'єктивного підходу до узгодження вітчизняних нормативної бази і сільськогосподарської практики з положеннями у міжнародних керівних документах та усунення протиріч між ними;

Репрезентативність — придатність вимог щодо менеджменту добрив на території України для всіх зацікавлених суб'єктів;

Регуляторність — удосконалення вітчизняної нормативно-правової бази;

Науковість — упровадження наукових обґрунтованих підходів щодо поводження з добривами;

Системність — урахування впливу удобрення на ґрунт і рослини, що корегує їх кількісні і якісні показники та продуктивність;

Причинність — комплексне врахування дії, взаємодії та післядії в системі ґрунт–рослина–добриво;

Екологічність — орієнтація на мінімізацію екологічних ризиків застосування добрив задля забезпечення виконання ґрунтом його екосистемних послуг та продуктивної функції;

Еталонність — визначення найбільш доцільного алгоритму застосування добрив для конкретних ґрунтово-кліматичних та виробничих умов;

Інформативність — комплексне інформаційне забезпечення застосування добрив та їх впливу на якість ґрунтів.

В цілому, засадами сталого менеджменту добрив, як складової сталого розвитку аграрного сектору України, окреслено взаємоузгодження та збалансування соціальної, екологічної, економічної [37] та науково-технологічної складових, що спрямовані на реалізацію таких ключових завдань:

- Гарантування продовольчої та екологічної безпеки країни;
- Забезпечення раціонального використання ґрунтових ресурсів із стабілізацією якості орних ґрунтів задля досягнення нейтрального рівня деградації земель;
- Удосконалення технологічних аспектів вітчизняного виробництва добрив та агротехнологічних підходів їх застосування у землеробстві країни;
- Удосконалення інформаційного забезпечення щодо застосування добрив як у науковому, так і популяризаційному аспектах.

Серед існуючих підходів та теорій, що розкривають зміст дефініції «сталий розвиток», відносно сталого управління добривами використано антропоцентричний підхід, який передбачає збалансоване вирішення задач соціально-економічного розвитку на перспективу і збереження сприятливих умов навколишнього середовища та природно-ресурсного потенціалу задля задоволення життєвих потреб населення певної території [38]. При цьому добрива розглядаються як складовий елемент системи «ґрунт – рослина – добриво» (системний підхід), основними особливостями якої є [39]:

- цілісність — система є цілісною сукупністю складових елементів;
- емерджентність — поява якісно відмінних властивостей у системі, які не характерні для її складових елементів, що виникли за рахунок синергічних зв'язків між цими елементами;

– взаємозалежність між системою та зовнішнім середовищем — формування та прояв властивостей системи у взаємодії із зовнішніми природними чинниками та під дією антропогенного навантаження з одночасною орієнтацією системи на збереження стійкості та адаптація її функціонування до умов, що виникли;

– синергетичність — зв'язок між складовими елементами системи, де, у разі прийняття раціональних управлінських рішень, кожен окремий прийом, за оптимальних умов, підсилює позитивну дію інших прийомів і підвищує сукупний ефект;

– надійність — стійкість функціонування системи під дією зовнішніх чинників;

– рівень самостійності і відкритості системи — визначається кількістю зв'язків системи із зовнішнім середовищем у середньому на один її елемент, інтенсивністю обміну інформацією або ресурсами між системою та зовнішнім середовищем, ступенем впливу інших систем;

– детермінованість системи — взаємопов'язаність процесів у системі дає змогу відстежити ланцюг причин і наслідків;

– динамічність — зміна системи в часі під впливом внутрішніх і зовнішніх чинників;

– наявність прямих і зворотних зв'язків — всі складові елементи системи є взаємопов'язаними і зазнають впливу. Наведені властивості системи «ґрунт – рослина – добриво» враховані за окреслення концептуальних підходів щодо сталого менеджменту добривами.

В цілому, сталий менеджмент добривами ґрунтується на загальних, агрономічних, ґрунтово-агрохімічних та екологічних підходах та методах, які спрямовані на забезпечення збалансованого та нормованого застосування добрив у землеробстві країни, збереження продуктивної та екологічних функцій ґрунтів, запобігання розвитку деградаційних процесів задля досягнення їх нейтрального рівня, гарантування продовольчої стабільності та екологічної безпеки країни.

4.2. Складові концептуального підходу до сталого менеджменту добрив в Україні

Забезпечення сталого менеджменту добрив вимагає залучення всіх зацікавлених суб'єктів до реалізації комплексу взаємопов'язаних нормативно-регуляторних, організаційних, інформаційних та технологічних заходів.

Суб'єктами забезпечення сталого менеджменту добрив виступають владні органи, виробники добрив, зокрема зі вторинної сировини, наукові установи Національної академії аграрних наук та Державна установа «Держґрунтохорона», вищі навчальні заклади агрономічних та екологічних спеціальностей, організації та об'єднання різних форм власності, діяльність яких дотична добрив, агрохімічні лабораторії та користувачі добрив — господарства різних форм власності.

Концептуально комплекс заходів із забезпечення сталого менеджменту добрив в Україні складається з чотирьох елементів-блоків, що мають відповідні завдання:

(1) Нормативно-регуляторний блок:

– Удосконалення державного регулювання в галузі охорони ґрунтів та застосування добрив;

– Підтримка ґрунтоохоронної політики та стимулювання збереження і підвищення родючості ґрунтів задля досягнення нейтрального рівня деградації земель;

– Регламентування та заохочення до співпраці та взаємодії суб'єктів забезпечення сталого менеджменту добрив;

– Державне регулювання забезпеченості сільськогосподарських підприємств мінеральними добривами;

– Запобігання монопольному підвищенню цін на добрива шляхом регулювання граничного рівня оптово-відпускних цін на мінеральні добрива вітчизняного виробництва;

– Розроблення стратегічного плану заходів з розвитку ринку добрив на певний період;

– Удосконалення нормативно-методичного забезпечення агрохімічних досліджень, зокрема й у відповідності до міжнародних систем стандартизації;

(2) Організаційний блок:

– Створення обласних агрохімічних сервісних служб;

– Посилення ролі сільськогосподарських дорадчих служб України та розширення переліку експертів-дорадників з питань менеджменту добрив (згідно з Законом України «Про сільськогосподарську дорадчу діяльність» [40]);

– Створення незалежного органу контролювання якості ґрунтів на етапі купівлі-продажу земельних ділянок та їх подальшого використання;

– Фінансування ґрунтово-агрохімічних наукових досліджень, зокрема з залученням дистанційних методів та аналізів ґрунту in-situ з наступною популяризацією отриманих результатів та їх упровадженням у практику;

– Розроблення, удосконалення й дотримання науково-обґрунтованих рекомендацій щодо застосування добрив та, в цілому, технологій вирощування сільськогосподарських культур відповідно до сучасних виробничих та природних умов;

- Підвищення доступності аналітичних інструментів визначення якості й стану ґрунтів безпосереднім землекористувачам;

- Підготовка кваліфікованих кадрів на рівні вищої освіти шляхом відновлення факультетів агрохімії і ґрунтознавства та виокремлення спеціальності «Агрохімія і ґрунтознавство» у Переліку наукових спеціальностей за галузями знань;

- Досягнення партнерських відносин між усіма суб'єктами забезпечення сталого менеджменту добрив, перш за все в тріаді: виробник добрив – аграрна наука – агровиробник;

(3) Інформаційний блок:

- Удосконалення моніторингу стану ґрунтів сільськогосподарського призначення;

- Удосконалення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення;

- Активізація процесу збирання, акумуляції, обробки та поширення даних про стан орних ґрунтів, зокрема сприяння діяльності Українського ґрунтового інформаційного центру [41];

- Пропаганда й поширення в засобах масової інформації знань про використання добрив;

(4) Технологічний блок:

(4.1) Виробництво добрив:

- Удосконалення нормативного забезпечення виробництва добрив;

- Упровадження заходів державної підтримки та стимулювання розвитку вітчизняного виробництва мінеральних і органо-мінеральних добрив;

- Стимулювання та удосконалення (з науковим підґрунтям) виробництва добрив з повторно використаних або вторинно перероблених матеріалів (стічні води, осади стічних вод, міські відходи, компости, дигестат, біовугілля тощо);

- Жорсткість у дотриманні вимог безпеки під час виробництва добрив, особливо зі вторинної сировини;

- Імплементация Регламенту ЄС № 2019/1009 від 5 червня 2019 р. [34] щодо удобрювальних продуктів;

- Посилення відповідальності виробників за якість добрив;

(4.2) Застосування добрив:

- Впровадження технологічних прийомів застосування добрив, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних та виробничих умов з урахуванням підходів концепції 4-R [42];

- Уникнення як надлишкового, так і недостатнього застосування добрив із наслідками, що з цього витікають;

- Поновлення та удосконалення процедури виділення коштів державного бюджету для часткової компенсації вартості мінеральних добрив вітчизняного виробництва;

- Стимулювання агровиробників до дотримання науково обґрунтованих ресурсощадних ґрунтоохоронних підходів та впровадження інноваційних прийомів застосування добрив;

- Покладення відповідальності на споживача за використання добрив «сумнівного походження» та недотримання рекомендацій/регламентів виробника щодо застосування добрив/удобрювальних продуктів.

В цілому, впровадження вищенаведених заходів орієнтовано на забезпечення агрономічно ефективного та екологічно безпечного застосування добрив у країні.

5. Висновок

Висвітлено актуальний стан вітчизняної бази нормативно-правових документів щодо управління ґрунтовими ресурсами та добривами, яка удосконалюється, в тому числі й через ратифікацію та імплементацию низки міжнародних та європейських регуляторних документів. У межах міжнародних інтеграційних процесів та для реалізації загальнодержавних цілей запропоновано концептуальний підхід до сталого менеджменту добрив в Україні, що передбачає переорієнтацію вектору дій від «контролювання впливу» до «запобігання впливу».

Окреслено принципи та особливості сталого менеджменту добрив. Запропоновано для зацікавлених суб'єктів, діяльність яких прямо чи опосередковано стосується добрив, комплекс взаємопов'язаних і взаємодоповнювальних нормативно-регуляторних, організаційних, інформаційних та технологічних заходів, що передбачають низку завдань, спрямованих на мінімізацію негативного і максимізацію позитивного ефекту від застосування добрив задля збереження продуктивної й екологічних функцій ґрунтів та запобігання розвитку деградаційних процесів.

Список використаних джерел

1. FAO. Soils for nutrition: state of the art. Rome, 2022. URL: <https://doi.org/10.4060/cc0900en>
2. Конвенція Організації Об'єднаних Націй про боротьбу з опустелюванням у тих країнах, що потерпають від серйозної посухи та/або опустелювання, особливо в Африці. Конвенція ООН від 17.06.1994. Приєднання від 04.07.2002, підстава 61-IV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_120#Text.
3. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development : Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015 A/RES/70/1, United Nations, New York. URL: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E.
4. FAO. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management. Rome, 2017. URL: <https://www.fao.org/3/bl813e/bl813e.pdf>.
5. EU Action Plan: Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil. European Commission. Brussels, 2021. URL: https://ec.europa.eu/environment/pdf/zero-pollution-action-plan/communication_en.pdf.
6. EU Mission: A Soil Deal for Europe. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/soil-health-and-food_en.
7. EU launches new soil strategy for 2030. Interreg Europe. URL: <https://www.interregeurope.eu/news-and-events/news/eu-launches-new-soil-strategy-for-2030>.
8. Fertilizers indicators. FAOSTAT. The Food and Agriculture Organization. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/EF>
9. Оптимізація живлення рослин у системі факторів ефективної родючості ґрунтів / С. А. Балюк, Б. С. Носко, В. В. Шимель [та ін.]. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 3 (792). С. 12–19. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201903-02>.
10. The EU needs a nutrient directive / M. J. Wassen, J. Schrader, M. B. Eppinga [et al.]. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2022. Vol. 3, Issue 5. P. 287–288. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00295-8>.
11. FAO. The International Code of Conduct for the Sustainable Use and Management of Fertilizers. Rome, 2019. 56 p. URL: <http://www.fao.org/3/ca5253en/CA5253EN.pdf>.
12. Використання добрив і пестицидів під урожай сільськогосподарських культур : офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/metaopus/2020/2_03_07_04_2020.htm.
13. Земельний кодекс України. Кодекс України від 25.10.2001 № 2768-III, поточна редакція від 06.07.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.
14. Про охорону земель. Закон України від 19.06.2003 № 962-IV, поточна редакція від 10.07.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>.
15. Про державний контроль за використанням та охороною земель. Закон України від 19.06.2003 № 963-IV, поточна редакція від 26.05.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-15#Text>.
16. Положення про моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення. Наказ Міністерства аграрної політики України від 26.02.2004 № 51. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0383-04#Text>.
17. Про суцільну агрохімічну паспортизацію земель сільськогосподарського призначення. Указ Президента України від 02.12.1995 № 1118/95. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1118/95#Text>.
18. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо охорони ґрунтів та відтворення їх родючості. Проект Закону України від 21 грудня 2021. URL: <https://minagro.gov.ua/npa/pro-vnesennya-zmin-do-deyakih-zakonodavchih-aktiv-ukrayini-shchodo-ohoroni-gruntiv-ta-vidtvorennya-yih-rodyuchosti>.
19. Про Державний земельний кадастр. Закон України від 07.07.2011 № 3613-VI, поточна редакція від 10.07.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text>.
20. Про ґрунти та їх родючість. Проект Закону України від 18.01.2012 № 9731. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/JF7IB00A>.
21. Про збереження ґрунтів та охорону їх родючості. Проект Закону України від 18.09.2012 № 11234. URL: https://ips.ligazakon.net/document/f80200a?ed=2012_09_18.
22. Національна програма охорони ґрунтів України / за ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, М. М. Мірошниченка. Харків : ТОВ «Смугаста типографія», 2015. 59 с.
23. Концепція Загальнодержавної цільової програми використання та охорони земель : розпорядження Кабінету Міністрів України від 19.01.2022 № 70-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/70-2022-%D1%80#Text>.
24. Про пестициди і агрохімікати : Закон України від 02.03.1995 № 86/95-ВР, поточна редакція від 27.05.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/86/95-vr#Text>.
25. Про затвердження Правил охорони праці на об'єктах з виробництва основної неорганічної продукції та мінеральних добрив (крім азотної продукції). Наказ МНС України від 14.12.2012 № 1420. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0081-13#Text>.
26. Про затвердження Правил охорони праці на об'єктах з виробництва неорганічних азотних сполук та мінеральних добрив. Наказ МНС України від 12.12.2012 № 1414. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0059-13#Text>.
27. Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я працівників на роботі під час зберігання, пакування нітрату амонію та використання його для виготовлення комплексних і рідких мінеральних добрив. Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 15.04.2021 № 775-21. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0603-21#Text>.
28. Про заходи щодо забезпечення підприємств хімічної промисловості сировиною для виробництва мінеральних добрив. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.03.1997 № 159-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/159-97-%D1%80#Text>.
29. Про регулювання граничного рівня оптово-відпускних цін на мінеральні добрива вітчизняного виробництва, для часткової компенсації вартості яких виділяються кошти державного бюджету. Наказ Мінпромполітики від 20.01.2004 № 18. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0126-04#Text>.
30. Нормативи гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також перелік таких речовин. Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 р. № 1325. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-%D0%BF#Text>.

31. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Council of the European Union. Current consolidated version: 11/12/2008. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31991L0676>.
32. Про затвердження Правил щодо забезпечення родючості ґрунтів і застосування окремих агрохімікатів. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 24.11. 2021 № 382. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text>.
33. Про затвердження Методики визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 квітня 2021 року № 244. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0776-21#Text>.
34. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) № 1069/2009 and (EC) № 1107/2009 and repealing Regulation (EC) № 2003/2003. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>.
35. Стратегія національної безпеки України : Указ Президента України від 14.09.2020 № 392/2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text>.
36. Національний план дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.03.2016 № 271-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/271-2016-%D1%80#Text>.
37. Буканов Г.М. Концепція сталого розвитку як основа формування державної екологічної політики на державному та регіональному рівнях. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. Серія: Державне управління. 2020. Т. 31(70), № 3. С. 71–76. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-6468/2020.3/13>.
38. Зайцева Л.О. Складові концепції сталого розвитку. *Ефективна економіка*. 2019. № 11. 9 с. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.11.55>.
39. Воронинцева Л.І. Системний підхід до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 89. С. 4–50. <https://doi.org/10.31073/acss89-05>.
40. Про сільськогосподарську дорадчу діяльність. Закон України від 17.06.2004 № 1807-IV, поточна редакція від 09.12.2012. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1807-15#Text>.
41. Український ґрунтовий інформаційний центр (УГІЦ). Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». URL : <http://issar.com.ua/uk/ukrayinsky-gruntovyy-informatsiynyy-centr-ugic>
42. Бруулсема Т. Индустрия минеральных удобрений: соответствие концепции «4-х правил». *Вестник Международного института питания растений «Питание растений»*. 2013. № 2. С. 10–14. URL: [http://www.ipni.net/publication/pnt-eeca.nsf/0/7FEBB6A8ACA496F185257C4D004EBA13/\\$FILE/Bruulsema_antology.pdf](http://www.ipni.net/publication/pnt-eeca.nsf/0/7FEBB6A8ACA496F185257C4D004EBA13/$FILE/Bruulsema_antology.pdf)

UDK 631.81

The conceptual provisions for the sustainable fertilizers management in Ukraine

A.V. Revtie-Uvarova

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

The article presents the results of the analysis of the main national and international documents, which are evidence of how the global deterioration of the quality and state of soil resources catalyzed the process of awareness by the international community of the need to develop and implement mechanisms for preserving the productive and ecological functions of the soils of agrocenoses in order to achieve a neutral level of land degradation. One of the main blocks of sustainable management of soil resources is the sustainable management of fertilizers, the use of which significantly increases the productivity of agricultural crops, affects the quality of the soil, but may have certain environmental risks. The purpose of the research is to define conceptual approaches to sustainable fertilizer management that are harmonized with the requirements of the International Fertilizer Code and adapted to the conditions of Ukraine. The research was conducted using general scientific, structural-functional and abstract-logical methods. The analysis of the current national base of regulatory documents regarding the management of soil resources and fertilizers indicates its improvement, including through the ratification and implementation of international regulatory documents. Within the framework of the international integration of the country, a conceptual approach to the sustainable management of fertilizers in Ukraine is proposed, which is aimed at reorienting the vector of actions from "controlling the impact" to "preventing the impact", where the object of action is the soil, and the subject of action is fertilizers. Subjects of ensuring sustainable management of fertilizers - authorities, manufacturers of fertilizers, including from secondary raw materials, scientific institutions of the National Academy of Agrarian Sciences and the State Institution "Soil Protection Institute of Ukraine", higher educational institutions of agronomic and environmental specialties, organizations and associations of various forms of ownership, whose activities concern fertilizers, agrochemical laboratories and farms of various forms of ownership. Sustainable fertilizers management, harmonized with international guidelines, is based on such principles as objectivity, representativeness, regulation, scientificity, systematicity, causality, environmental friendliness, benchmarking and informativeness. Based on the results of the analysis, a set of measures to ensure the sustainable management of fertilizers in Ukraine is proposed, which consists of interconnected and complementary blocks – regulatory, organizational, informational and technological (fertilizer production and application), which have a number of relevant tasks aimed at ensuring a balanced and standardized application of fertilizers in the country's agriculture, preservation of productive and ecological functions of soils, prevention of the development of degradation processes in order to achieve their neutral level, guarantee of food stability and ecological security of the country.

Keywords: Fertilizer Code; international integration (harmonization); regulatory framework; sustainable agriculture; fertilizers management; soil quality

Citing: Revtie-Uvarova, A. V. (2022). The conceptual provisions for the sustainable fertilizers management in Ukraine. *AgroChemistry and Soil Science*, 93, 54-63. [doi:10.31073/acss93-06](https://doi.org/10.31073/acss93-06). [in Ukrainian].

УДК: 631.4:631.51.021:631.8:631.582:631.67

Баланс гумусу і поживний режим зрошуваного ґрунту за різних систем основного обробітку та удобрення**М. П. Малярчук, А. С. Малярчук*, А. В. Томницький**

Інститут зрошуваного землеробства НААН, Херсон, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 13.01.2022 Отримано після доопрацювання 01.10.2022 Затверджено до видання 13.10.2022 Доступно онлайн 01.12.2022	У статті представлено аналіз результатів експериментальних досліджень у стаціонарному польовому досліді щодо встановлення особливостей формування запасів гумусу і поживного режиму в орному шарі темно-каштанового ґрунту (Haplic Kastanozem) під впливом різних систем удобрення й основного обробітку. Мета досліджень: встановити закономірності перетворення побічної продукції сільськогосподарських культур сівозміни в гумус і основні елементи мінерального живлення рослин за органічної і двох органо-мінеральних систем удобрення на фоні п'яти систем основного обробітку у 4-пільній просапній сівозміні на зрошуваних землях в зоні дії Інгулецької зрошувальної системи. Дослідження проводили в стаціонарному досліді Інституту зрошуваного землеробства НААН у Херсонській області України протягом 2016-2020 років. Для аналізування ефективності сукупного застосування систем удобрення і основного обробітку ґрунту використано такі показники: маса післяжнивних решток для кожної з культур сівозміни; запаси гумусу в орному шарі; баланс гумусу; маса азоту, фосфору і калію, що надійшла до ґрунту з рослинними залишками; еколого-економічний ефект (грн/га); приріст енергії (ГДж/га). В результаті експериментальних досліджень виявлено, що формування запасів гумусу в ґрунті відбувається залежно від маси післяжнивних решток культур сівозміни та способів і глибини їх загортання. Найбільш сприятливі умови для накопичення листової маси сільськогосподарських культур сівозміни і формування додатного балансу гумусу з середнім річним приростом 2,02 т/га забезпечила органо-мінеральна система удобрення з використанням побічної продукції культур сівозміни та дози мінеральних добрив $N_{120}P_{60}$ на фоні диференційованого основного обробітку з одним щільуванням на глибину 38-40 см за ротацію.
Ключові слова: просапна сівозміна; основний обробіток ґрунту; удобрення; гумус; післяжнивні рештки	

* E-mail: baktroban@ukr.net

Форма цитування: Малярчук М.П., Малярчук А.С., Томницький А.В. Баланс гумусу і поживний режим зрошуваного ґрунту за різних систем основного обробітку та удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2022. Вип. 93. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 64-71. <https://doi.org/10.31073/acss93-07>

1. Вступ

Здатність ґрунту створювати необхідні умови для розвитку сільськогосподарських культур та формування високих урожаїв нерозривно пов'язана з запасами в ньому органічних речовин. Відомо, що гумус зумовлює сприятливий поживний, водно-повітряний, тепловий і біологічний режими, структурність ґрунтів, накопичення фізіологічно активних речовин [1, 2].

Протягом останніх десятиліть надходження органічної речовини в ґрунт відбувається в основному за рахунок післяжнивних решток сільськогосподарських культур, які є енергетичним матеріалом для мікробіологічних процесів, формування поживного режиму та накопичення гумусу. Адже кожна культура сівозміни, після внесення добрив, залишає в зрошуваному ґрунті певну кількість коріння, яке стає джерелом перегною — найважливішого показника родючості [3].

Як відзначив Г.А. Мазур [4], за останні роки, у зв'язку із занепадом тваринницької галузі, щороку було внесено менше 1 т/га органічних добрив, а втрати гумусу досягли таких масштабів, що для їх компенсації потрібно 132 т/га підстилкового гною без урахування поточних процесів мінералізації гумусу.

З однієї тони найбільш цінних на поживні речовини решток колосових культур у ґрунті залишається близько 5 кг азоту, 1–1,5 — фосфору, 8–10 — калію і 3–4 кг кальцію. Рештки ж зелених злакових культур містять стільки ж зольних елементів, але більше азоту (10-15 кг/т). Загалом це в 3–4 рази менше, ніж потрібно для нового урожаю. Найбільше збагачують ґрунт післяжнивні рештки бобових трав [5].

Багаторічні трави здатні залишати після себе 100 ц/га і більше сухої органічної маси у вигляді коріння та надземних післязбиральних решток. Тому з розширенням посівних площ цих культур і, особливо, люцерни баланс гумусу буде позитивним, а до різкого погіршення цього балансу призведе збільшення в структурі посівних площ частки чистого пару і просапних культур, в полях яких найбільш інтенсивно проходить мінералізація органічних речовин і гумусу зокрема, а рослинні рештки можуть бути відсутні зовсім, як у полі чистого пару, або ж у більшості випадків їх кількість може бути незначною [6].

Тривале (26 років) сільськогосподарське використання чорнозему типового без внесення добрив призвело до зниження вмісту гумусу в орному шарі ґрунту на 11 % порівняно з вихідним. Внесення в ґрунт лише мінеральних добрив супроводжувалося порушенням мінералізаційно-імобілізаційної рівноваги в бік переважання мінералізації і, в результаті, вміст органічної речовини зменшився на 7,5 % порівняно з контролем. Застосування гною за органічної та орґано-мінеральної систем удобрення сприяло підтриманню більш високого вмісту гумусу [7].

За даними Л.О. Шедей [8] у тривалому польовому досліді на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому внесенням мінеральних добрив сукупно з гном ВРХ за десятирічний період не забезпечено накопичення гумусу в орному шарі ґрунту. Мало того, спостерігалась тенденція до зниження його вмісту порівняно з вихідним на 0,07 %.

Результатами 27-річних спостережень за зміною гумусового стану у дерново-підзолистому супіщаному ґрунті в експериментальній 9-пільній сівозміні залежно від застосування різних способів основного обробітку ґрунту і систем удобрення доведено, що використання в системі удобрення побічної продукції зернових та післяжнивних культур на зелене добриво на фоні зменшеної вдвічі дози добрив порівняно із загальноприйнятими сприяє накопиченню в орному шарі органічної речовини і може бути резервом підтримання і відтворення родючості ґрунту [9].

Результати наших власних досліджень [10] свідчать, що часткова заміна в сівозміні мінеральних добрив на альтернативні джерела елементів живлення дозволяє створити ресурсощадну систему удобрення. Так, зменшення дози мінеральних добрив до 60 % від рекомендованої на фоні заорювання післяжнивних решток попередніх культур сівозміни (солома колосових культур, листостеблова маса кукурудзи, сої, соняшника) забезпечує порівняно високу продуктивність культур і віддачу від добрив.

За умов, що склалися, недостатньо дослідженим є вплив способів і глибини основного обробітку на спрямованість процесів перетворення, перерозподілу, мінералізації та гуміфікації свіжої органічної речовини за використання на добриво побічної продукції сільськогосподарських культур сівозміни.

Вплив зрошення на гумусовий стан ґрунтів характеризується вмістом і запасами гумусу в орному і 0–100 см шарі. Загальний баланс гумусу на поливних і незрошуваних землях, коливається, судячи з його запасів — від 100 тонн на темно-каштанових середньосуглинкових ґрунтах до 230 та 520 т/га на чорноземах південних і звичайних відповідно [11, 12].

У південному регіоні України сконцентровано 83 % її фонду зрошуваних земель, однак, протягом останніх років поливний потенціал використовується не повною мірою та менш ефективно [13].

В умовах потужного впливу зрошення на ґрунти виявились такі форми їх деградації, як дегуміфікація, декальцинація, переущільнення, зниження водопроникності та водомісткості, біогенності ґрунту та якості врожаю, зростання втрат вологи через посилення стоку і забруднення водних джерел шкідливими елементами та сполуками [14, 15].

Під час поливу мінералізованими водами у Степовій землеробській зоні України нерідко спостерігається збіднення ґрунтів на вуглекислий газ і обмінний кальцій, збільшення вмісту обмінного натрію та пептизація ґрунтових колоїдів, ущільнення, утворення грудкуватої структури [16].

Зрошувальна вода впливає на ґрунт змінюючи темпи й напрями хімічних і мікробіологічних процесів, а також умови розкладу органічних речовин [17].

За науковими висновками багатьох учених полив мінералізованими водами, що практикується на Інгулецькому зрошувальному масиві, негативно впливає на ґрунт, у зв'язку з чим його обробітку в зрошуваних умовах відводиться важлива роль у поліпшенні фізичного стану ґрунту та пов'язаних із ним властивостей [18].

Зрошення, з суттєвим збільшенням надходження води в географічний ландшафт, передусім у ґрунти, призводить до формування в них цілого ряду нових властивостей і зниження їх потенційної родючості [19, 20].

У зв'язку з вищевикладеним розробка нових та вдосконалення існуючих систем удобрення й основного обробітку ґрунту за використання на добриво післяжнивних решток сільськогосподарських культур сівозмін на зрошуваних землях є актуальним і потребує поглиблених експериментальних досліджень.

Мета досліджень — встановити закономірності перетворення післяжнивних решток сільськогосподарських культур сівозміни в гумус і основні елементи мінерального живлення рослин за органічної і орґано-мінеральних систем удобрення на фоні різних систем основного обробітку у 4-пільній просапній сівозміні на зрошуваних землях в зоні дії Інгулецької зрошувальної системи.

2. Об'єкти та методи досліджень

Дослідження проводили в стаціонарному досліді Інституту зрошуваного землеробства НААН у Херсонській області України протягом 2016-2020 років у 4-пільній просапній сівоzmіні на зрошенні в зоні дії Інгулецької зрошувальної системи.

Ґрунт експериментального поля — темно-каштановий середньосуглинковий; в орному шарі міститься гумусу 2,06 %, загальний вміст азоту — 20,0, рухомого фосфору 30,0, калію — 300,0 мг/кг ґрунту, найменша вологоємність — 21,2 %, вологість в'янення — 9,1 %, рівноважна щільність будови — 1,41 г/см³.

Для характеристики поживного режиму (вміст NPK) проби ґрунту відбирали 2 рази за вегетацію — під час появи сходів та перед збиранням врожаю. У пробах визначали вміст нітратів за Кравковим¹, вміст рухомих сполук фосфору й калію за Мачигінім², вміст гумусу — за методом Тюріна-Кононової³.

До складу 4-пільної сівоzmіні було включено: кукурудзу на зерно, пшеницю озиму, сорго зернове та сою. У польових дослідях висівали районовані для Степової зони сорти та гібриди сільськогосподарських культур, занесені до «Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні»⁴.

Технології вирощування сільськогосподарських культур у сівоzmіні загальноновизнані для зрошуваних умов, крім факторів, що досліджувалися. Режим зрошення забезпечував підтримання передполивного порогу зволоження під посівами усіх культур сівоzmіні на рівні 70 % НВ в шарі ґрунту 0–50 см.

У сівоzmіні досліджували п'ять систем основного обробітку ґрунту (Фактор А) з різними способами, прийомами і глибиною розпушування на фоні органічної і двох органо-мінеральних систем удобрення (Фактор В).

Фактор А — обробіток ґрунту:

1. Різноглибинний основний обробіток плугом ПЛН-5-35 з обертанням скиби на глибину від 14-16 до 25-27 см залежно від культури сівоzmіні — контроль;
2. Різноглибинний основний обробіток плугом ПЧ-2,5 без обертання скиби з чизельним розпушуванням ґрунту на глибину від 14-16 до 25-27 см залежно від культури сівоzmіні;
3. Одноглибинний неглибокий обробіток важкою дисковою бороною БДВП-4,2 без обертання скиби з розпушуванням на глибину 12-14 см під всі культури сівоzmіні;
4. Диференційований-1 обробіток ґрунту з неглибоким дисковим розпушуванням під кукурудзу на зерно і пшеницю озиму на глибину 8-10 см з використанням дискової легкої борони БДЛП-4, під сою — важкою дисковою бороною БДВП-4,2 на глибину 14-16 см, а під сорго зернове — комбінований обробіток з використанням диско-чизельної борони БДВП-3,0-0,1 з глибиною розпушування 12-14 + щільювання на 38-40 см;
5. Диференційований-2 обробіток ґрунту з оранкою плугом ПЛН-5-35 під кукурудзу на глибину 18-20 см, чизельним обробітком під сорго зернове плугом ПЧ-2,5 на глибину 16-18 см та неглибоким дисковим розпушуванням БДЛП-4 під пшеницю озиму (10-12 см) і БДВП-4,2 під сою (14-16 см).

Фактор В — система удобрення:

- Органічна — з використанням лише післяжнивних решток сільськогосподарських культур сівоzmіні (фон) — контроль;
- Органо-мінеральна — мінеральні добрива дозою N_{82,5}P₆₀ + післяжнивні рештки;
- Органо-мінеральна — мінеральні добрива дозою N₁₂₀P₆₀ + післяжнивні рештки.

Під час експерименту застосовували польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи з використанням загальноновизнаних в Україні методик та методичних рекомендацій [21].

Для аналізування ефективності сукупного застосування систем удобрення і основного обробітку використано такі показники: маса післяжнивних решток для кожної з культур сівоzmіні; запаси гумусу в орному шарі; баланс гумусу; маса азоту, фосфору і калію, що надійшла до ґрунту з рослинними залишками; еколого-економічний ефект (грн/га); приріст енергії (ГДж/га).

¹ ДСТУ 4729:2007 Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА імені О.Н. Соколовського.

² ДСТУ 4114-02 Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна.

³ ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. Київ. Держспоживстандарт України, 2005.

⁴ Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 р. Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільськогосподарства України. Київ. 2021. 521с.

Надходження маси післяжнивних решток — листо-стеблових та кореневих залишків визначали за рівнянням регресії від рівня врожаю основної продукції.

Зміни запасів гумусу розраховували залежно від якості і маси післяжнивних решток з використанням коефіцієнта їх гуміфікації та коефіцієнта мінералізації гумусу.

Розрахунок надходження основних елементів живлення в ґрунт, залежно від систем удобрення, проводили з урахуванням кількості поживних речовин, що надійшли з мінеральними добривами та післяжнивними рештками.

Вміст поживних речовин у післяжнивних рештках визначали аналітично.

Баланс гумусу розраховували за різницею між сумарними середньозваженими величинами маси гумусу, утвореного внаслідок гуміфікації післяжнивних решток (з використанням коефіцієнтів гуміфікації, та маси гумусу, мінералізованого під посівами культур сівозміни (за довідковими даними).

Еколого-економічну ефективність застосування органо-мінеральних систем удобрення сільськогосподарських культур, визначали як суму виробничих витрат — вартості добрив, витрат на їх внесення та збирання приросту врожаю, окремо по кожному варіанту дослідів а також вартості гумусу за результатами розрахунку балансу [22].

3. Результати досліджень

Органічні та органо-мінеральні системи удобрення з використанням на добриво післяжнивних решток сільськогосподарських культур у сучасних умовах стали основним джерелом надходження органічної речовини в ґрунт. Завдяки різним способам і глибинам основного обробітку ґрунту післяжнивні рештки потрапляють у різні частини орного шару, де формуються різні гідротермічні умови, що визначають характер та інтенсивність їх розкладання.

За результатами досліджень встановлено, що в середньому за один рік сівозміни надходження післяжнивних решток (листо-стеблових та кореневих) за органічної системи удобрення у розрахунку на 1 гектар сівозмінної площі у варіанті різноглибинної системи основного обробітку ґрунту з обертанням скиби (1-й варіант) становило 4,8 т, за різноглибинного обробітку без обертання скиби (2-й) — 4,5 т, одноглибинного мілкового дискового (3-й) — 3,9 т, диференційованого-1 та диференційованого-2 — 4,9 та 4,2 тонни відповідно.

За органо-мінеральної системи удобрення з внесенням мінеральних добрив дозою $N_{82,5}P_{60}$ в ґрунт в середньому за рік було зароблено від 7,4 до 8,6 тонни післяжнивних решток, а за органо-мінеральної системи удобрення з внесенням дози мінерального добрива $N_{120}P_{60}$ — від 7,5 до 9,7 т/га (Табл. 1).

Таблиця 1

Надходження післяжнивних решток с.-г культур у ґрунт за різних систем удобрення та обробітку у сівозміні на зрошенні, у середньому за 2016-2020 рр.

Варіант системи основного обробітку ґрунту	Маса післяжнивних решток, т/га за рік			
	кукурудза на зерно	пшениця озима	сорго зернове	соя
<i>Органічна система удобрення (післяжнивні рештки – фон) — контроль</i>				
1- 3 обертанням скиби, різноглибинна	5,2	5,7	5,2	2,9
2- Без обертання скиби, різноглибинна	4,8	5,6	4,6	2,8
3- Без обертання скиби, одноглибинна (12-14 см)	3,8	5,2	4,1	2,3
4- Диференційована-1	5,4	5,8	5,4	3,0
5- Диференційована-2	4,0	5,4	4,6	2,8
<i>Органо-мінеральна система удобрення ($N_{82,5}P_{60}$ + фон)</i>				
1- 3 обертанням скиби, різноглибинна	13,4	8,1	8,2	3,5
2- Без обертання скиби, різноглибинна	12,5	7,8	8,0	3,3
3- Без обертання скиби, одноглибинна (12-14 см)	11,9	7,6	6,8	3,1
4- Диференційована-1	13,7	8,4	8,7	3,6
5- Диференційована-2	10,7	7,8	7,8	3,1
<i>Органо-мінеральна система удобрення ($N_{120}P_{60}$ + фон)</i>				
1- 3 обертанням скиби, різноглибинна	16,2	9,0	8,5	3,9
2- Без обертання скиби, різноглибинна	14,9	8,6	8,3	3,7
3- Без обертання скиби, одноглибинна (12-14 см)	11,6	8,1	6,9	3,3
4- Диференційована-1	16,7	9,2	9,0	3,7
5- Диференційована-2	12,3	7,9	8,1	3,4

Проведення розрахунків утворення в ґрунті гумусу від загорнених післяжнивних решток за різних систем основного обробітку та удобрення свідчить, що на фоні органічної системи удобрення формується від'ємний баланс гумусу, при цьому найбільший дефіцит

було виявлено за одноглибинного мілкого (12-14 см) без обертання скиби — 0,37 т/га, а найменший — 0,14 т/га за диференційованого-1 (Табл. 2.).

Таблиця 2

Розрахунковий баланс гумусу за різних систем удобрення та основного обробітку ґрунту в сівозміні, середні дані за 2016-2020 рр. в шарі 0-40 см

Складові балансу	Варіанти системи основного обробітку ґрунту				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
	з обертанням скиби, різноглибинна (контроль)	без обертання скиби, різноглибинна	без обертання скиби, одноглибинна (12-14 см)	диференційована-1	диференційована-2
<i>Органічна система удобрення (післяжнивні рештки – фон) – контроль</i>					
Маса решток, т/га	4,80	4,50	3,90	4,90	4,20
Приріст запасів гумусу, т/га	1,00	0,94	0,81	1,02	0,88
Мінералізація гумусу, т/га	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Баланс гумусу, т/га	-0,18	-0,24	-0,37	-0,16	-0,30
<i>Органо-мінеральна система удобрення (N_{82,5}P₆₀ + фон)</i>					
Маса решток, т/га	8,30	7,90	7,40	8,60	7,40
Приріст запасів гумусу, т/га	1,73	1,65	1,54	1,79	1,54
Мінералізація гумусу, т/га	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Баланс гумусу, т/га	+0,55	+0,47	+0,36	+0,61	+0,36
<i>Органо-мінеральна система удобрення (N₁₂₀ P₆₀ + фон)</i>					
Маса решток, т/га	9,40	8,90	7,50	9,70	7,90
Приріст запасів гумусу, т/га	1,96	1,85	1,56	2,02	1,65
Мінералізація гумусу, т/га	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Баланс гумусу, т/га	+0,78	+0,67	+0,38	+0,84	+0,47

За органо-мінеральної системи удобрення з внесенням N_{82,5}P₆₀ відзначається приріст запасів гумусу порівняно з контролем (варіант 1); найбільший — у варіанті диференційованої-1 системи обробітку — на 10,9 %. За різноглибинного обробітку без обертання скиби приріст був нижчим (порівняно з контролем) на 14,5 %, а за систем одноглибинного мілкого та диференційованої-2 — на 34,5 %.

Підвищення дози мінерального добрива до N₁₂₀P₆₀ на фоні післяжнивних решток забезпечило подальше зростання приросту запасів гумусу; водночас зберіглась закономірність, що спостерігалась за дози мінерального добрива N_{82,5}P₆₀. Необхідно відзначити, що за підвищеного рівня мінерального живлення у варіантах різноглибинного, як з обертанням скиби, так і без, та диференційованого-1 обробітку середньорічний приріст запасів гумусу підвищився відповідно на 13,2; 12,0; 12,3 %, а за диференційованої-2 і одноглибинної систем обробітку — лише на 7,1 та 1,2 % відповідно.

Виходячи з маси післяжнивних залишків розраховували надходження азоту, фосфору та калію в ґрунт з кореневими і листостебловими рештками, що є компенсацією виносу елементів мінерального живлення з урожаєм сільськогосподарських культур. Так, за органічної системи удобрення у варіанті 4 диференційованого-1 обробітку з одним щільуванням на 38-40 см за ротацію сівозміни відзначається зростання надходження елементів мінерального живлення порівняно із системою різноглибинного основного обробітку ґрунту з обертанням скиби (контроль) по N і K₂O на 3,4 %, а по P₂O₅ на 3,7% (Табл. 3).

Подібна закономірність, але з більш високими значеннями, є помітною і за органо-мінеральних систем удобрення.

За органо-мінеральної системи удобрення з внесенням дози мінеральних добрив N_{82,5}P₆₀ з післяжнивними рештками в ґрунт надійшло азоту, фосфору та калію на 68-80 % більше ніж за органічної.

Надходження азоту, фосфору та калію в ґрунт за органо-мінеральної системи удобрення з внесенням дози мінеральних добрив N₁₂₀P₆₀ було найвищим за диференційованого-1 обробітку ґрунту і зросло, порівняно з різноглибинною оранкою, на 6,0-11,1 %.

Лише у варіанті одноглибинної неглибокої без обертання скиби системи обробітку за тривалого її застосування в сівозміні за органічної й органо-мінеральних систем удобрення відзначено суттєве зниження надходження всіх елементів мінерального живлення порівняно з системою різноглибинного обробітку з обертанням скиби (Табл. 3)

Таблиця 3

Надходження в ґрунт поживних речовин з післяжнивними рештками сільськогосподарських культур сівозміни за різних систем удобрення та основного обробітку ґрунту

Варіанти системи основного обробітку ґрунту	Маса поживних речовин у післяжнивних рештках, кг/га за рік		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Органічна система удобрення (післяжнивні рештки — фон) — контроль</i>			
1- 3 обертанням скиби, різноглибинна	21,7	10,9	26,1
2- Без обертання скиби, різноглибинна	20,3	10,2	24,4
3- Без обертання скиби, одноглибинна (12-14 см)	17,6	8,8	21,1
4- Диференційована-1	22,5	11,3	27,0
5- Диференційована-2	19,3	9,6	23,1
<i>Органо-мінеральна система удобрення (N_{82,5}P₆₀ + фон)</i>			
1- 3 обертанням скиби, різноглибинна	38,7	19,4	46,4
2- Без обертання скиби, різноглибинна	37,1	18,6	44,5
3- Без обертання скиби, одноглибинна (12-14 см)	29,5	14,8	35,4
4- Диференційована-1	41,2	20,8	49,5
5- Диференційована-2	36,0	18,0	43,2
<i>Органо-мінеральна система удобрення (N₁₂₀ P₆₀ + фон)</i>			
1- 3 обертанням скиби, різноглибинна	43,4	21,7	52,1
2- Без обертання скиби, різноглибинна	41,8	20,9	50,1
3- Без обертання скиби, одноглибинна (12-14 см)	33,0	16,5	39,2
4- Диференційована-1	46,1	24,1	55,2
5- Диференційована-2	41,3	20,7	49,6

В цілому внесення мінеральних добрив і використання на добриво післяжнивних (листочеслових і кореневих) решток сприяло створенню різних рівнів вмісту доступних форм елементів мінерального живлення на початку відновлення весняної вегетації озимих та появи сходів ярих зернових і технічних культур.

З метою оцінювання еколого-економічної ефективності (ЕЕЕ) застосування систем основного обробітку ґрунту проведено оцінювання в енергетичному та грошовому еквівалентах не тільки складових елементів технологій вирощування сільськогосподарських культур і матеріально-технічних засобів для їх виконання, а й приросту урожаю та гумусу. Розрахунок зроблено на варіанті органо-мінеральної системи удобрення з дозами мінеральних добрив N₁₂₀ P₆₀.

Виявлено, що за рахунок зростання врожайності сільськогосподарських культур і підвищення запасів гумусу у шарі ґрунту 0-40 см приріст енергії, порівняно з системою різноглибинного основного обробітку з обертанням скиби (що було використано як контрольний варіант), забезпечила лише диференційована-1 система основного обробітку, за якої одне щілювання за ротацію сівозміни чергувалося з мілким розпушуванням без обертання скиби під зернові колосові та сою. Приріст енергії у цьому варіанті за рахунок урожайності та гумусу був вищим ніж на контролі на 8,9 % (Табл. 4).

Системи різноглибинного й одноглибинного основного обробітку без обертання скиби навпаки призвели до зменшення приросту енергії, порівняно з контролем, передусім за рахунок недобору врожаю, а у варіанті тривалого застосування мілкого одноглибинного безвідвального розпушування ще й за рахунок більш низьких темпів накопичення гумусу. Зниження середньорічного приросту енергії за рахунок врожаю та гумусу склало відповідно 7,8 та 37,8 %. Система диференційованого-2 основного обробітку з однією оранкою за ротацію сівозміни також призвела до зниження приросту енергії за рахунок врожаю і гумусу.

В результаті розрахунків встановлено, що найвищий сумарний еколого-економічний ефект забезпечила диференційована-1 система основного обробітку з одним щілюванням на глибину 38-40 см один раз за ротацію та органо-мінеральна система удобрення з внесенням N₁₂₀P₆₀ і використанням на добриво післяжнивних решток, що вище ніж на контролі на 8,9 %. У варіанті одноглибинного мілкого (12-14 см) обробітку без обертання скиби зниження сумарного еколого-економічного ефекту досягло 37,8 %, а за різноглибинного без обертання скиби та диференційованого-2 — 7,8 та 7,4 % (Табл. 4).

Оцінка приросту врожаю і запасів гумусу в грошовому еквіваленті дала можливість визначити, що найвищий сумарний еколого-економічний ефект забезпечує диференційована-1 система основного обробітку на фоні органо-мінеральної системи удобрення з використанням післяжнивних решток культур сівозміни та внесенням дози мінеральних добрив N₁₂₀P₆₀.

Таблиця 4

Еколого-економічна ефективність функціонування 4-пільної просапної сівозміни на зрошенні за різних систем основного обробітку темно-каштанового ґрунту, доза добрив $N_{120}P_{60}$.

Система основного обробітку ґрунту	Приріст енергії, ГДж/га			EEE, грн/га	
	всього	у тому числі за рахунок:	сумарний	середньорічний	± до контролю
1- 3 обертанням скиби, різноглибинна	132,0	120,6	11,4	63650,4	-
2- Без обертання скиби, різноглибинна	121,7	111,9	9,8	58683,7	-4966,7
3- Без обертання скиби, одноглибинна (12-14 см)	82,1	77,4	4,7	39588,6	- 24061,8
4- Диференційована-1	143,8	130,7	13,1	69340,4	+ 5690,0
5- Диференційована-2	122,3	112,3	10,0	58973,1	- 4677,3

Примітка. EEE – еколого-економічний ефект

4. Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільш сприятливі умови для накопичення листостеблової маси сільськогосподарських культур сівозміни, формування позитивного балансу гумусу з середнім річним приростом 2,02 т/га забезпечила органо-мінеральна система удобрення з використанням післяжнивних решток культур сівозміни та дози мінеральних добрив $N_{120}P_{60}$ на фоні диференційованого основного обробітку з одним за ротацію щілюванням на глибину 38-40 см.

Список використаних джерел

1. Стратегія збалансованого використання, відтворення і управління ґрунтовими ресурсами України / за наук. ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва. Київ: Аграр. наука, 2012. 240 с.
2. Slepetiene A., Slepetyt J. Status of humus in soil under various long-term tillage systems. *Geoderma*. 2005. 127 (3-4). P. 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.001>
3. Heitkamp F., Raupp J., Ludwig B. Soil organic matter pools and crop yields as affected by the rate of farmyard manure and use of biodynamic preparations in a sandy soil. *Organic Agriculture*. 2011. № 1. P. 111–124.
4. Мазур Г.А. Продуктивність агроценозу як функція рівня відтворення родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2013. №7. С. 11–15
5. Канівець В.І. *Життя ґрунту*. Київ: Аграрна наука, 2001. 131 с.
6. Єщенко В.О., Опришко В.П., Усик С.В., Біологічне землеробство: сутність і умови його ефективного застосування. *Вісник уманського національного університету садівництва*. 2012. №1-2. С. 21-27
7. Скрильник Є.В., Кутова А.М., Гетманенко В.А., Артем'єва К.С., Ніконенко В.М. Вплив систем удобрення на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. Вип. 88. С. 74-78. <https://doi.org/10.31073/acss88-10>.
8. Шедей Л.О. Вплив добрив на гумусовий стан і азотний фонд чорнозему опідзоленого та продуктивність сівозміни за традиційного та ресурсозбережувального землеробства: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Харків, 2005. 22 с.
9. Кочик Г.М. Гумусовий стан дерново-підзолистого супіщаного ґрунту за тривалого застосування різних систем обробітку ґрунту і удобрення. *Агропромислове виробництво Полісся*. 2011. № 4. С. 20–25
10. Influence of basic tillage systems and fertilization on productivity and economic efficiency of irrigated crop rotation / M. Maliarchuk, A. Maliarchuk, A. Tomnyskyi [et al.]. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2021. Vol. 21(4). P. 345–353.
11. Сайко В.Ф. Проблеми і шляхи нагромадження та використання біологічного азоту в сучасному землеробстві України. *Зб. наук. праць ННЦ «ІЗ УААН»*. 2006. Спецвипуск. С. 8–13.
12. Хруслева Т.Н., Срибный И.К., Андрусенко И.И. *Защита орошаемых земель от засоления, подтопления и засоления*. Киев: Урожай, 1991. 208 с.
13. Вожегова Р.А., Сташук В.А., Заришняк А.С. Системи землеробства на зрошуваних землях. Київ: Аграрна наука, 2014. 359 с.
14. Tweeten L., Thompson S. *Agricultural policy for the 21st century*. Iowa State Press. 2002. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9780470390375> (дата звернення: 04.09.2021).
15. Павліченко А.А., Бондаренко О.М., Вахнів С.П. Вплив систем обробітку ґрунту та рівнів удобрення на його біологічну активність під озимою пшеницею. *Агробіологія*. 2014. № 2. С. 131–134.
16. Тарарко Ю.О. *Енергозберігаючі агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України. Рекомендації на прикладі Степу і Лісостепу*. Київ: ДІА, 2011. 576 с.
17. Марковська О.Є. Вплив способів обробітку на показники родючості темно-каштанового ґрунту і урожай сільськогосподарських культур. *Зрошуване землеробство*. 2010. Вип. 54. С. 230–235.
18. Effect of tillage systems on soil properties, humus and water conservation / T. Rusu, I. Pacurar, M. Dirja [et al.]. *Agricultural Sciences*. 2013. Vol. 4. N 5B. P. 35–40. <https://doi.org/10.4236/as.2013.45B007>.
19. Марковська О.Є., Біляєва І.М., Малярчук А.С., Малярчук В.М. Вплив систем основного обробітку ґрунту та удобрення на продуктивність сільськогосподарських культур в сівозміні на зрошенні півдня України. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 66. С. 71–74.

20. Мацко П.В., Мелашич А.В., Сафонова О.П. Агроекологічний стан темно-каштанових вторинно осолонцюваних ґрунтів за різних антропогенних навантажень. *Таврійський науковий вісник*. 2002. Вип. 21. С.19–23.

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

22. Методичні рекомендації «Еколого-економічна оцінка застосування добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур» / І.Д. Філіп'єв, В.В. Гамаюнова, О.М. Димов [та ін.]. Херсон: Колос, 2001. 24 с.

UDC: 631.4:631.51.021:631.8:631.582:631.67

Humus balance and nutrient regime of irrigated soil under different systems of primary soil tillage and fertilization

M. P. Maliarchuk, A. S. Maliarchuk, A. V. Tomnitskiy

Institute of irrigated agriculture of NAAS, Kherson, Ukraine

E mail: baktroban@ukr.net

The article presents an analysis of the results of experimental research in a stationary field experiment to determine the peculiarities of the formation of humus reserves and the nutrient regime in the arable layer of the dark chestnut soil (Haplic Kastanozem) under the influence of different fertilization and main cultivation systems. The purpose of the research: to establish the patterns of transformation of by-products of agricultural crops of crop rotation into humus and the main elements of mineral nutrition of plants under organic and two organo-mineral fertilization systems against the background of five systems of main cultivation in a 4-field row crop rotation on irrigated lands in the area of operation of the Ingulets irrigation plant systems.

The research was conducted in the stationary experiment of the Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Sciences in the Kherson region of Ukraine during 2016-2020. The following indicators were used to analyze the effectiveness of the combined application of fertilization systems and the main tillage: mass of post-harvest residues for each of the crop rotations; stocks of humus in the arable layer; humus balance; the mass of nitrogen, phosphorus and potassium that reached the soil with plant residues; ecological and economic effect (UAH/ha); energy gain (GJ/ha).

Because of experimental studies, it was found that the formation of humus reserves in the soil depends on the mass of post-harvest residues of crop rotation and the methods and depth of their wrapping. The most favorable conditions for the accumulation of leaf-stem mass of crop rotation crops and the formation of a positive balance of humus with an average annual increase of 2.02 t/ha were provided by the organo-mineral fertilization system using the by-products of crop rotation crops and a dose of mineral fertilizers $N_{120}P_{60}$ against the background of differentiated main cultivation with one slotting to a depth of 38-40 cm per rotation.

Keywords: row crop rotation, primary soil tillage, fertilizers, humus, post-harvest residues

Citing: Maliarchuk M. P., Maliarchuk A. S., Tomnitskiy A. V. (2022). Humus balance and nutrient regime of irrigated soil under different systems of primary soil tillage and fertilization *AgroChemistry and Soil Science*. 93, 64-71. [doi:10.31073/acss93-07](https://doi.org/10.31073/acss93-07) [in Ukrainian].