

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-09>

УДК (UDC): 504.062.2+631.4

А. Н. НЕКОС, д-р географ. наук, проф.,
завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти
e-mail: alnekos999@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

О. І. ХРІПКО,
старший викладач кафедри фундаментальної та прикладної геології
e-mail: elenahripko@karazin.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8303-7105>
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

О. О. БОЛОТОВА, PhD (Економіка), доц.,
адміністратор навчання та викладання
e-mail: Olena.Bolotova@glasgow.ac.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4354-4748>
Університет Глазго,
Глазго, G12 8QQ, Шотландія (Велика Британія)

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ҐРУНТІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ**

Для сталого функціонування агроєкосистем та стійкого забезпечення населення продовольством актуальним є завдання забезпечення екологічної безпеки ґрунтів в умовах використання інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Мета. Визначити вплив інтенсивного вирощування олійних культур на агрохімічні показники та екологічні показники чорноземних ґрунтів в умовах лісостепової зони України

Методи. Польові, лабораторно-аналітичні, метод атомно-абсорбційної спектrophотометрії, статистичний.

Результати. Визначено вплив інтенсивного вирощування олійних культур на сезонну динаміку вмісту біогенних елементів (N, P, K) у чорноземних ґрунтах (на прикладі чорноземів типових). Встановлено суттєве зниження вмісту рухомих форм азоту, фосфору та калію в чорноземах типових за інтенсивного вирощування олійних культур (сояшнику та озимого ріпаку) порівняно з озимою пшеницею. Відзначено, що за більшого рівня природного зволоження інтенсивність виносу біогенних елементів зростає як для олійних культур, так і для озимої пшениці. Встановлено суттєве збільшення концентрацій рухомих форм Zn, Pb, Cu та Cd в чорноземних ґрунтах при вирощуванні олійних культур у порівнянні з їх фоновими концентраціями під природними луками та пасовищами. При насиченні сівозміни озимим ріпаком в ґрунті більше накопичуються Cd та Cu, при переважанні сояшнику – Pb та Zn. В умовах більшого зволоження концентрації рухомих форм всіх досліджуваних металів у ґрунті збільшуються. Наближення середніх за період спостереження концентрацій Cd до нормативного значення свідчить про можливу небезпеку накопичення та забруднення ґрунтів польових сівозмін цим металом.

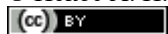
Висновки. Вирощування олійних культур з використанням інтенсивних технологій створює загрозу погіршення стану ґрунтів з двох аспектів: зменшення біогенних елементів в ґрунті та підвищення ризику забруднення ґрунтів важкими металами, особливо Cd.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: екологічна безпека, чорноземний ґрунт, біогенний елемент, важкий метал, агрохімічний показник, інтенсивна технологія, сільськогосподарське землекористування, сояшник, ріпак

Як цитувати: Некос А. Н., Хріпко О. І., Болотова О. О. Екологічна безпека ґрунтів в умовах інтенсивного сільськогосподарського землекористування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 137-146. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-09>

In cites: Nekos, A. N., Khripko, O. I., & Bolotova, O. O. (2024). Environmental safety of soils in conditions of intensive agricultural land use. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (42), 137-146. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-09> (In Ukrainian)

© Некос А. Н., Хріпко О. І., Болотова О. О. 2024



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Вступ

Рослинництво є провідною галуззю сільського господарства України, на яку припадає близько 72 % сільськогосподарської продукції [1]. Впровадження ринкових відносин у сфері сільськогосподарського землекористування сприяло підвищенню продуктивності виробничих процесів, в тому числі за рахунок застосування інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Ці технології передбачають внесення високих доз мінеральних добрив та хімічних засобів захисту рослин для забезпечення високих показників врожайності.

Законом України «Про охорону земель» зазначено, що одним з основних принципів державної політики у сфері охорони земель є «пріоритет вимог екологічної безпеки у використанні землі як просторового базису, природного ресурсу і основного засобу виробництва» [2]. Цей принцип впроваджує у національне законодавство одну з Цілей сталого розвитку, які були прийняті Організацією Об'єднаних Націй у 2015 році як універсальний заклик до дій щодо подолання бідності, захисту планети та забезпечення миру та процвітання для всіх людей до 2030 року: ціль 12 «Відповідальне споживання та виробництво» [3]. Змістом цієї цілі є досягнення економічного зростання та сталого розвитку при одночасному зменшенні екологічних наслідків діяльності. Вивчення впливу виробничих технологій на продуктивність сільського господарства, продовольчу безпеку та екологічну стійкість, а також встановлення балансу між цими складовими вбачається важливим. Прикладом такого напрямку досліджень може бути робота [4].

Є велика кількість досліджень впливу інтенсивних технологій використання сільськогосподарських земель на різні властивості ґрунтів, виконаних в різних країнах. Ці дослідження присвячені, наприклад, проблемам вивчення фізико-хімічних та агрохімічних властивостей ґрунтів сільськогосподарського використання, в тому числі, в порівнянні з властивостями ґрунтів інших типів землекористування [5, 6, 7], балансу біогенних елементів в ґрунті при вирощуванні різних видів сільськогосподарських культур [8, 9, 10, 11],

проблемі забруднення ґрунтів та сільськогосподарської продукції важкими металами [9, 12, 13], міграції важких металів з ґрунту до сільськогосподарських культур [14, 15, 16, 17], впливу підвищених концентрацій важких металів в ґрунті на врожайність культур, якість рослинної та тваринної продукції та здоров'я людини [18, 19].

Екологічну безпеку ґрунтів будемо розглядати в двох аспектах: по-перше – збереження балансу біогенних елементів як основи стійкої продуктивності сільськогосподарських земель та сталого функціонування ґрунтової екосистеми, по друге – забруднення ґрунтів важкими металами, токсична дія яких впливає як на врожайність культур, так і на безпечність вирощеної сільськогосподарської продукції.

Отримання більшої кількості біопродукції з одиниці площі та вилучення з врожаєм значної кількості хімічних елементів вимагає постійного контролю балансу, перш за все, біогенних елементів в ґрунтах. При цьому, необхідним є врахування ґрунтових властивостей, особливостей застосовуваних агротехнологій і сучасних кліматичних змін, які також впливають на доступність макроелементів для живлення рослин. Оптимізація режиму живлення сільськогосподарських рослин сприяє зменшенню негативного впливу екстремальних метеорологічних умов на їх розвиток.

З іншого боку, внесення високих доз мінеральних добрив та інтенсивне застосування засобів захисту рослин вимагає постійного контролю екологічного стану ґрунтів, перш за все – концентрації важких металів. Тому оцінка агроекологічного стану ґрунтів в процесі інтенсивного вирощування сільськогосподарських культур, постійний моніторинг вмісту основних важких металів у ґрунті та сільськогосподарській продукції є актуальним завданням.

Мета: визначити вплив інтенсивного вирощування олійних культур на агрохімічні показники (вміст біогенних елементів – N, P, K) та екологічні показники (концентрацію важких металів – Zn, Pb, Cu та Cd) чорноземних ґрунтів в умовах лісостепової зони України.

Об'єкт та методи дослідження

Дослідження виконувалось протягом 2021-2022 р.р. на полях ТОВ «Агрофірма Рось» Рокитнянського району Київської області [20]. Територія господарства рівнинна.

Досліджувані поля розташовані на вододільному просторі річок Рось та Салиха. Ґрунт дослідних полігонів представлений чорноземом типовим слабозмитим малогумусним серед-

ньосуглинковим на карбонатному лесі. У 2010 році на досліджуваних полях було організовано 2 польові сівозміни з різною насиченістю олійними культурами: в першій сівозміні в структурі посівних площ до 30% займає озимий ріпак і до 15% соняшник, у другій сівозміні – до 35% соняшник та до 15% озимий ріпак.

Інтенсивна технологія вирощування олійних культур у господарстві включає застосування різноманітних агротехнічних прийомів обробки ґрунту як перед сівбою, так і протягом вегетації культур, внесення мінеральних добрив, застосування засобів боротьби зі шкідниками та хворобами рослин. Технологія вирощування ріпаку озимого після озимих колосових культур складається із дискування на 6-8 см відразу після збирання попередника. За 2-4 тижні до сівби культури проводять оранку на глибину 22-25 см, відразу вирівнюють і ущільнюють ґрунт. В осінній період при появі сходів та утворенні розетки листків кожні три дні спостерігають за появою шкідників (прихованохоботник капустяний і пильщик ріпаківий), за необхідності застосовують інсектициди. В осінній період спостерігають за проявом хвороб і, за необхідності, проводять фунгіцидний обробіток.

Система удобрення ріпаку озимого складається із основного внесення мінеральних добрив в осінній період під оранку. Середні норми добрив складають (в перерахунку на діючу речовину): азот 20-30 кг/га, фосфор 40-60 кг/га, калій 90-120 кг/га, сірка 30-40 кг/га. В весняний період на початку відростання озимого ріпаку по мерзлоталому ґрунту вносять 50-60 кг/га азоту, через 2-3 тижні доза азоту складає 30-35 кг/га, поєднують внесення азоту з мікродобривами: бором 0,3-0,5 кг/га, молібденом 0,2 кг/га. Одночасно контролюють прояви хвороб та появу шкідників: за необхідності під час росту стебла застосовують інсектициди і фунгіциди в бакових сумішах. Під час цвітіння та утворення стручків контролюють прояви хвороб. Іноді застосовують краєві профілактичні інсектицидні обробки проти шкідників. Те саме проводять і під час дозрівання стручків.

Соняшник у сівозміні вирощують після кукурудзи на зерно та колосових культур. Обов'язковим заходом є дискування на різну глибину. Через 2-3 тижні проводиться ора

нка. В весняний період проводять закриття вологи, передпосівну культивування і сівбу. Система удобрення складається із основного внесення фосфорних і калійних добрив під оранку. У весняний період при сівбі застосовують внесення мінеральних добрив азоту і фосфору. Іноді проводять підживлення карбамідо-аміачною сумішшю КАС-32.

Дослідження проводилось протягом вегетаційних періодів 2021 та 2022 років, які відрізнялись за кількістю атмосферних опадів. Сумарна кількість опадів у 2021 році склала 637 мм, у 2022 році – 813 мм (середньорічна кількість опадів для досліджуваної території за даними Білоцерківської метеостанції становить 670 мм). Об'єкт дослідження - чорноземні ґрунти лісостепової зони України в умовах інтенсивного землекористування.

Зразки ґрунту відбиралися згідно з вимогами ДСТУ 4287-2004 та ДСТУ ISO 10381-4-2005 у межах однієї пробної ділянки площею 100 м² методом конверту з формуванням одного середнього зразка. Глибина відбору ґрунтових зразків 0-20 см. Зразки ґрунту відбирали навесні і восени.

Вміст легкогідролізованого азоту в ґрунті визначався методом Корнфілда (ДСТУ 7863:2015), рухомих форм фосфору і калію – за Чириковим (ДСТУ 4115-2002).

Вміст легкогідролізованого азоту та рухомих форм фосфору і калію визначали двічі за вегетацію культур - навесні і восени після їх збирання. За контроль брали вміст досліджуваних біогенних елементів під озимом пшеницею.

Концентрації рухомих форм Pb, Cd, Zn та Cu визначалися методом атомно-абсорбційної спектроскопії.

Оцінка ступеня накопичення важких металів у ґрунті проводилася шляхом розрахунку коефіцієнту накопичення (K_{ci}): $K_{ci} = C_i / C_{\phi i}$, де C_i – концентрація i -го важкого металу у ґрунті під олійними культурами, $C_{\phi i}$ – фонові концентрації цього металу у ґрунті під луками та пасовищами, розташованими у межах господарства.

Оцінка екологічного ризику забруднення ґрунтів важкими металами проводилася відносно нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, затверджених постановою КМУ від 15.12.2021 р. № 1325.

Результати та обговорення

Особливості сезонної динаміки запасів поживних речовин в ґрунті при вирощуванні олійних культур. В результаті

проведеного дослідження встановлені особливості сезонної динаміки запасів поживних речовин в ґрунті при вирощуванні олійних

культур в порівнянні з контрольною культурою – озимою пшеницею.

Отримані за результатами дослідження у 2021 році дані (рис. 1) показують, що олійні культури значно більше виносять легко-гідролізовані форми азоту з ґрунту, ніж озима пшениця. За вегетаційний період під озимими ріпаком кількість цієї форми азоту в орному шарі ґрунту в 2021 році зменшилася на 23,9 %. Під соняшником кількість легко-гідролізованого азоту в ґрунті восени також зменшилася на 36,6 % у порівнянні з його вмістом навесні. Таким чином, незважаючи на високі дози внесених мінеральних добрив (N60, P80, K80) відмічається значний винос рухомого азоту олійними культурами та зменшення його запасів в ґрунті після збирання культур. Зменшення кількості елементів живлення, особливо азоту, що легко гідролізується, в орному шарі ґрунту зі збільшенням частки соняшнику в сівозмінах було встановлено й в інших дослідженнях, наприклад Dehtiarova, Z., 2023 [8].

Вміст рухомого фосфору в ґрунті в осінній період порівняно з його вмістом навесні більшою мірою знижується при вирощуванні соняшнику: зменшення склало 10,8 %.

Кількість рухомого калію в ґрунті також суттєво зменшується перед збиранням врожаю: під озимим ріпаком дещо більше, ніж під соняшником (на 2,4 мг/100 г і 1,3 мг/100 г ґрунту відповідно). При цьому запаси рухомого калію протягом вегетації озимої пшениці практично не змінюються і знаходяться в межах 12,5-12,2 мг/100 г ґрунту (на початку та у кінці вегетації відповідно).

Проведені у 2021 році дослідження свідчать про досить значне зниження запасів рухомих форм азоту, фосфору і калію в ґрунті під олійними культурами при значній насиченості ними польових сівозмін.

Вплив зволоження на запаси поживних речовин в ґрунті при вирощуванні олійних культур. Проведені дослідження показали, що виявлені за результатами спостережень у 2021 році особливості зниження

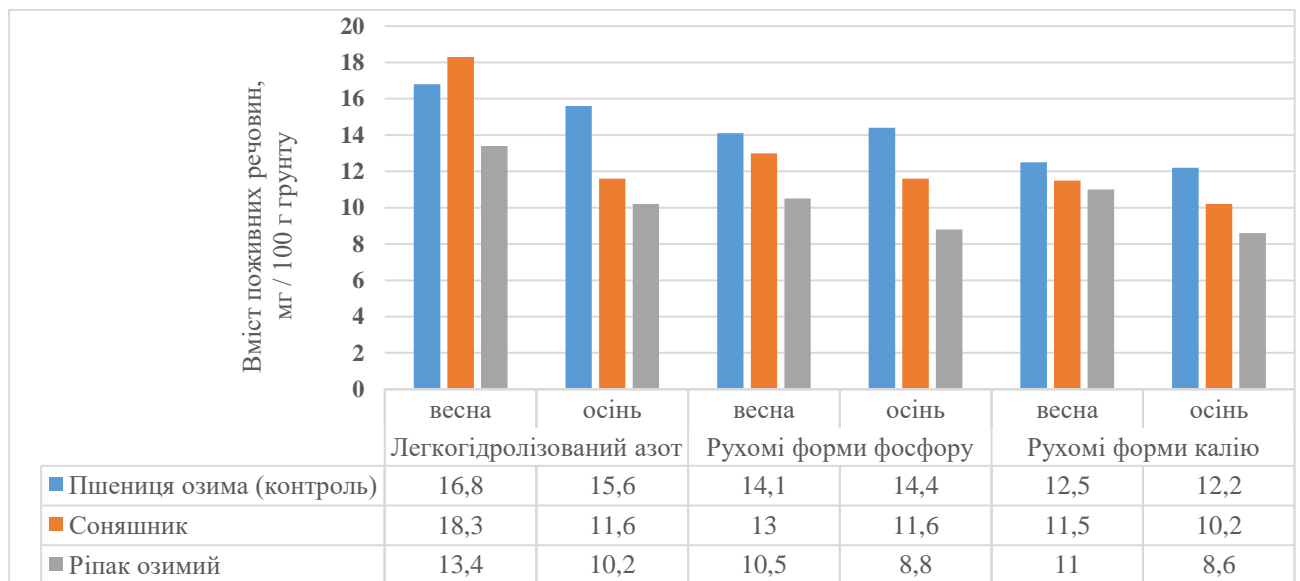


Рис. 1 – Сезонна динаміка поживних речовин в орному шарі ґрунту під олійними культурами в порівнянні з контролем (озимою пшеницею) за даними 2021 року

Fig. 1 – Seasonal dynamics of nutrients in the arable soil layer under oilseed crops compared to the control (winter wheat) according to 2021 data

запасів рухомих поживних речовин в ґрунті зберігаються у 2022 році при вирощуванні як соняшнику, так і озимого ріпаку. При цьому інтенсивність вносу рухомих форм поживних речовин у 2022 році була вищою, що пов'язується з більшою кількістю атмосферних опадів та більшою зволоженістю ґрунту, особливо в період вегетації культур.

Створення оптимального водного режиму ґрунту сприяє збільшенню кількості рухомих форм азоту і фосфору в ґрунті при сівбі олійних культур та значно більшим виносом їх з урожаєм основної та побічної продукції. Особливо високі втрати запасів рухомого фосфору в ґрунті відмічаються при вирощуванні соняшнику -33,1 % (табл. 1). Запаси

Таблиця 1

Втрати поживних речовин за вегетаційний сезон (у %) під олійними культурами та озимою пшеницею в умовах різного зволоження (за даними 2021 р. та 2022 р.)

Table 1

Nutrient losses during the growing season (in %) under oilseeds and winter wheat under different moisture conditions (according to 2021 and 2022 data)

Культура	Легкогідролізований азот		Рухомі форми фосфору		Рухомі форми калію	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Соняшник	-36,6	-27,8	-10,8	-33,1	-11,3	-32,1
Ріпак озимий	-23,9	-29,9	-16,2	-30,6	-21,8	-30,6
Озима пшениця (контроль)	-7,1	-10,6	+2,1	-6,9	-2,4	-10,2

рухомого азоту в ґрунті під соняшником зменшуються на 27,8 % за вегетаційний сезон, рухомого калію – на 32,1 % за вегетаційний сезон. Близькими значеннями характеризується зменшення запасів рухомих форм поживних речовин у ґрунті під озимим ріпаком: азоту – на 29,9 %, фосфору – на 30,6 %, калію – на 30,6 %. При цьому втрати запасів рухомих форм поживних речовин у ґрунті під озимою пшеницею є значно меншими: азоту – 10,6 %, фосфору – 6,9 %, калію – 10,2 %.

Дослідження показників концентрації рухомих форм важких металів (ВМ). Забруднення ґрунтів важкими металами є одним

із факторів, що визначають як продуктивність сільськогосподарських культур, так і якість сільськогосподарської продукції. Як відомо, токсичний вплив важких металів на рослини визначається вмістом їх рухомих форм.

Визначено концентрації рухомих форм важких металів, що мають шкідливий вплив на організм людини: Pb, Cd, Zn (1 клас небезпеки) та Cu (2 клас небезпеки) в ґрунті польових сівозмін, а також фонові концентрації цих металів під природними луками та пасовищами. Результати визначення фонових концентрацій рухомих форм важких металів у ґрунтах наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати лабораторних досліджень фонових концентрацій ВМ у ґрунті (під природними луками та пасовищами) (2021 - 2022 р.р.)

Table 2

Results of laboratory studies of background concentrations of HM in soil (under natural meadows and pastures) (2021 - 2022)

Показник	Фонова концентрація ВМ у ґрунті, мг/кг			ГДК *, мг/кг
	2021 р.	2022 р.	Середні значення	
Zn	0,05	0,05	0,05	23,0
Cu	0,008	0,012	0,01	03,0
Pb	0,50	0,74	0,62	6,0
Cd	0,24	0,30	0,27	0,7

* Значення наведені згідно з «Нормативи гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також перелік таких речовин», затверджених Постановою Кабінету Міністрів України 15 грудня 2021 року № 1325

* The values are given in accordance with the "Standards for maximum permissible concentrations of hazardous substances in soils, as well as the list of such substances", approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 15, 2021 No. 1325

Встановлено, що фонові концентрації важких металів в ґрунті є значно нижчим за нормативи гранично допустимої концентрації. Нижчою за нормативне значення, але меншою мірою в порівнянні з іншими металами, є фонові концентрації Cd (менша за ГДК у 2,6 рази).

Для оцінки ступеня накопичення важких металів у ґрунті польових сівозмін роз

раховано коефіцієнти накопичення (K_{ci}). Результати (табл.3) свідчать про значне накопичення важких металів у ґрунті при застосуванні інтенсивних технологій вирощування олійних культур. Найбільші значення коефіцієнту накопичення встановлені для Cu – 100 та для Zn – біля 15. Найменше зростає концентрація Cd у порівнянні з фоновими значеннями

Таблиця 3

Коефіцієнти накопичення (K_{ci}) рухомих форм ВМ в ґрунті при вирощуванні олійних культур

Table 3

Accumulation coefficients (A_{ci}) of mobile forms of HM in soil when growing oil crops

Важкі метали	Перша сівозміна (переважання озимого ріпаку)			Друга сівозміна (переважання соняшнику)		
	2021 р.	2022 р.	середнє	2021 р.	2022 р.	середнє
Zn	12,00	17,20	14,60	12,6	17,40	15,00
Cu	117,50	101,67	108,00	98,75	94,17	96,00
Pb	3,62	3,15	3,34	5,34	4,07	4,58
Cd	1,96	2,50	2,26	1,75	2,27	2,04

– у 2,15 рази. Але, враховуючи порівняно високі значення фонових концентрацій цього металу, результатом такого накопичення є наближення концентрацій Cd в ґрунтах польових сівозмін до нормативних значень: в середньому – 0,55-0,61 мг/кг.

Збільшення концентрації важких металів у ґрунтах ріллі у порівнянні з ґрунтами під багаторічними травами та багаторічними насадженнями були отримані й в інших дослідженнях, проведених в умовах Правобережного Лісостепу України, наприклад [21].

Відмінності концентрацій досліджуваних важких металів у ґрунті під різними сівозмінами виявилися незначними (табл. 4). При більшому насиченні сівозміни озимим ріпаком (перша сівозміна) в ґрунті дещо більше накопичуються Cd (0,61 мг/кг проти 0,55 мг/кг у другій сівозміні) та Cu (1,08 мг/кг проти 0,96 мг/кг у другій сівозміні). При більшій частці у сівозміні соняшнику (друга сівозміна) дещо більше накопичується Pb (2,84 мг/кг проти 2,07 мг/кг у першій сівозміні) та Zn (0,75 мг/кг проти 0,73 мг/кг у першій сівозміні).

Таблиця 4

Середні за період спостережень концентрації рухомих форм ВМ в орному шарі ґрунту (2021- 2022 р.р.)

Table 4

Average concentrations of mobile forms of PM in the arable soil layer for the observation period (2021-2022)

Важкі метали	Норматив ГДК, мг/кг	Фонова концентрація у ґрунті під природними луками та пасовищами		Перша сівозміна (переважання озимого ріпаку)		Друга сівозміна (переважання соняшнику)	
		середнє, мг/кг	у відносних одиницях до нормативу	середнє, мг/кг	у відносних одиницях до нормативу	середнє, мг/кг	у відносних одиницях до нормативу
Zn	23,0	0,05	0,002	0,73	0,032	0,75	0,033
Cu	3,0	0,01	0,003	1,08	0,360	0,96	0,320
Pb	6,0	0,62	0,103	2,07	0,345	2,84	0,473
Cd	0,7	0,27	0,386	0,61	0,871	0,55	0,786

Вплив зволоження на концентрації важких металів у ґрунті. Окремим етапом виконувалися дослідження впливу мінливості кількості опадів протягом періоду спостережень (2021-2022 р.р.) на показники концентрації важких металів у ґрунтах в умовах інтенсивного землекористування.

Аналіз отриманих результатів (табл. 3) свідчить, що в умовах вегетаційного періоду

2022 року при більшому зволоженні концентрація рухомих форм важких металів у ґрунті збільшується порівняно зі значеннями більш сухого 2021 року. Ця закономірність простежується для всіх важких металів, що вивчалися. Але навіть в умовах більшої зволоженості концентрації Zn, Pb та Cu були значно нижчими за нормативних значень (Zn – 0,03*ГДК, Cu – 0,32*ГДК, Pb – 0,47*ГДК).

Виключенням є Cd, концентрації якого виявились наближеними до нормативного значення при переважанні у сівозміні соняшнику (0,97*ГДК) та незначно перевищили норматив при переважанні у сівозміні озимого ріпаку (1,07*ГДК).

Доволі низькі концентрації у ґрунті рухомих форм Zn та Cu дозволяють говорити про них не як про забруднювачів, а як про мікроелементи, необхідні рослинам для забезпечення процесів метаболізму та реалізації потенціалу росту. Як відомо, ґрунти з вмістом Zn < 1 мг/кг, Cu < 0,5 мг/кг вважаються низько забезпеченими цими мікроелементами. Отримані у дослідженні данні свідчать про дуже низьку забезпеченість ґрунтів господарства цинком, що є характерним для більшої частини сільськогосподарських земель

України. За результатами X туру (2011-2015 р.р.) агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення України, проведеного Інститутом охорони ґрунтів України [22], дуже низький та низький ступінь забезпеченості рухомими сполуками Zn (менше 0,8 мг/кг ґрунту) в встановлений на 90% від обстежених (18,7 млн. га) площ. Навіть значне, в 12-17 разів, накопичення Zn у ґрунті при застосуванні інтенсивних технологій вирощування олійних культур не компенсує нестачі цього мікроелементу в ґрунтах, які не зазнають такого антропогенного навантаження (під природними луками та пасовищами). Забезпеченість ґрунтів польових сівозмін господарства міддю покращилась в результаті застосування інтенсивних технологій та є близькою до оптимального рівня.

Висновки

Встановлено суттєве зниження запасів важливих поживних елементів – азоту, фосфору та калію – в чорноземних ґрунтах при інтенсивному вирощуванні олійних культур (соняшнику та озимого ріпаку) в порівнянні з озимою пшеницею. Найбільше знизився вміст легкогідролізованого азоту в ґрунті під соняшником: винос був майже у 5 разів вищим за втрати легкогідролізованого азоту при вирощуванні озимої пшениці.

В умовах більшого зволоження інтенсивність виносу біогенних елементів зростає як для олійних культур, так і для озимої пшениці. Найбільше зростання виносу встановлене для водорозчинного фосфору: під соняшником – втричі, а під озимим ріпаком майже вдвічі у більш вологому 2022 році в порівнянні з більш посушливим 2021 роком. Винос з ґрунту водорозчинних форм азоту, фосфору та калію в умовах більшого зволоження зріс також і під озимою пшеницею, але за абсолютними показниками був у 2,6-4,8 разів меншим, ніж під олійними культурами.

Інтенсивні технології вирощування олійних культур спричинили суттєве збільшення концентрацій рухомих форм важких металів (Zn, Pb, Cu, Cd) в чорноземних ґрун-

тах у порівнянні з їх фоновими концентраціями. Найбільше зросли середні концентрації Cu та Zn, меншою мірою – Pb та Cd. Величина зростання концентрації важких металів у ґрунті польових сівозмін залежали від переважання конкретної олійної культури. При більшому насиченні сівозміни озимим ріпаком в ґрунті накопичувались Cd та Cu. При більшій частці у сівозміні соняшнику накопичувались Pb та Zn. В умовах більшого зволоження концентрації рухомих форм всіх ВМ у ґрунті збільшуються. Найбільше збільшились концентрації Pb під соняшником та Cd під озимим ріпаком. Концентрації Cd наблизилась до нормативних значень, а концентрації інших важких металів значно нижче за норматив, що дозволяє зробити висновок про відсутність екологічного ризику забруднення ґрунтів Zn, Pb та Cu при використанні інтенсивних технологій вирощування олійних культур та можливу небезпеку накопичення та забруднення ґрунтів Cd за умови подальшого використання цих технологій.

Враховуючи, що концентрації Zn в ґрунті польових сівозмін відповідають низькій його забезпеченості цим мікроелементом, необхідно вживати додаткових заходів для оптимізації мікроелементного живлення сільськогосподарських культур.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Відповідність проєкту

Дослідження виконане в межах науково-дослідної роботи № БФ/32-2022 «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Математичні науки та природничі науки» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна».

Список використаної літератури

1. Зав'ялова Л. В. Україна: сільське господарство. *Велика українська енциклопедія*. URL: <https://vue.gov.ua/Україна: сільське господарство> (дата звернення: 24.10.2024).
2. Про охорону земель: Закон України від 19.06.2003 р. № 962-IV : станом на 08.11.2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення: 24.10.2024).
3. Програма розвитку ООН. Цілі сталого розвитку до 2030 року. URL: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals> (дата звернення: 24.10.2024).
4. Wang X., Du R., Cai H., et al. Assessing the impacts of technological change on food security and climate change mitigation in China's agriculture and land-use sectors. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 107, 2024, 107550, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107550>
5. Panday D., Ojha R. B., Chalise D., et al. Spatial variability of soil properties under different land use in the Dang district of Nepal. *Cogent Food & Agriculture*. 2019. Vol. 5(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1600460>
6. Haile G., Itanna F., Teklu B., Agegnehu G., & Wang, X. Variation in soil properties under different land use types managed by smallholder farmers in central Ethiopia. *Sustainable Environment*, 2022. Vol. 8. N 1. DOI: <https://doi.org/10.1080/27658511.2022.2093058>
7. Krainiukov O., Nekos A., Kochanov E., Buts Yu., Miroshnychenko I. Biomonitoring of soil quality within the limits of the oil refining enterprise. *14th International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment", 10-13 November 2020, Kyiv, Ukraine*. P. 49-51. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056064>
8. Dehtiarova Z. Nutrient regime of the soil depending on the share of sunflower in short-rotational crop. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2023. Vol. 27. N 2. P. 87-95. DOI: <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/2.2023.87>
9. Tkachuk O., Gucol G., Mazur O., Verhelis V., Titarenko O. Ecological safety of sunflower seeds in the conditions of agricultural intensification. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27. N 1. P. 71-79. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor1.2024.71>
10. Nekos A., Zakharova M., Khripko O. Seasonal Dynamics of Plant Nutrient Content in Soils Under Conditions of Intensive Land Use. *International EuroAsia Congress on Scientific Researches and Recent Trends 12 (29-30.11.2023, Ankara TÜRKİYE) : Proceedings Book*. P. 242. URL: <https://www.euroasiasummit.org/en/books>
11. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Мартинюк А. Т., Бойко В. П. Винесення основних елементів живлення з ґрунту культурами польової сівозміни за різного удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство : міжвід. тем. наук. збірник*. Харків: ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". 2021. Вип. 91. С.31-40. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss91-04>
12. Huang X., Li X., Zheng L., et al. Comprehensive assessment of health and ecological risk of cadmium in agricultural soils across China: A tiered framework. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 465, 5 March 2024, 133111. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389423023956>
13. Xie G., Yang Y., Hou Y., Wang B., Chen W. Evaluating the trade-offs between nutrient and cadmium levels in soils in northeastern China: Accounting for variations in soil factors. *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 169, 112795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112795>
14. Хріпко О. І., Свиридов С. А. Важкі метали в системі "ґрунт – рослина - сільськогосподарська продукція". *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2023: зб. мат. XXV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 27-28.04.2023 р.)*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. С. 59-60. URL: https://ecology.karazin.ua/tezi-xxv_mezhd-konf-2023
15. Разанов С.Ф., Вдовенко С.А., Коминар М.Ф., Недашківський В.М., Качмар Н.В. Вплив мінерального удобрення ґрунтів на інтенсивність накопичення радіоцезію та важких металів у квітковому пилку соняшнику. *Агробіологія : зб. науков. праць*. 2022. № 2. С. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-174-2-79-86>
16. Khaliq M.A., James B., Chen Y. H., et al. Uptake, translocation, and accumulation of Cd and its interaction with mineral nutrients (Fe, Zn, Ni, Ca, Mg) in upland rice. *Chemosphere*. 2019. Vol. 215. P. 916-924. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.077>
17. Biletska Ya. O., Nekos A. N., Bekhter A. O., Krivtsova A. S., Brayninger O. I. Ways of optimization of lead-polluted black earth soils in the soil-plant system. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. 2021. Vol. 55. P. 257-273. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-19>
18. Гриньова Я. Г., Криштоп Є. А. Проблеми забруднення навколишнього середовища важкими металами та шляхи їх подолання. *Інженерія природокористування*. 2021. № 1 (19). С. 111-119. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6904034>
19. Тохтарь К. І., Гаврилюк Ю. В. Чи можливе безпечне використання пестицидів? *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник*. Харків: ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". 2020. Вип. 90. С. 76-85. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-08>
20. Свиридов С. Екологічна безпека ґрунтів при вирощуванні олійних культур для виробництва біопалива (Керів. О. Хріпко). Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. 49 с. (рукопис)

21. Гуцол Г. В. Моніторинг забруднення важкими металами ґрунтів сільськогосподарського призначення Правобережного Лісостепу. *Slovak international scientific journal*. 2020. № 40. С. 12-17. URL: <http://soc-rates.vsau.org/repository/getfile.php/24941.pdf>
22. Наукові дослідження з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь України за результатами X туру (2011-2015 рр.) / за ред. І. П. Яцука; ДУ «Інститут охорони ґрунтів України». Київ, 2018. URL: <https://www.iogu.gov.ua/link/directions/edition.html>

Стаття надійшла до редакції 25.10.2024

Стаття рекомендована до друку 27.11.2024

A. N. NEKOS, DSc (Geography), Prof.,

Head of the Department of Environmental Safety and Environmental Education

e-mail: alnekos999@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

V. N. Karazin Kharkiv National University,

4, Svobody Sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

O. I. KHRIPKO,

Lecturer of the Department of Fundamental and Applied Geology

e-mail: elenahripko@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8303-7105>

V. N. Karazin Kharkiv National University,

4, Svobody Sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

O. O. BOLOTOVA, PhD (Economics), Associate Professor

Learning and Teaching Administrator

e-mail: Olena.Bolotova@glasgow.ac.uk ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4354-4748>

University of Glasgow

Glasgow, G12 8QQ, Scotland

ENVIRONMENTAL SAFETY OF SOILS IN CONDITIONS OF INTENSIVE AGRICULTURAL LAND USE

For the sustainable functioning of agroecosystems and sustainable food supply of the population, the task of ensuring the ecological safety of soils in the conditions of using intensive technologies for growing agricultural crops is relevant.

Purpose. To determine the impact of intensive cultivation of oil crops on agrochemical indicators and environmental indicators of chernozem soils in the conditions of the forest-steppe zone of Ukraine

Methods. Field, laboratory-analytical, atomic absorption spectrophotometry method, statistical.

Results. The impact of intensive cultivation of oil crops on the seasonal dynamics of the content of biogenic elements (N, P, K) in chernozem soils (using the example of typical chernozems) was determined. A significant decrease in the content of mobile forms of nitrogen, phosphorus and potassium in chernozems typical of intensive cultivation of oil crops (sunflower and winter rapeseed) compared to winter wheat was established. It is noted that at higher levels of natural moisture, the intensity of nutrient removal increases for both oilseed crops and winter wheat. A significant increase in the concentrations of mobile forms of Zn, Pb, Cu and Cd in chernozem soils when growing oilseed crops was established in comparison with their background concentrations under natural meadows and pastures. When the crop rotation is saturated with winter rapeseed, Cd and Cu accumulate more in the soil, and when sunflower predominates, Pb and Zn. Under conditions of higher moisture, the concentrations of mobile forms of all studied metals in the soil increase. The approach of the average Cd concentrations over the observation period to the normative value indicates a possible danger of accumulation and contamination of soils of field crop rotations with this metal.

Conclusions. Growing oilseed crops using intensive technologies poses a threat of soil deterioration from two aspects: a decrease in biogenic elements in the soil and an increase in the risk of soil contamination with heavy metals, especially Cd.

KEYWORDS: *ecological safety, chernozem soil, soil nutrients, heavy metal, agrochemical indicator, intensive technology, agricultural land use, sunflower, rapeseed*

References

1. Zavyalova, L. V. (2022, April 04). Ukraine: agriculture. Great Ukrainian Encyclopedia. Retrieved from <https://vuc.gov.ua/Україна: сільське господарство> (In Ukrainian)

2. Law of Ukraine "On Land Protection". (2003). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (In Ukrainian)
3. United Nations Development Programme. Sustainable Development Goals 2030. Retrieved from <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
4. Wang, X., Du, R., Cai, H., Lin, B., Dietrich, J. Ph., Stevanović, M.,...Popp A. (2024). Assessing the impacts of technological change on food security and climate change mitigation in China's agriculture and land-use sectors. *Environmental Impact Assessment Review*, 107, 107550. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107550>
5. Panday, D., Ojha, R. B., Chalise, D., Das, S., Twanabasu, B., & Tejada Moral, M. (2019). Spatial variability of soil properties under different land use in the Dang district of Nepal. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1600460>
6. Haile, G., Itanna, F., Teklu, B., Agegnehu, G., & Wang, X. (2022). Variation in soil properties under different land use types managed by smallholder farmers in central Ethiopia. *Sustainable Environment*, 8(1). <https://doi.org/10.1080/27658511.2022.2093058>
7. Krainiukov, O., Nekos, A., Kochanov, E., Buts, Yu. & Miroshnychenko, I. (2020). Biomonitoring of soil quality within the limits of the oil refining enterprise. *Proceedings of the 14th International Scientific Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, (10–13 November 2020, Kyiv, Ukraine. pp. 49-51). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056064>
8. Dehtiarova, Z. (2023). Nutrient regime of the soil depending on the share of sunflower in short-rotational crop. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 27(2), 87-95. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/2.2023.87>
9. Tkachuk, O., Gucol, G., Mazur, O., Verhelis, V., & Titarenko, O. (2024). Ecological safety of sunflower seeds in the conditions of agricultural intensification. *Scientific Horizons*, 27(1), 71-79. <https://doi.org/10.48077/scihor1.2024.71>
10. Nekos, A. Zakharova, M. & Khripko, O. (2023). Seasonal Dynamics of Plant Nutrient Content in Soils Under Conditions of Intensive Land Use (p. 242). *International EuroAsia Congress on Scientific Researches and Recent Trends 12 (29-30.11.2023, Ankara TÜRKİYE). Proceedings Book*. Retrieved from <https://www.euroasia-summit.org/en/books>
11. Gospodarenko, G. M., Chernov, O. D., Martyniuk, A. T. & Boyko, V. P. (2021). Removal of basic nutrients from the soil by field crop rotations with different fertilizers. *Agrochemistry and Soil Science. Interdisciplinary thematic scientific collection*. Kharkiv: The NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", 91, 31-40. <https://doi.org/10.31073/acss91-04> (In Ukrainian)
12. Huang, X., Li, X., Zheng, L., Zhang, Y., Sun, L., Yanhong Feng, Y.,...Wang, G. (2024). Comprehensive assessment of health and ecological risk of cadmium in agricultural soils across China: A tiered framework. *Journal of Hazardous Materials*. 465, 33111. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133111>
13. Xie, G., Yang, Y., Hou, Y., Wang, B. & Chen, W. (2024). Evaluating the trade-offs between nutrient and cadmium levels in soils in northeastern China: Accounting for variations in soil factors. *Ecological Indicators*, 169, 112795. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112795>
14. Khripko, O. I. & Svyrydov S. A. (2023). Heavy metals in the system "soil – plant – agricultural products". Ecology, environmental protection and balanced nature management: education – science – production – 2023: collection materials of the XXV International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, April 27-28, 2023) (pp. 59-60). Kharkiv: V. N. Karazin KhNU. Retrieved from https://ecology.karazin.ua/tezi-xxv_mezhd-konf-2023 (In Ukrainian).
15. Razanov, S., Vdovenko, S., Komynar, M., Nedashkivskyi, V. & Kachmar N. (2022). The influence of soil mineral fertilization on the intensity of accumulation of radiocesium and heavy metals in sunflower pollen. *Agrobiological*, 2, 79–86. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-174-2-79-86> (In Ukrainian)
16. Khaliq, M.A., James, B., Chen, Y. H., Saqib, H. S. A., Li, H. H., Jayasuriya, P. & Gu, W. (2019). Uptake, translocation, and accumulation of Cd and its interaction with mineral nutrients (Fe, Zn, Ni, Ca, Mg) in upland rice. *Chemosphere*, 215, 916-924. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.077>
17. Biletska Ya. O., Nekos A. N., Bekhter A. O., Krivtsova A. S. & Brayninger O. I. (2021). Ways of optimization of lead-polluted black earth soils in the soil-plant system. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 257-273. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-19>
18. Hrynova, Y. & Kryshtop, Y. (2021). "Heavy metals pollution problems and ways to overcome them", *Scientific journal «Engineering of nature management»*, (1(19)), 111-119. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6904034> (In Ukrainian)
19. Tokhtar, K., & Gavrilyuk, Y. (2020). Is it possible to use pesticides safely?. *AgroChemistry and Soil Science*, 90, 76-85. <https://doi.org/10.31073/acss90-08> (In Ukrainian)
20. Svyrydov, S. (2023). Ecological safety of soils during the cultivation of oilseed crops for biofuel production. (Supervisor: O. Khripko). Kharkiv: V. N. Karazin KhNU. (manuscript) (In Ukrainian)
21. Hutsol, G. V. Monitoring of heavy metal contamination of agricultural soils of the Right-Bank Forest-Steppe (2020). *Slovak international scientific journal*, (40), 12-17. Retrieved from <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/24941.pdf> (In Ukrainian)
22. Scientific research on monitoring and surveying of agricultural lands of Ukraine according to the results of the X round (2011-2015). (2018). Edited by I. P. Yatsuk; State Institution "Institute of Soil Protection of Ukraine". Kyiv. Retrieved from <https://www.iogu.gov.ua/link/directions/edition.html> (In Ukrainian)

The article was received by the editors 25.10.2024

The article is recommended for printing 27.11.2024