

УДК 504.5:633.1»324»:631.82

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.1.10>

ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ ҐРУНТІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ НАКОПИЧЕННЯ СВИНЦЮ, ЦИНКУ ТА МІДІ У ЗЕРНІ ОЗИМИХ ЗЛАКІВ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ПРАВОБЕРЕЖНОГО

Гусак О.Б. – аспірантка кафедри екології та охорони навколишнього середовища,
Вінницький національний аграрний університет

Злакові зернові культури займають основну частину у виробництві сільськогосподарських культур. Їх широко використовують у багатьох галузях народного господарства. Найширше зерновими злаками послуговуються у харчовій промисловості. Своїми ґрунтово-кліматичними умовами територія сучасної України є найбільш сприятливою для вирощування зерна злакових культур з-поміж усіх країн світу. Зокрема, це сприяло виробництву зернової продукції як одного з головних напрямків агропромислового комплексу України, вплинуло на контроль і дотримання вимог до якості зерна злакових рослин, які останнім часом надзвичайно суворі.

Стаття присвячена вивченню впливу мінерального удобрення ґрунтів на транслокацію Pb, Zn і Cu у зерно озимих злакових культур. Метою дослідження є вивчення впливу мінерального удобрення ґрунтів (аміачної селітри, суперфосфату простого та калію хлористого) на інтенсивність накопичення коефіцієнтів накопичення небезпеки свинцю, цинку та міді у зерні озимої пшениці сорту Акратос та озимого ячменю сорту Луран.

У зерні пшениці озимої виявлено нижчий вміст свинцю, цинку та міді за комплексного удобрення $N_{90}P_{60}K_{60}$ добрив порівняно з азотним добривом (аміачна селітра), фосфорним (суперфосфат простий) і калійний (калій хлористий). Найнижчий вміст свинцю та міді у зерні озимого ячменю спостерігали за удобрення ґрунтів калієм хлористим порівняно вищий під час використання аміачної селітри, суперфосфату простого з комплексним удобренням $N_{90}P_{60}K_{60}$ добрив. Тоді як цинку найнижчий вміст виявлено у зерні озимого ячменю за комплексного удобрення ґрунтів $N_{90}P_{60}K_{60}$ добрив.

Дослідження проводили на полях фермерського господарства «Зоря Василівки», с. Василівка, Вінницького району Вінницької області. На території цього району переважають сірі лісові ґрунти. Ці ґрунти характеризують невисоким вмістом гумусу, рН (5,5) вмістом фосфору до 0,11%, що є низьким, порівняно з вищою кількістю калію, яка належить до середньозабезпечених.

Ключові слова: зерно, озима пшениця, озимий ячмінь, важкі метали, коефіцієнт накопичення, коефіцієнт небезпеки, мінеральні добрива.

Husak O.B. The influence of mineral soil fertilization on the intensity of accumulation of lead, zinc, and copper in the grain of winter cereals in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe

Cereal grains occupy the main part in the production of agricultural crops. They are widely used in many branches of the national economy. Cereals are most widely used in the food industry. Due to its soil and climatic conditions, the territory of modern Ukraine is the most favorable for the cultivation of cereal grains among all the countries of the world. In particular, it contributed to the production of grain products as one of the main directions of the agro-industrial complex of Ukraine, influenced the control and compliance with the requirements for grain quality of cereal plants, which have recently been extremely strict.

The article is devoted to the study of the influence of soil mineral fertilization on the translocation of Pb, Zn and Cu into the grain of winter cereal crops. The purpose of the study is to study the effect of mineral fertilization of soils (ammonium nitrate, simple superphosphate and potassium chloride) on the intensity of accumulation of risk factors of lead, zinc and copper in the grain of winter wheat of the Akrotos variety and winter barley of the Luran variety.

A lower content of lead, zinc, and copper was found in winter wheat grain under complex fertilization of $N_{90}P_{60}K_{60}$ fertilizers compared to nitrogen (ammonium nitrate), phosphorous

(simple superphosphate), and potassium (potassium chloride) fertilizers. The lowest content of lead and copper in winter barley grains was observed when soil was fertilized with potassium chloride, and it was relatively higher when using ammonium nitrate, simple superphosphate with complex fertilization of $N_{90}P_{60}K_{60}$ fertilizers. While zinc, the lowest content was found in winter barley grains with complex soil fertilization with $N_{90}P_{60}K_{60}$ fertilizers.

The research was conducted in the fields of the «Zorya Vasylivka» farm, village Vasylivka, Vinnytsia district, Vinnytsia region. The territory of this district is dominated by gray forest soils. These soils are characterized by a low content of humus, pH (5.5) with a phosphorus content of up to 0.11%, which is low, compared to a higher amount of potassium, which belongs to medium-rich soils.

Key words: grain, winter wheat, winter barley, heavy metals, accumulation coefficient, hazard coefficient, mineral fertilizers.

Постановка проблеми. Аналізуючи тисячоліття людського існування та значення у ньому сільськогосподарської злакової продукції, ми можемо однозначно відзначити лише користь злакових рослин та їхнє виробництво і позитивний вплив на людське життя. Головними продовольчими зерновими культурами є пшениця (*Triticum L.*) та ячмінь (*Hordeum*), завдяки високій продуктивності та можливості різноманітного використання.

Основне призначення цих зернових культур – це забезпечити людей хлібом, хлібобулочними виробами, крупами та іншими переробленими зерна, включно з кормами для тварин. Злакові зернові культури є важливим джерелом і забезпечують 20% білка для всього світового населення [1]. Тому дослідження впливу мінеральних добрив на якість зерна злакових культур є актуальним через якість продукції, яку ми споживаємо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зерно злакових культур є основою гарантії продовольчої безпеки населення. Згідно із дослідженнями станом на 2050 рік зростаюча кількість населення буде становити 9 мільярдів людей. Отже, виникає гостра потреба збільшення приблизно на 70% виробництва зернових рослин [2].

Відчутна зміна клімату у вигляді систематичного підвищення середніх глобальних температурних режимів, що є наслідком збільшення викидів парникових газів у атмосферу. Безперервне використання водних ресурсів унаслідок кліматичних змін стає серйозною проблемою у світовій продовольчій безпеці та майбутньому зерновому виробництві. Зростання дефіциту води, що упродовж 21 століття стало нездорово-загрозливою тенденцією для вирощування зернових культур [2]. Війна в Україні, що безумовно впливає на екологічний стан ґрунтів та економічну стабільність в Україні загалом. Усі ці фактори не сприяють систематичному, якісному агропромислому виробництву зерна злакових культур.

Важкі метали потрапляють у довкілля, забруднюють його здебільшого внаслідок антропогенного впливу діяльності людини. Потужні та систематичні забруднення навколишнього середовища важкими металами як-от: гірничою промисловістю, металургією, машинобудуванням, хімічним, будівельним, агропромисловим комплексом і житлово-комунальним господарством дуже негативно впливають на якість зерна злакових рослин [3].

Виробництво злакових культур за інтенсивного землеробства містить заходи, що використовують унесення високих норм мінеральних добрив, наслідком цього є забруднення ґрунтів і довкілля важкими металами, що містяться у цих добривах, зокрема свинцем, кадмієм, міддю, цинком, ртуттю [4].

Унаслідок застосування засобів хімізації у процесі вирощування зернових рослин як мінеральних добрив помічають забруднення ползахисних лісосмуг біля

посівів злакових культур, де теж постійно спостерігають збільшений вміст важких металів, пестицидів і видима наявність хвороб рослин лісосмуг [5].

Ґрунт – це основа, за допомогою якого важкі метали потрапляють у рослини. Зокрема забруднення ґрунту важкими металами такими як: ртуть, кадмій, свинець, хром, мідь, цинк вважають найнебезпечнішим, на відміну від органічних забруднювачів. Важкі метали не піддаються біологічному розкладанню й здебільшого не рухливі, їхня концентрація у ґрунті може зберігатися сто і навіть тисячу років [6].

Звичайно це небезпечно для людського здоров'я та живих організмів загалом. Дослідження механізмів поглинання важких металів зерновими культурами із забруднених ґрунтів набувають дедалі більшого значення, оскільки накопичення важких металів у сільськогосподарських культурах або рослинах може знизити, пошкодити чи змінити фізіологічні функції тварин або людини через харчовий ланцюг [7]. Зокрема, Cd і Pb слід ретельно контролювати, щоб підтримувати їхній рівень у допустимих межах, оскільки Pb може викликати зниження когнітивного розвитку та інтелектуальної продуктивності у дітей, підвищення артеріального тиску та серцево-судинні захворювання у дорослих, тоді як Cd може накопичуватися в організмі людини й може викликати дисфункцію нирок, пошкодження скелета та репродуктивні дефіцити. З іншого боку, такі мікроелементи як: Cu, Fe та Zn, необхідні в низьких концентраціях для всіх живих організмів, тому слід уникати їх виснаження, але вони стають токсичними у високих концентраціях [8].

Оскільки досліджувані сірі лісові ґрунти належать до середньозабезпечених, для хорошого урожаю злакових культур використовують мінеральні добрива.

Постановка завдання. Мета досліджень – вивчення впливу мінерального удобрення ґрунтів (аміачної селітри, суперфосфату простого та калію хлористого) на інтенсивність накопичення, коефіцієнти накопичення й небезпеки свинцю, цинку і міді у зерні озимої пшениці сорту Акратос та озимого ячменю сорту Луран.

Виклад основного матеріалу досліджень. Вінницький район належить до місцевості з нестійким зволоженням і має періодичні посухи. Клімат помірно-континентальний з тривалим й теплим літом і короткою помірно-холодною зимою. Тривалість вегетаційного періоду залежно від умов вирощування та температури у середньому в озимої пшениці становить від 190 до 210 днів, а в озимого ячменю від 230 до 290 днів.

Відбір зразків ґрунту, для визначення концентрації вмісту в ньому важких металів, проводили методом конверту. Ґрунт відбирали шупом з кожного поля у п'яти точках. Зразки добре перемішували і від загальної партії відбирали методом точкових проб по 0,5 кг на глибині його переорювання 22–24 см для лабораторних досліджень [9].

Відбір зерна проводили ручним шупом від кожної партії окремо. З відібраних точкових проб складали середню пробу масою не менш ніж 2 кг [10].

Визначення важких металів у зерні злакових культур проводили атомно-абсорбційним методом визначення токсичних елементів у харчовій сировині.

Оцінку якості зерна злакових культур здійснювали шляхом порівняння вмісту забруднювача в цій продукції з гранично допустимою концентрацією (ГДК). Оцінку надходження важких металів з ґрунту в зерно злаків розраховували шляхом визначення коефіцієнта накопичення ($K_{\text{нак}}$).

Коефіцієнт накопичення ($K_{\text{нак}}$) визначали за формулою:

$$K_{\text{нак}} = \frac{\text{Вміст важких металів у зерні зернових культур}}{\text{Вміст важких металів у ґрунті}}$$

Коефіцієнт небезпеки ($K_{\text{неб.}}$) визначали за формулою:

$$K_{\text{неб.}} = \frac{\text{Вміст важких металів у зерні зернових культур}}{\text{Гранично допустима концентрація важких металів згідно ГДК}}$$

За вирощування злакових культур для сірих лісових ґрунтів рекомендована така доза підживлення мінеральними добривами: аміачна селітра (N) – (90 кг/га), калій хлористий (K) – (60 кг/га), суперфосфат простий (P) – (60 кг/га) та комплексним NPK удобренням (аміачна селітра – 90 кг/га, суперфосфат простий – 60 кг/га, калій хлористий – 60 кг/га).

Першу частину добрива калій хлористий, суперфосфат простий і комплексне NPK удобрення вносили восени під час посіву за достатнього зволоження. Другу частину добрива – весняне підживлення аміачною селітрою за вегетаційного періоду зернових рослин застосовували у три етапи: перший по тало-мерзлому ґрунту, другий за фази кушіння, третій у період виходу злаків у трубку (під час активного розвитку злакових культур). Підживлення проводили у другій половині дня за похмурої погоди.

Результати досліджень з вивчення інтенсивності забруднення ґрунтів рухомими формами важких металів (рис. 1) показали, що перевищень ГДК, які встановлено за свинцем, цинком і міддю не спостерігали. Зокрема, концентрація важких металів за свинцем, цинком і міддю у процесі вирощування пшениці озимої у ґрунті була нижча за гранично допустимі норми у 5,6, 19,1 та у 7,5 раза відповідно. Концентрація важких металів у ґрунті за вирощування ячменю озимого також була в межах допустимих норм та була нижча за гранично допустимі норми за свинцем, цинком і міддю у 4,6, 14,3 та 4,2 раза відповідно.

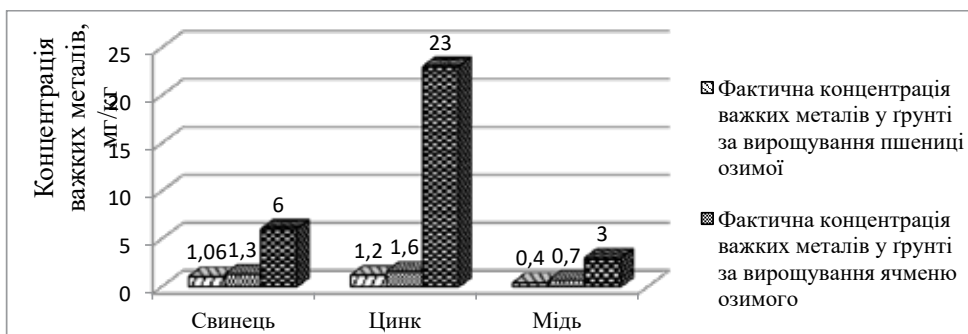


Рис. 1. Інтенсивність забруднення ґрунтів важкими металами, мг/кг

Джерело: сформовано на основі власних досліджень і розрахунків

Коефіцієнт небезпеки у зерні озимої пшениці та озимого ячменю не перевищував граничний показник 1,0, що вказує на безпечність виробленої продукції.

Результати досліджень табл. 1 показали, що вміст свинцю, цинку та міді у зерні озимої пшениці були вищими за удобрення ґрунтів суперфосфатом простим у 2,3 раза, 1,4 раза, 1,4 раза, і 10,7 раза калію хлористого у 1,07, 1,2 раза та

1,06 раза, аміачної селітри у 2,5 раза, 1,06 раза та 1,02 раза відповідно порівняно з комплексним удобренням $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Вміст свинцю, цинку та міді був нижчим за ГДК у зерні озимої пшениці за комплексного удобрення ґрунтів $N_{90}P_{60}K_{60}$ добрив у 3,1 раза, 6,5 та 4,08 раза, суперфосфату простого у 1,34 раза, 4,6 та 3,8 раза, калію хлористого у 2,9 раза, 5,4 раза та аміачної селітри у 1,2, 6,2 та 3,9 раза відповідно. У зерні озимого ячменю за удобрення ґрунтів суперфосфатом простим та аміачною селітрою підвищувався вміст свинцю у 1,5 раза і 1,65 раза, цинку в 1,1 раза і 1,2 раза відповідно порівняно з варіантом комплексного удобрення $N_{90}P_{60}K_{60}$.

За удобренням калієм хлористим вміст в зерні ячменю, свинцю та міді знизився у 1,04 і 1,1 раза відповідно порівняно з комплексним удобренням $N_{90}P_{60}K_{60}$ добрив. Вміст цинку в зерні озимого ячменю за удобрення ґрунтів суперфосфатом простим, калієм хлористим та аміачною селітрою був вищим у 1,1 раза, 1,68 раза, 1,2 раза порівняно з удобренням ґрунтів комплексного удобрення $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Таблиця 1

Вплив мінерального підживлення ґрунтів на концентрацію важких металів у зерні озимих зернових культур мг/кг

| Культура | Особливості удобрення ґрунтів | Свинець | | Цинк | | Мідь | |
|--------------------------|--|------------------|-----|-----------------|-----|----------------|-----|
| | | Вміст у зерні | ГДК | Вміст у зерні | ГДК | Вміст у зерні | ГДК |
| Озима пшениця Акратос | Комплекси удобрення ($N_{90}P_{60}K_{60}$) | 0,159± 0,0004 | 0,5 | 7,58± 0,014 | 50 | 2,45± 0,010 | 10 |
| | Суперфосфат простий (P_{60}) | 0,371± 0,0007 | 0,5 | 10,86± 0,020 | 50 | 2,63± 0,016 | 10 |
| | Калій хлористий (K_{60}) | 0,171± 0,0008 | 0,5 | 9,17± 0,012 | 50 | 2,61± 0,012 | 10 |
| | Аміачна селітра (N_{90}) | 0,397± 0,0010 | 0,5 | 8,06± 0,013 | 50 | 2,52± 0,013 | 10 |
| Озимий ячмінь Луран | Комплекси удобрення ($N_{90}P_{60}K_{60}$) | 0,175± 0,0012 | 0,5 | 6,0± 0,037 | 50 | 1,72± 0,014 | 10 |
| | Суперфосфат простий (P_{60}) | 0,267± 0,0010 | 0,5 | 6,71± 0,008 | 50 | 1,59± 0,016 | 10 |
| | Калій хлористий (K_{60}) | 0,167± 0,0013 | 0,5 | 6,50± 0,008 | 50 | 1,55± 0,014 | 10 |
| | Аміачна селітра (N_{90}) | 0,289± 0,0013 | 0,5 | 7,45± 0,014 | 50 | 1,84± 0,010 | 10 |

Виявлено також певний вплив удобрення ґрунтів на коефіцієнт накопичення свинцю, цинку та міді у зерні озимої пшениці й зерні озимого ячменю у таблиці 2. Зокрема, коефіцієнт накопичення свинцю, цинку та міді підвищувався у зерні озимої пшениці за удобрення ґрунтів суперфосфатом простим у 2,3 раза, 1,4 раза та 1,07 раза, калієм хлористим у 1,06 раза, 1,2 раза та 1,06 раза аміачною селітрою у 2,4 раза, 1,06 раза та 1,02 раза відповідно порівняно з комплексним удобренням ґрунтів $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Коефіцієнт накопичення свинцю у зерні ячменю озимого за удобрення ґрунтів суперфосфатом простим та аміачною селітрою підвищений у 1,57 раза відповідно,

а калію хлористого знизився у 1,02 раза порівняно з комплексним удобренням $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Коефіцієнт накопичення цинку в зерні озимого ячменю за удобрення ґрунтів суперфосфатом простим, калієм хлористим та аміачною селітрою підвищений у 1,1 раза, 1,06 раза та 1,2 раза відповідно порівняно з комплексним удобренням. За удобрення ґрунтів аміачною селітрою коефіцієнт накопичення міді підвищився у 1,06 раза, а суперфосфатом простим та калієм хлористим знизився відповідно у 1,07 раза і 1,1 раза відповідно порівняно з комплексним удобренням $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Таблиця 2

Вплив мінерального підживлення ґрунтів на коефіцієнт накопичення важких металів у зерні озимих зернових культур мг/кг

| Культура | Особливості удобрення ґрунтів | Свинець | | | Цинк | | | Мідь | | |
|--------------------------|--|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|
| | | Вміст у зерні | Вміст у ґрунті | $K_{\text{нак}}$ | Вміст у зерні | Вміст у ґрунті | $K_{\text{нак}}$ | Вміст у зерні | Вміст у ґрунті | $K_{\text{нак}}$ |
| Озима пшениця Акратос | Комплекси удобрення ($N_{90}P_{60}K_{60}$) | 0,159 | 1,06 | 0,15 | 7,58 | 1,2 | 6,3 | 2,45 | 0,4 | 6,12 |
| | Суперфосфат простий (P_{60}) | 0,371 | 1,06 | 0,35 | 10,86 | 1,2 | 9,05 | 2,63 | 0,4 | 6,57 |
| | Калій хлористий (K_{60}) | 0,171 | 1,06 | 0,16 | 9,17 | 1,2 | 7,6 | 2,61 | 0,4 | 6,52 |
| | Аміачна селітра (N_{90}) | 0,397 | 1,06 | 0,37 | 8,06 | 1,2 | 6,7 | 2,52 | 0,4 | 6,3 |
| Озимий ячмінь Луран | Комплекси удобрення ($N_{90}P_{60}K_{60}$) | 0,175 | 1,3 | 0,13 | 6,09 | 1,6 | 3,80 | 1,72 | 0,7 | 2,45 |
| | Суперфосфат простий (P_{60}) | 0,267 | 1,3 | 0,2 | 6,71 | 1,6 | 4,19 | 1,59 | 0,7 | 2,27 |
| | Калій хлористий (K_{60}) | 0,167 | 1,3 | 0,12 | 6,50 | 1,6 | 4,06 | 1,55 | 0,7 | 2,21 |
| | Аміачна селітра (N_{90}) | 0,289 | 1,3 | 0,22 | 7,45 | 1,6 | 4,65 | 1,84 | 0,7 | 2,62 |

Характеризуючи коефіцієнт небезпеки свинцю, цинку та міді в зерні озимої пшениці необхідно зазначити, що цей показник був вищим за удобрення ґрунтів суперфосфатом простим у 2,38, 1,4, 1,08 раза, калієм хлористим у 1,09, 1,2 та 1,08 раза та аміачною селітрою у 2,54, 1,06 та 1,04 раза відповідно порівняно з використанням суміші NPK добрив (таблиця 3). Коефіцієнт небезпеки свинцю та цинку в зерні озимого ячменю був вищим під час удобрення ґрунтів суперфосфатом простим у 1,54, 1,08 раза, калієм хлористим у 1,06 і 1,08 раза та аміачною селітрою у 1,62 і 1,28 раза відповідно порівняно з комплексним удобренням $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Висновки. За удобрення мінеральними добривами сірих лісових ґрунтів виявили певний вплив на накопичення важких металів аміачною селітрою (N_{90}), суперфосфатом простим (P_{60}), калієм хлористим (K_{60}), спостерігали вищий вміст свинцю і цинку у зерні озимого ячменю та пшениці порівняно з комплексним удобренням $N_{90}P_{60}K_{60}$ добрив.

Перевищень гранично-допустимих концентрацій за свинцем, цинком і міддю у зерні як озимої пшениці так і озимого ячменю за комплексного удобрення ґрунтів $N_{90}P_{60}K_{60}$ так і N_{90}, P_{60}, K_{60} не спостерігали. Коефіцієнт небезпеки свинцю, цинку та міді у зерні озимої пшениці й ячменю не перевищував граничний показник 1,0, що свідчить про безпечність цієї продукції.

Таблиця 3

Вплив мінерального підживлення ґрунтів на коефіцієнта небезпеки важких металів у зерні озимих зернових культур мг/кг

| Культура | Особливості удобрення ґрунтів | Свинець | | | Цинк | | | Мідь | | |
|--------------------------|--|---------------|-----|-----------|---------------|-----|-----------|---------------|-----|-----------|
| | | Вміст у зерні | ГДК | $K_{неб}$ | Вміст у зерні | ГДК | $K_{неб}$ | Вміст у зерні | ГДК | $K_{неб}$ |
| Озима пшениця Акратос | Комплекси удобрення ($N_{90}P_{60}K_{60}$) | 0,159 | 0,5 | 0,31 | 7,58 | 50 | 0,15 | 2,45 | 10 | 0,24 |
| | Суперфосфат простий (P_{60}) | 0,371 | 0,5 | 0,74 | 10,86 | 50 | 0,21 | 2,63 | 10 | 0,26 |
| | Калій хлористий (K_{60}) | 0,171 | 0,5 | 0,34 | 9,17 | 50 | 0,18 | 2,61 | 10 | 0,26 |
| | Аміачна селітра (N_{90}) | 0,397 | 0,5 | 0,79 | 8,06 | 50 | 0,16 | 2,52 | 10 | 0,25 |
| Озимий ячмінь Луран | Комплекси удобрення ($N_{90}P_{60}K_{60}$) | 0,175 | 0,5 | 0,35 | 6,09 | 50 | 0,12 | 1,72 | 10 | 0,17 |
| | Суперфосфат простий (P_{60}) | 0,267 | 0,5 | 0,53 | 6,71 | 50 | 0,13 | 1,59 | 10 | 0,16 |
| | Калій хлористий (K_{60}) | 0,167 | 0,5 | 0,33 | 6,50 | 50 | 0,13 | 1,55 | 10 | 0,15 |
| | Аміачна селітра (N_{90}) | 0,289 | 0,5 | 0,57 | 7,45 | 50 | 0,14 | 1,84 | 10 | 0,18 |

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Panfilova A., Gamayunova V., Smirnova I. Influence of fertilizing with modern compPbex organic-mineral fertilizers to grain yield and quality of winter wheat in the southern steppe of Ukraine. *Journal of Agricultural Science*. 2020. № 2. P. 196–201.
2. Neupane D., Adhikari P., Bhattarai D., Rana B., Ahmed Z., Sharma U., Adhikari D. Does climate change affect the yield of the top three cereals and food security in the world?. 2022. *Earth*. № 3(1). P. 45–71.
3. Зіновчук Н. В. Аналіз негативних екологічних впливів на сільське господарство України. *Вісник ДАУ*. 2006. № 1(16). С. 143–149.
4. Razanov S., Husak O., Polishchuk M., Bakhmat O., Koruniak O., Symochko L., Ovcharuk I. Accumulation peculiarities of heavy metals in cereal crops grains of different vegetation period in conditions of the forest steppe of the right bank of Ukraine. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2022. Vol. 12 (3). P. 43–50.
5. Ткачук О. П., Панкова С. О. Біоіндикаційний прояв у насадженнях полезахисних лісосмуг внаслідок забруднення довкілля заходами інтенсифікації землеробства. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № 2 (29). С. 99–111.
6. Піддубна А. М. Інтенсивність накопичення важких металів редискою та салатом вирощених на закритих ґрунтах в умовах Лісостепу правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № 2 (29). С. 192–202.
7. Silbergeld E. K., Waalkes M. L., Rice J. M. Lead as a carcinogen: experimental evidence and mechanisms of action. *American journal of industrial medicine*. 2000. № 38 (3). P. 316–323.
8. Adriano D. C. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry Bioavailability and Risk of Metals. New York : Springer. 2001. 860 p.
9. ДСТУ ISO 6644:2008. Зернові та продукти їх помелу. Автоматичне відбирання проб механічними засобом. [Чинний від 01.09.2008]. К.: Держспоживстандарт України, 2010. 12 с.
10. ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина Настави щодо складання програм відбирання проб. [Чинний від 2006.04.01]. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 29 с.