

НАДХОДЖЕННЯ ОКРЕМИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У БУЛЬБИ КАРТОПЛІ СОРТУ ДЖЕЛЛІ ПРИ ПОЗАКОРЕНЕВОМУ ЇЇ ПІДЖИВЛЕННІ НА ЗЕМЛЯХ, ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ

Вінічук Михайло Маркович

доктор біологічних наук, професор

Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна

ORCID: 0000-0002-8042-9282

kgt_vmm@ztu.edu.ua

Приведено результати трирічного (2014–2016 рр) дослідження позакореневого підживлення посівів картоплі сорту Джеллі водними розчинами цинку, марганцю та їх хелатованими аналогами у складі ЕДТА у різні фази росту та розвитку рослин. Дослідження проводились на дерново-середньопідзолистих глейових слабоповерхнево оглеєних супіщаних ґрунтах Полісся України, забруднених радіонуклідами після аварії на Чорнобильській АЕС.

Встановлено, що в результаті позакореневого підживлення посівів картоплі у фазі повних сходів, стеблуння, цвітіння та дозрівання концентрація цинку та марганцю у бульбах картоплі на час збирання урожаю знижується на 30–40%, а урожайність бульб, як правило, зростає.

Позакореневе підживлення посівів картоплі впливає на величину надходження інших макро- та мікроелементів у бульби. Так, коефіцієнти накопичення бульбами картоплі калію в результаті удобрення знижуються на 14–26%, заліза на 46–54% та міді на 21–45% залежно від фази росту та розвитку рослин на час обприскування. Стосовно концентрації бору у бульбах картоплі результати суперечливі: концентрація його дещо знижується при удобренні посівів розчином цинку, але зростає при підживленні посівів розчином марганцю та комплексним удобренням (ЕДТА).

Позакореневе підживлення посівів картоплі хелатованими формами комплексу мікроелементів (ЕДТА) у фазу повних сходів забезпечує приріст урожаю бульб на 22%. При підживленні рослин у фазу стеблуння водні розчини цинку та марганцю підвищують урожай бульб на 12–14%, а ЕДТА – на \approx 40%. При обприскуванні посівів у фазу цвітіння ефективним виявився лише водний розчин марганцю, що забезпечує підвищення урожаю бульб картоплі на 30,5%. Обприскування посівів картоплі у фазу дозрівання бульб не призводить до підвищення їх урожайності.

Позакореневе підживлення водним розчином цинку не впливає на перехід радіоцезію з ґрунту у бульби картоплі, тоді як удобрення водним розчином марганцю у фазі цвітіння та дозрівання забезпечує зниження переходу радіонуклідів у бульби картоплі на 12–18%. Хелатні форми мікродобрив виявились більш ефективними і забезпечували зниження переходу радіонуклідів у бульби при обприскуванні посівів у фазі стеблуння, цвітіння та дозрівання на 20, 18 та 21% відповідно.

Ключові слова: ґрунт, залізо, калій, марганець, мідь, картопля, радіоцезій, цинк.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.5>

Вступ

Наявність чи відсутність мікроелементів, зокрема есенціальних, таких як, наприклад, цинк (Zn), марганець (Mn), залізо (Fe) або мідь (Cu) суттєво впливають на ростові процеси у рослин, їх розвиток, а також можуть викликати різного роду біогеохімічні ендемічні захворювання. Картопля потребує збалансованого вмісту в ґрунті легкодоступних поживних речовин, як макроелементів, так і мікроелементів. Для оптимізації поживного режиму картоплі, у першу чергу, велике значення мають такі мікроелементи як бор, марганець, мідь, цинк, молібден (Pyhovec et al., 2007). Підживлення картоплі азотними добривами та комплексними мікродобривами, які забезпечують надходження у ґрунт мікроелементів, а саме Zn, Mn, що має важливе значення для повноцінного метаболізму в картоплі, гарантують стабільне підвищення врожайності незалежно від погодних умов (Nikonchuk, 2014).

Цинк – один з важливих елементів для росту рослин картоплі і відіграє важливу роль як структурний та функціональний компонент клітини, а також як активатор багатьох ферментативних реакцій. З мікроелементів у бульбах, крім міді, найбільше марганцю й цинку, менше – кобальту, йоду, нікелю та молібдену. Вважається що рослини картоплі середньо чутливі як до

нестачі цинку, так і нестачі марганцю, і порівняно мало чутливі до дефіциту міді (Alloway, 2008). На формування 10 т бульб потрібно 25 г бору, 20 г міді, 70 г марганцю, 1 г молібдену, 65 г цинку (Lykhochvor et al., 2014; Fedotova et al., 2008). Нестачу цих елементів за звичай компенсують мікродобривами, які можна вносити в ґрунт разом із мінеральними добривами, обробляти бульби їх розчином одночасно з протруюванням або обприскувати рослини в період вегетації разом з внесенням фунгіцидів (Koval et al., 2011). Цинк у рослинах картоплі вважається проміжним за рухливістю у флоемі (Marschner, 1995). Концентрація цинку є вищою в шкірі, ніж у м'якоті бульб (близько 17% загального цинку бульб), але з врахуванням маси шкірки та м'якоті бульб, остання все ж містить більше цинку, ніж поверхневі шари. Як марганець так і цинк зосереджені переважно в центральному зрізі м'якоті бульби з піком концентрації біля точки прикріплення столона (Subramanian et al., 2011).

Ефект від позакореневого підживлення посівів картоплі мікроелементами залежить від вимог культури до того чи іншого мікроелемента та його вмісту у ґрунті у доступних для рослини формах. Позитивний ефект позакореневого підживлення мікроелементами, зокрема цинком, в основному пояснюються низьким вмістом

у ґрунті насамперед цинку та марганцю. Так, у досліджах на сильновивітраних (Ferrasols) ґрунтах (Badillo-Feliciano et al., 1979) статистично значимий приріст бульб картоплі спостерігається при внесенні 3,3 кг га⁻¹ цинку. На суглинистих (pH 6,4) ґрунтах з вмістом цинку 7,06 мг кг⁻¹ приріст бульб картоплі отримали при обприскуванні посівів цинком з розрахунку 5,0 кг га⁻¹ цинку (Khan et al., 2019). У інших досліджах Banerjee et al., (2017) найвищі урожаї та найкращу якість картоплі на суглинистих ґрунтах отримували при обприскуванні посівів з у дозі 4,5 кг га⁻¹ цинку у поєднанні з рекомендованими дозами NPK (Banerjee et al., 2017). Натомість позакореневе внесення цинку на посівах картоплі вирощуваних на ґрунтах з достатнім рівнем його забезпеченості не призводить до зростання урожайності бульб. Так, позакореневе внесення цинку з розрахунку 1-2 кг на 1 га на посівах картоплі вирощуваних на таких ґрунтах навпаки призводить до зниження урожаю бульб картоплі, зокрема через надмірно високу (токсичну) концентрацію цього елемента у листках рослин (97–224 г г⁻¹) (Sanderson et al., 1990).

Як свідчать дані дослідів, ефективним виявилось позакореневе підживлення посівів картоплі мікроелементами у формі хелатів. Так, на супіщаних дерново-підзолистих ґрунтах Полісся України підживлення посівів картоплі хелатами, окрім одержання високого урожаю забезпечує також збільшення виходу стандартних за розмірами садивних бульб (Karmazina et al., 2011). Позакореневе застосування хелатів цинку (1, 2 та 3 кг га⁻¹) на ґрунтах розвинених на вулканічних відкладах з високим вмістом вулканічного скла і аморфного колоїдного матеріалу (алофани Andosols) призвело до збільшення урожаю бульб на 24% (López et al., 2014). Суттєвий приріст урожаю картоплі забезпечує дворазове позакореневе підживлення комплексним мікродобривом на сірих опідзолених поверхнево-оглеєних ґрунтах (Alokhin, 2016).

Марганець бере участь у процесах активації цілого ряду рослинних ферментів, у процесі фотосинтезу, метаболізму та асиміляції азоту, переміщенні речовин по органах рослин, тощо. Відомо, що при позакореновому внесенні марганцю на посівах картоплі збільшується як врожайність бульб, так і їх якість (Hiller, 1995; Walworth, 1998).

Існує цілий ряд досліджень, у яких доведено позитивний вплив сумісного використання цинку та марганцю у якості позакоренового удобрення на посівах картоплі. Так, за деякими даними (Mousavi et al., 2007), використання марганцю та цинку збільшує як урожайність картоплі, так і підвищує вміст сухої речовини у бульбах. Також доведено (Mousa, 2009), що позакореневе підживлення посівів картоплі 13% сульфатом цинку та 15% сульфатом марганцю з розрахунку 1,5 г на один літр розчину кожних два тижні збільшують як кількість, так і розмір товарних бульб. Одночасне обприскування посівів картоплі розчинами цинку (10,0 мг на один літр) та марганцю (10,0 мг на один літр) забезпечує позитивний вплив на висоту рослин, кількість бульб, масу бульб, урожайність картоплі та її якість, а саме вміст білку (Kaur et al., 2019). Позакореневе обприскування рослин картоплі як розчином цинку, так і марганцю суттєво впливає на

надходження інших елементів у бульби. Так, доведено (Mousavi et al., 2007), що при обприскуванні посівів картоплі цинком відсоток цього мікроелемента у бульбах зростає, тоді як відсоток, наприклад фосфору, навпаки зменшується. При обприскуванні посівів марганцем вміст останнього у бульбах також зростає, але таке підвищення концентрації не справляє суттєвого впливу на відсоток цинку, фосфору та калію у бульбі. При сумісному обприскуванні посівів картоплі розчинами цинку та марганцю відсоток обох елементів у бульбах зростає, а вміст фосфору знижується, хоча і не суттєво.

Мікроелементи, у тому числі цинк, можуть проявляти як синергічні, так і антагоністичні взаємодії з іншими макро- та мікроелементами. Такі взаємодії можуть виникати, наприклад, між цинком та фосфором, якого картопля потребує у порівняно великих кількостях. Так, згідно даних (Barbenet et al., 2007) антагоністичні взаємодії виникають між цинком та фосфором при їх надходженні у бульби картоплі. При збільшенні концентрації цинку у розчині вмісту його у всіх частинах рослин зростає при одночасному зниженні вмісту у рослині фосфору. Водночас, підвищення у розчині концентрації фосфору не впливає на поглинання або розподіл цинку у картоплі, але сприяє зростанню у бульбах марганцю, на що опосередковано впливає вміст цинку у картоплі. Тому, хоча високий рівень фосфору у картоплі безпосередньо не зменшує вміст цинку, проте може знижувати активність останнього, зокрема взаємодіючи з іншими мікроелементами, такими як марганець.

Ефективність позакоренового підживлення посівів картоплі залежить від ряду чинників, а саме рівня родючості ґрунту та забезпечення його доступними формами мікроелементів, погодних умов конкретного року, та інших факторів. Ґрунти Полісся характеризуються порівняно невисоким вмістом мікроелементів. Тому, позакореневе підживлення рослин в цих умовах може бути ефективним прийомом, хоча результати подібних досліджень у літературі майже відсутні. Крім того, значна частина території Українського Полісся все ще перебуває в зоні радіоактивного забруднення в результаті аварії на Чорнобильській АЕС (Dobriak et al., 2018). Найбільші площі угідь, забруднених радіоцезієм, поширені саме в Житомирській області. Це переважно Народицький, Овруцький, частково Лугинський, Коростенський та Олевський райони, що становить близько половини від загальної території та близько половини орних земель (Natsionalna dopovid Ukrainy, 2011; Methodyuka, 2007). Вплив позакоренового підживлення мікроелементами посівів сільськогосподарських культур на цих землях практично не досліджувався. Крім підвищення рівня урожайності сільськогосподарських культур та поліпшення якості продукції, мікроелементи за в умови використання їх на забруднених радіонуклідами землях також можуть набувати інших властивостей, а саме впливати на перехід радіонуклідів з ґрунту у рослини. Для регіонів Полісся це особливо актуально, оскільки, ґрунти у цій зоні переважно бідні, як за вмістом основних макроелементів, так і мікроелементів, серед яких цинк та марганець. Як свідчать окремі дані (Hudkovet al., 1998; Hrusha, et al., 2009), використання солей цинку і марганцю, як

у вигляді комплексонатів, так і у водних розчинах знижує перехід радіонуклідів у вегетативній масі люпину на 37%, а ріпаку – на 58 %.

З огляду на приведені вище, метою нашої роботи було дослідити дію водних розчинів солей цинку і марганцю та їх хелатованих форм у якості позакореневого підживлення посівів картоплі на надходження і розподіл цих та інших мікроелементів у бульбах (1); величину урожаю бульб (2) та перехід радіоцезію з ґрунту у бульби (3). Оскільки думки авторів щодо термінів проведення позакореневого підживлення посівів також суттєво відрізняються, обприскування проводили у різні фази росту та розвитку картоплі. Вибір культури дослідження обумовлений важливістю картоплі як продовольчої культури, а також тим, що даний сорт має високий потенціал урожайності, за своїми вимогами підходить для вирощування на території України, добре пристосовується для будь-якого типу ґрунту.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились протягом 2014-2016 років на землях забруднених радіонуклідами, на території селища Базар, Житомирської області (51°03'19»N 29°17'54»E). Площа дослідної ділянки ≈ 400 м². Тип ґрунту – дерново-підзолистий, *глейовий слабоповерхнево оглеєний* супіщаний на водно-льодовикових відкладеннях, з низьким вмістом найбільш біологічно важливих мікроелементів (табл. 1).

Як видно з даних таблиці, вміст обмінного калію рухомого фосфору у ґрунті характеризується як низький. Значення рН ґрунту 6,3, що є у межах оптимальних для культури.

Для позакореневого підживлення використовували водні розчини сірчаноокислого цинку (ZnSO₄), сульфат марганцю (MnSO₄), а також їх хелатовані аналоги – етилендіамінтетраоцтову (ЕДТА) кислоту з вмістом 25 та 20% цинку та марганцю відповідно. Сірчаноокислий цинк та сульфат марганцю розчиняли у воді з розрахунку 200

г ZnSO₄ на 80 літрів води та 300 г MnSO₄ на 80 л води на один гектар відповідно, що забезпечувало концентрацію 0,05% (Ekelöf et al., 2001). ЕДТА (хелат) використовували за рекомендацією виробника: 0,5-1,0 л розчину, розчиненого у 80 л води на один гектар. Рослини обприскували з допомогою ручного помпового розпилювача об'ємом 2 л під тиском. Кількість розчину коригувалась на площу окремих ділянок експерименту. З метою уникнення можливих взаємодій між досліджуваними мікро- та макроелементами мінеральні добрива у досліді не використовувались. Рослини обприскували чотири рази протягом вегетаційного періоду: повні сходи (1), стеблуння (2), цвітіння (3), дозрівання бульб (4).

Варіанти досліді: 1 – контроль; 2 – розчин сульфату цинку (ZnSO₄); 3 – розчин сульфату марганцю (MnSO₄); 4 – ЕДТА (хелат). Культура – картопля (*Solanum tuberosum*), середньоранній сорт Джеллі, селекційної компанії Europlant Pflanzenzucht GMBH. Повторність досліді – чотирикратна.

Погодні умови за період досліджень по метеостанції Овруч представлені у таблиці 2.

Зразки як бульб, так і ґрунту (за результатами 2014 року) аналізували на вміст заліза (Fe), калію (K), марганцю (Mn), міді (Cu), цинку (Zn) та бору (B), мг/кг сухої ваги (с.в.) з використанням мас-спектрометричного аналізу (ICP, Optima 7300 DV). Зразки рослин та ґрунту (за результатами 2014–2016 рр.) також аналізувались на вміст ¹³⁷Cs з використанням детектора NaI. Для дослідження розподілу мікроелементів в системі ґрунт – рослина використовували коефіцієнт біологічного накопичення (КН) – відношення вмісту елемента в бульбах картоплі (мг/кг) до вмісту в ґрунті (мг/кг). Коефіцієнти переходу ¹³⁷Cs (КП, м²/кг) з ґрунту у рослини розраховано шляхом відношення активності концентрації радіонукліду в бульбах картоплі (Бк/кг) до щільності забруднення ґрунту (Бк/м²).

Таблиця 1

Концентрація окремих мікро- та мікроелементів у ґрунті дослідної ділянки, М±SD, n = 6

мг/100г ґрунту с.в.									
K		P		Na		Ca		Mg	
AL*	HCl*	AL	HCl	AL	HCl	AL	HCl	AL	HCl
6,4±1,3	34,2±3,5	4,3±0,71	33,4±3,9	0,11±0,08	1,7±0,87	75,3±13,0	126,6±22,7	4,0±0,91	41,1±5,5

* AL – легкодоступні форми; HCl – кислоторозчинні (загальна кількість)

Таблиця 2

Температура та опади за період 2014–2016 роки по метеостанції м. Овруч

Показники	Квітень			Травень			Червень			Липень		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
2014												
Температура, °С	6,3	8,9	13,8	11,3	15,8	19,7	19,4	15,8	15,4	18,4	21,5	22,2
Опади, мм	13,6	8,6	0,3	30,2	70	15	38,5	13	10,7	85,5	37,9	–
2015												
Температура, °С	3,8	7,9	12,0	12,1	13,0	17,7	19,6	19,2	18,5	21,4	17,7	20,2
Опади, мм	7	21	7	29	9	3	–	18	0,6	12	11	12
2016												
Температура, °С	11,3	11,9	9,3	14,4	12,4	17,4	16,1	18,9	23,8	19,3	21,6	21,7
Опади, мм	16	21	8	9	55	26	3	24	0	3	37	38

Результати. На рис. 1 приведені рівні врожайності бульб картоплі та концентрація цинку і марганцю у них після збирання урожаю залежно від фаз росту та розвитку рослин, під час яких проводилось їх позакореневе підживлення за даними 2014 року. Як видно з графіків, між рівнем урожайності бульб картоплі та величиною концентрації у них цинку та марганцю зв'язок відсутній. Так, при підживленні посівів картоплі розчинами як цинку, так і марганцю, концентрація цих елементів у бульбах після збору урожаю виявилась не вищою, а навпаки нижчою, ніж у бульбах контрольного варіанту. Особливо це помітно у випадку з марганцем, вміст якого у бульбах картоплі в результаті обприскування зменшився приблизно вдвічі (рис. 1). При обприскуванні посівів розчином цинку концентрація цього елементу у бульбах картоплі на час збирання урожаю також виявилась нижчою, ніж у бульбах, що вирощувались без удобрення. Урожайність бульб при позакореновому підживленні досліджуваними мікроелементами, як правило, зростає. Так, підживлення посівів картоплі як водним розчином марганцю, так і комплексним добривом забезпечує приріст урожаю бульб у середньому майже на 30%. При позакореновому підживленні водним розчином цинку підвищення урожайності бульб спостерігалось лише у випадку, коли посіви удобрювались у фазі стеблуння та достигання бульб, тоді як обприскування у фазі повних сходів та цвітіння не впливало на рівень урожайності бульб. Отже, закономірного приросту урожаю бульб від удобрення цинком у 2014 році не спостерігалось (рис. 1).

Встановлено, що при позакореновому підживленні посівів картоплі розчином цинку та марганцю коефіцієнти накопичення бульбами окремих як макро- так і мікроелементів, таких як заліза, калію, марганцю, міді, цинку та бору, як правило, знижуються. Так, при обприскуванні посівів картоплі розчином цинку перехід згаданих елементів з ґрунту у бульби (коефіцієнти накопичення, КН), зменшувались у порівнянні з контрольним варіантом для заліза на 47–57%, марганцю на 25–43%, цинку на 9–58%, калію на 20–24%, міді на 23–51%, бору на 33–76% (табл. 3). Разом з тим, при обприскуванні рослин у фазі цвітіння та дозрівання КН для бору та міді навпаки, перевищували значення контрольного варіанту на 23 та 20% відповідно. При позакореновому удобренні картоплі розчином марганцю особливо помітно зменшувалось надходження у бульби заліза – на 36–60%, та марганцю – на 32–84%.

Підживлення марганцем також зменшує надходження у рослини міді – на 21–45%, цинку – на 4–40%, калію – на 5–18%. При цьому КН рослинами бору у бульбах дослідних варіантів, навпаки, виявились вищими, ніж на контролі – на 9–64% залежно від фази росту та розвитку рослин на час обприскування (табл. 3).

Аналогічні результати були отримані при підживленні посівів картоплі комплексним добривом (ЕДТА). Так, КН у бульбах дослідного варіанту виявились нижчими ніж на контролі на 47–65% для заліза, на 40–68% для марганцю, на 36–58% для міді, на 30–60% для цинку та на 23–28% для калію. КН бору у бульбах дослідного варіанту, навпаки, виявились у середньому на 20% вищими,

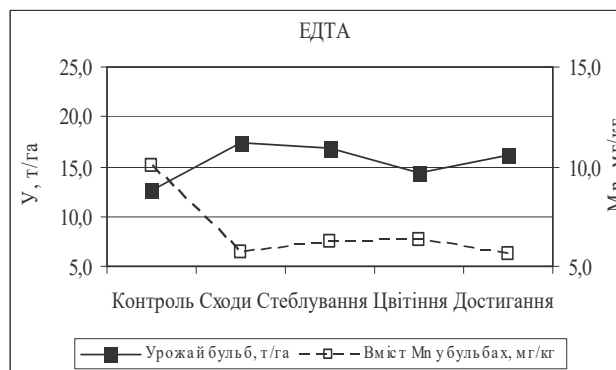
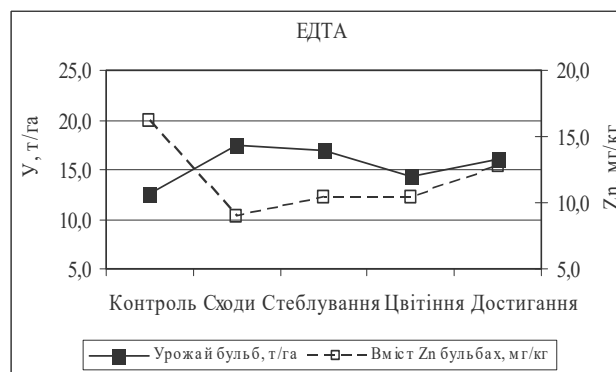
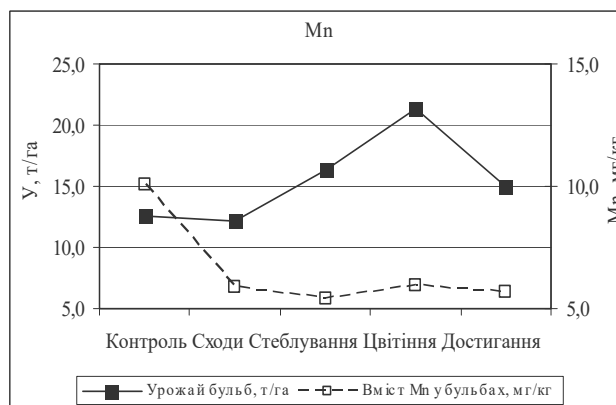
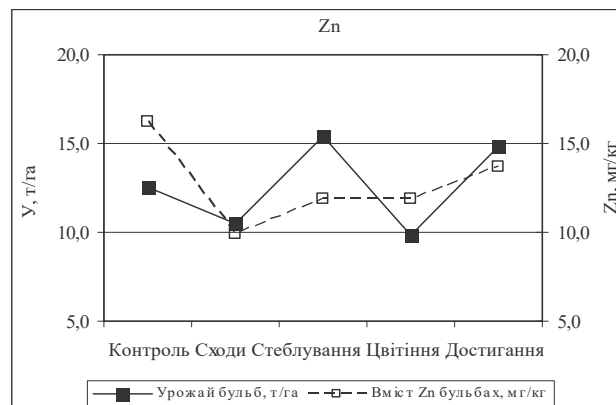


Рис. 1. Урожайність бульб картоплі та вміст у них мікроелементів при обприскуванні посівів у різні фази росту та розвитку, 2014 р.

а при обприскуванні у більш пізні фази – стеблуння та достигання на 32–54% вищими, ніж на контролі.

Усереднені дані досліджень (2014–2016 рр.) показують, що позакореневе підживлення посівів картоплі у фазу повних сходів збільшує урожайність бульб на

Коефіцієнти накопичення (КН) досліджуваних елементів та їх вміст у бульбах картоплі та ґрунті (мг/кг), 2014 р.

Фази росту та розвитку	Показники	Елементи					
		Fe	K	Mn	Cu	Zn	B
Контроль							
	КН	0,015	30,6	0,025	0,943	0,958	0,840
Контроль	бульби	<u>45,3</u>	<u>14658,6</u>	<u>10,1</u>	<u>2,8</u>	<u>16,2</u>	<u>5,0</u>
	ґрунт	3060,6	478,6	397,9	3,0	17,0	6,0
ZnSO ₄							
Сходи	КН	0,0078	24,6	0,019	0,557	0,406	0,487
	бульби	<u>25,5</u>	<u>12766,2</u>	<u>5,9</u>	<u>1,7</u>	<u>9,9</u>	<u>5,2</u>
	ґрунт	3276,1	518,7	314,5	3,1	24,5	10,6
Стеблування	КН	0,0066	24,2	0,013	0,822	0,757	0,205
	бульби	<u>24,6</u>	<u>13541,3</u>	<u>5,4</u>	<u>2,3</u>	<u>11,9</u>	<u>4,2</u>
	ґрунт	3702,3	560,8	405,7	2,8	15,7	20,6
Цвітіння	КН	0,0065	23,13	0,007	0,466	0,499	1,04
	бульби	<u>26,4</u>	<u>14894,8</u>	<u>6,0</u>	<u>1,6</u>	<u>11,9</u>	<u>4,7</u>
	ґрунт	4065,3	644,1	908,4	3,4	23,8	4,5
Дозрівання	КН	0,0064	23,97	0,019	1,128	0,876	0,562
	бульби	<u>20,6</u>	<u>13991,7</u>	<u>5,7</u>	<u>3,3</u>	<u>13,7</u>	<u>4,4</u>
	ґрунт	3236,5	583,7	297,4	3,0	15,6	7,8
MnSO ₄							
Сходи	КН	0,0085	29,0	0,012	0,743	0,924	0,950
	бульби	<u>35,8</u>	<u>15999,9</u>	<u>7,6</u>	<u>2,5</u>	<u>16,2</u>	<u>4,8</u>
	ґрунт	4214,2	551,6	639,5	3,3	17,6	5,1
Стеблування	КН	0,0095	25,3	0,017	0,625	0,697	1,38
	бульби	<u>29,4</u>	<u>12597,0</u>	<u>6,5</u>	<u>2,0</u>	<u>11,8</u>	<u>4,1</u>
	ґрунт	3083,2	497,9	377,9	3,2	17,0	3,0
Цвітіння	КН	0,0059	25,9	0,004	0,576	0,528	1,24
	бульби	<u>23,4</u>	<u>13741,0</u>	<u>5,7</u>	<u>1,8</u>	<u>11,3</u>	<u>4,8</u>
	ґрунт	3966,6	529,1	1435,5	3,0	21,4	3,9
Дозрівання	КН	0,0081	25,1	0,017	0,515	0,579	0,919
	бульби	<u>26,5</u>	<u>14111,4</u>	<u>6,4</u>	<u>1,8</u>	<u>11,2</u>	<u>4,7</u>
	ґрунт	3254,0	563,2	370,1	3,4	19,4	5,1
EDTA							
Сходи	КН	0,0051	23,26	0,008	0,396	0,384	0,909
	бульби	<u>20,9</u>	<u>15898,2</u>	<u>5,7</u>	<u>1,4</u>	<u>9,0</u>	<u>5,3</u>
	ґрунт	4073,5	683,5	705,9	3,4	23,5	5,8
Стеблування	КН	0,0079	23,7	0,015	0,600	0,565	0,760
	бульби	<u>25,1</u>	<u>13046,4</u>	<u>6,3</u>	<u>1,9</u>	<u>10,4</u>	<u>5,1</u>
	ґрунт	3181,5	551,7	412,8	3,2	18,4	6,7
Цвітіння	КН	0,0075	21,9	0,017	0,487	0,539	1,29
	бульби	<u>24,9</u>	<u>12627,1</u>	<u>6,3</u>	<u>1,7</u>	<u>10,5</u>	<u>4,4</u>
	ґрунт	3321,0	575,5	361,5	3,5	19,4	3,4
Дозрівання	КН	0,0073	22,4	0,013	0,573	0,672	1,11
	бульби	<u>25,2</u>	<u>12299,5</u>	<u>5,6</u>	<u>1,9</u>	<u>12,7</u>	<u>3,9</u>
	ґрунт	3474,0	549,3	443,7	3,4	18,9	3,5

≈ 22% у порівнянні з контролем у випадку використання хелатованих форм мікроелементів (ЕДТА) (табл. 4). При позакореновому підживленні посівів картоплі у фазу стеблування статистично значущий приріст урожаю бульб забезпечують усі три варіанти удобрення – водні розчини цинку, марганцю та комплексне добриво (ЕДТА). При удобренні картоплі водними розчинами цинку та марганцю урожай бульб зростає на 12–14%, а при удобренні ЕДТА – на ≈ 40% (табл. 4). При обприскуванні посівів картоплі у фазу цвітіння приріст урожаю бульб забезпечує лише водний розчин марганцю (30,5%), а при обприскуванні у фазу дозрівання жодний з варіантів удобрення

не забезпечує підвищення урожайності бульб. Отже, обприскування рослин картоплі у середині вегетації (стеблування – цвітіння) є більш ефективним для отримання вищого рівня урожаю бульб, ніж на початку (фаза повних сходів) та у кінці (фаза дозрівання) вегетації.

На рис. 2 показано величини коефіцієнтів переходу ¹³⁷Cs (КП) з ґрунту у бульби картоплі, а також вміст у них мікроелементів при обприскуванні посівів у різні фази росту та розвитку за 2014 рік. Як видно з рисунків при підживленні посівів досліджуваними мікроелементами, як КП ¹³⁷Cs з ґрунту у бульби картоплі, так і концентрація у них цинку та марганцю знижуються у порівнянні

Вплив позакореневого підживлення мікроелементами на врожайність бульб картоплі, $M \pm SD$, т/га (2014–2016), $n = 4$

Варіанти	Фази росту та розвитку на час обприскування *			
	сходи	стеблування	цвітіння	дозрівання
Контроль	11,95±2,7a	11,95±2,7a	11,95±2,7a	11,95±2,7
ZnSO ₄	11,39±2,8	13,36±3,8b	10,27±2,4	11,54±3,8
MnSO ₄	10,90±2,4	13,59±3,2b	15,60±4,9 b	11,95±3,0
EDTA	14,57±2,6b	16,71±4,3b	12,71±2,7	11,68±3,7

* різниця між значенням з різними індексами у межах стовпчика є статистично значущою при $p < 0,05$.

з контролем. Так, у варіанті з водним розчином цинку найвищий ефект зниження КП ¹³⁷Cs ($\approx 40\%$) спостерігався при обприскуванні посіви у фазу цвітіння, тоді як у варіанті з марганцем – у фазу повних сходів ($\approx 40\%$). Використання комплексного добрива знижує КП ¹³⁷Cs з ґрунту у бульби картоплі у 2 рази у порівнянні з контрольним варіантом при обприскуванні посіви як у фазу повних сходів, так і цвітіння.

У таблиці 5 приведені величини коефіцієнтів переходу радіонукліду з ґрунту у бульби картоплі в середньому за 2014–2016 роки досліджень. Як видно з даних таблиці позакореневе підживлення водним розчином цинку у всі досліджувані фази росту та розвитку не впливає на перехід радіонукліду у бульби картоплі. Навпаки, перехід радіонукліду з ґрунту у бульби картоплі у при підживленні цинком у фази сходів, стеблування та цвітіння виявився вищим, ніж на контролі. Підживлення водним розчином марганцю у пізніші фази росту та розвитку рослин (цвітіння та дозрівання) забезпечує зниження переходу радіонукліду у бульби картоплі на 12–18%. Використання хелатних форм мікродобрив (EDTA) забезпечує статистично значуще зниження переходу радіонукліду у бульби при обприскуванні посівів у фазу стеблування, цвітіння та дозрівання на 20, 18 та 21% відповідно (табл. 5).

Величини коефіцієнтів переходу радіонукліду з ґрунту у бульби картоплі, очищені від шкарлупи мало відрізнялись від величин коефіцієнтів переходу радіонукліду з ґрунту у неочищені від шкарлупи бульби картоплі. У середньому, підживлення посівів картоплі цинком, марганцем та їх хелатними формами забезпечує зниження величин КП ¹³⁷Cs для очищених бульб картоплі на 26, 19 та 37% відповідно. При обприскуванні картоплі у фази сходів, стеблування та цвітіння КП ¹³⁷Cs для очищених бульб знижуються на 28, 43 та 24% відповідно у порівнянні з контрольним варіантом (табл. 5), тоді як при обприскуванні у фазу дозрівання – на 14%. При позакореневому підживленні посівів картоплі досліджуваними мікроелементами найбільш помітне та статистично значиме зниження величин КП ¹³⁷Cs спостерігалось для картопляних очисток. Вміст радіонукліду у очистках картоплі дослідних варіантів зменшувався \approx на 40% у порівнянні з контролем не залежно від фази росту та розвитку рослин на момент обприскування (табл. 5).

Обговорення. Як показано вище, позакореневе підживлення картоплі розчинами цинку та марганцю істотно впливає на концентрацію цілого ряду інших елементів у бульбі. Як цинк, так і марганець, зменшують надхо-

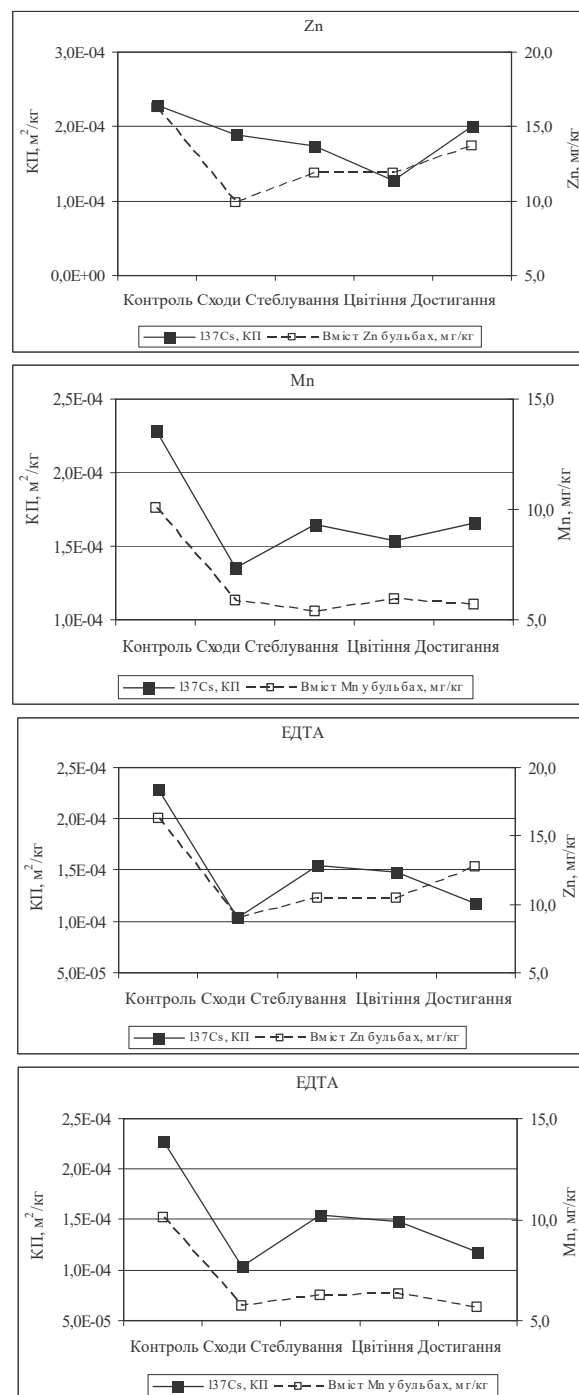


Рис. 2. Коефіцієнти переходу (КП) ¹³⁷Cs з ґрунту у бульби картоплі та вміст у них мікроелементів при обприскуванні посівів у різні фази росту та розвитку, 2014 р.

Коефіцієнти переходу ^{137}Cs (КП) для бульб картоплі, $M \pm SD$, $\times 10^{-4}$ м²/кг с.в. (2014–2016)

Варіанти	Фази росту та розвитку на час обприскування*			
	сходи	стеблування	цвітіння	дозрівання
бульби неочищені від шкарлупи				
Контроль	3,14±1,5	3,14±1,5 ^a	3,14±1,5 ^a	3,14±1,5 ^a
ZnSO ₄	3,70±1,8	3,32±1,4	3,27±1,8	2,88±1,4
MnSO ₄	3,00±1,8	3,05±1,4	2,60±1,2 ^b	2,77±1,4
EDTA	2,91±1,6	2,52±1,5 ^b	2,58±1,5 ^b	2,48±1,7 ^b
бульби очищені від шкарлупи				
Контроль	3,76±0,9 ^a	3,76±0,9 ^a	3,76±0,9 ^a	3,76±0,9
ZnSO ₄	3,17±1,1	1,90±1,7	2,90±1,3	3,21±1,2
MnSO ₄	2,74±0,9 ^b	2,69±1,2	3,44±1,8	3,37±1,9
EDTA	2,20±0,8 ^b	1,88±0,3 ^b	2,24±1,6 ^b	3,16±0,3
картопляні очистки				
Контроль	6,75±2,3 ^a	6,75±2,3 ^a	6,75±2,3 ^a	6,75±2,3 ^a
ZnSO ₄	5,08±2,3	4,38±1,5	3,54±0,8 ^b	3,02±0,9 ^b
MnSO ₄	3,52±1,5 ^b	3,76±0,9 ^b	4,14±1,8 ^b	4,72±3,3
EDTA	3,62±1,3 ^b	3,77±0,6 ^b	4,74±3,2 ^b	-

* різниця між значенням з різними індексами у межах стовпчика є статистично значущою при $p < 0,05$.

дження у рослини заліза, калію, марганцю, міді та цинку, але сприяють надходженню бору. Отримані нами дані досить добре підтверджуються результатами інших досліджень. Так, у дослідях групи вчених удобрення (Mousavi et al., 2007) цинком також призводило до збільшення відсотку цинку у бульбі картоплі, але істотно зменшувало відсоток фосфору, тоді як удобрення марганцем спричиняло зростання відсотка марганцю у бульбах, але суттєво не впливало на відсоток цинку, фосфору та калію у них. Існують докази того, що при позакореновому підживленні картоплі бором також має місце взаємодія з макроелементами (NPK). Аналогічні дані були отримані при обприскуванні посівів картоплі розчином цинку. Так, позакоренове підживлення посівів картоплі цинком без фону NPK підвищує урожайність бульб на 17,0–22,3%, тоді як підживлення на фоні NPK забезпечує приріст урожаю бульб на 1,6–3,8% (Spitsyna et al., 2025). З іншої сторони, дефіцит цинку може посилювати токсичність фосфору в пагонах рослин картоплі (Loneragan et al., 1993). Закономірності, що спостерігаються між величиною переходу радіонукліду з ґрунту у бульби картоплі, та концентрацією у них мікроелементів свідчить про можливі як антагоністичні, так синергічні взаємодії між ними. Очевидно, що має значення не лише недостатнє або надлишкове надходження в рослину певних елементів, а також їх співвідношення. Як відомо (Rietra et al., 2017), антагоністична взаємодія часто характерна саме для двохвалентних катіонів.

Отримані дані дають підставу вважати, що ефект зниження рівнів забруднення бульб картоплі радіоцезієм при позакореновому підживленні посівів мікроелементами викликаний поєднанням двох факторів. Перший – за рахунок взаємодії між макро- та мікроелементами, і як результат зниження коефіцієнтів накопичення, за винятком бору. Другий – це приріст урожаю бульб, а отже і відповідного зниження концентрації радіонукліду у них за рахунок розбавлення у більшому об'ємі / масі бульб. Отриманий нами ефект зниження рівнів забруд-

нення бульб картоплі радіоцезієм внаслідок позакоренового підживлення посівів мікроелементами виявився дещо нижчим ефекту підживлення ярого ріпаку й жовтого люпину водними розчинами солей тих же мікроелементів (Hudkov et al., 1998; Hrusha et al., 2009). Разом з тим, наші дані підтверджують висновок про те, що ефективність цинку та марганцю у формі комплексонатів є вищою, ніж у формі їх водних розчинів.

Висновки. Результати досліджень позакоренового підживлення посівів картоплі сорту Джеллі на дерново-середньопідзолистих глейових слабоповерхнево-оглеєних супіщаних ґрунтах Полісся розчинами цинку, марганцю та їх хелатованими формами (ЕДТА) показали наступне:

- концентрація цинку та марганцю у бульбах картоплі в результаті удобрення зменшується, а урожайність їх, як правило, підвищується;
- коефіцієнти накопичення заліза, калію, марганцю, міді та цинку для бульб картоплі знижуються на 25-50% залежно від фази росту та розвитку рослин на час обприскування, тоді як концентрація бору навпаки зростає, особливо при підживленні розчином марганцю та комплексним удобренням (ЕДТА);
- для отримання вищого рівня урожаю бульб позакоренове підживлення у середині вегетації (стеблування – цвітіння) більш ефективно, ніж на початку (фаза повних сходів) та у кінці (фаза дозрівання) вегетації;
- комплексне добриво забезпечує зниження переходу радіоцезію у бульби при обприскуванні посівів у фазу стеблування, цвітіння та дозрівання;
- найбільш вагоме зниження величин КП ^{137}Cs у результаті підживлення цинком та марганцем спостерігається у очистках картоплі.

Подяки. Автор вдячний інженеру кафедри екології Державного університету “Житомирська політехніка” Мандро Ю. Н. за допомогу у проведенні лабораторних та польових досліджень. Даний проект було профінансовано Шведським управлінням з радіаційної безпеки.

Бібліографічні посилання:

1. 25 rokiv Chornobylskoi katastrofy. Bezpeka maibutnoho: Natsionalna dopovid Ukrainy [25 years of Chernobyl accident. Safety of the future: National report of Ukraine]. K. : KIM, 2011, s.75. (356 s) (in Ukrainian).
2. Alloway, B. J. (2008). Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2nd Edition, IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France. 139.
3. Alokhin, V. V. (2016). Vplyv rivniv i sposobiv mineralnogo zhyvlennia na urozhainist, rist i rozvytok roslyn kartopli serednostyhloho sortu Lehenda [Influence of levels and methods of mineral fertilizers application on yield, growth and development of medium-ripe potato variety Legend]. «Young Scientist», 30, 243–248 (in Ukrainian).
4. Badillo-Feliciano, J., & Lugo-Lopes, M. A. (1979). Differential response of corn and sweet potatoes to Zn applications in an Oxisol in northwestern Puerto Rico. *Journal of Agriculture of University of Puerto Rico*, 103, 483–488.
5. Banerjee, H., Sarkar, S., Deb, R., & Chakraborty, I. (2017). A Physiological and Bio-chemical Study. *International Journal of Plant & Soil Science*, 16, 2, 1–13.
6. Barben, S., Nichols, B. A., Hopkins, B. G., Jolley, V. D. Ellsworth, J. W., & Webb, B. L. (2007). Phosphorus and zinc interactions in potato. *Western Nutrient Management Conference*, 7, Salt lake city, UT, 219–223.
7. Dobriak, D.S., & Kuzin, N.V. (2018). Naukovi osnovy vykorystannia zemel v umovakh radiatsiinoho zabrudnennia [Scientific bases of land use in the case of contamination by radionuclides]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 1, 6–12.
8. Ekelöf, J., & Råberg, T. (2001). Vegetable industry's influence on the yield and quality of potatoes. *Area Agriculture – Farming Systems, Technology and Product Quality*, SLU, Alnarp, 99 pp.
9. Fedotova, L. S., Ehorenko, S. A., & Hordeev, R. V. (2008). Efektyvnost prymerenyia khelatov mikroelementov podkormky [The effectiveness of the use of chelates of micronutrients]. *Kartofel y ovoshchy*, 3, 8–9 (in Russian).
10. Hiller, L. K. (1995). Foliar Fertilization Bumps Potato Yields in Northwest: Rate and Timing of Application, Plus Host of Other Considerations, Are Critical in Applying Foliars to Potatoes. *Fluid Journal*, 10, 28–30.
11. Hrusha, V. V., & Hudkov, I. M. (2009). Efektyvnist pozakorenevoho pidzhyvlennia roslyn spolukamy tsynku i marhantsiu u znyzhenni nakopychennia radionuklidiv ta zbilshenni produktyvnosti [The effectiveness of foliar fertilization of crops with zinc and manganese for reducing the radionuclides uptake and increasing productivity]. *Visnyk ZhNAEU*, 2, 48–53. Access mode: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/5890/3/VZNAU_2009_2_48-53.pdf (in Ukrainian).
12. Hudkov, I. M., Hrysiuk, S. M., & Kitsno, V. M. (1998). Zmenshennia nadkhozhenia ¹³⁷Cs i ⁹⁰Sr v silskohospodarski roslyny pid vplyvom mikroelementiv [Reducing of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr uptake by crops after fertilization with trace elements]. *Naukovi visnyk NAU*, 10, 264–269 (in Ukrainian).
13. Karmazina, L. Ie., & Petrenko, A. M. (2011). Efektyvnist pozakorenevoho pidzhyvlennia pid chas vyroshchuvannia kartopli [Efficiency of foliar fertilization of potato]. *Kartopliarstvo*, 40, 224–232 (in Ukrainian).
14. Kaur, M. M., Dishri, S. M., & Singh, S. (2018). Foliar application of zinc and manganese and their effect on yield and quality characters of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Kufri Pukhraj. *Plant Archives*, 18, 1628–1630.
15. Khan, M. W., Roshan, A. R., Saijd, M., Khan, F. A., Hussain, I., & A. Ali. (2019). Effect of potassium and Zinc on growth yield and tuber quality of potato. *Sarhad Journal of Agriculture*, 35, 2, 330–335.
16. Koval, A., & Ilchuk, R. V. (2019). Vplyv makro- ta mikroelementiv na produktyvnist kartopli ta inshykh silskohospodarskykh kultur [Influence of macro- and microelements on the productivity of potatoes and other agricultural crops]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo*, 66, 103–116 (in Ukrainian).
17. Loneragan, J. F., & Webb, M. J. (1993). Interactions between Zinc and Other Nutrients Affecting the Growth of Plants. Chap. 9 in Robson, A.D. (ed.) *Zinc in Soils and Plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 119–134.
18. López, A., Gómez, M. I., & Rodríguez, L. E. (2014). Effect of edaphic and foliar applications of different doses of zinc on the yield of the Criolla Colombia cultivar. *Agronomía Colombiana*, 32, 1, 70–77.
19. Lykhochvor, V.V., Zaviukha, P.D., & Andrushko O.M. (2014). Systema udobrennia kartopli [Potato fertilizer system]. Access mode: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomia-sogodni/item/450/-systema-udobrennia-kartopli.html> (in Ukrainian).
20. Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2nd Edn., London, Academic Press.
21. Metodyka kompleksnogo radiatsiinoho obstezhennia zabrudnenykh vnaslidok Chornobylskoi katastrofy terytorii (za vyniatkom terytorii zony vidchuzhennia) [Methods of complex radiation inspection of the territories contaminated after Chernobyl accident (except for the territory of the exclusion zone)]. *Atika-N. K.* 2007, 60 s (in Ukrainian).
22. Mousa, M. A. A. (2009). Effect of zinc plus manganese foliar application on potato performance and quality. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 40, 17–35.
23. Mousavi, S. R., Galavi, M., & Ahmadvand, G. (2007). Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (*Solanum tuberosum* L.) Faisalabad, Pakistan. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6, 1256–1260.
24. Nikonchuk, N.V. (2014). Urozhainist ta yakist kartopli rannoi zalezho vid systemy udobrennia v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Yield and quality of early potatoes depending on the fertilizer system in the Southern Steppe of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seria «Ahronomiia i biolohiia»*, 3(27), 158–160 (in Ukrainian).
25. Pihorev, Y. Ia., Zasoryna, E. V. & Kizilov, A. A. (2007) Produktivnost kartofelya i vnekornevyie podkormki [Potato productivity and foliar fertilization]. *Agronomiya*, 2, 156–158 (in Russian).
26. Rietra, R. P., Heinen, M., Dimkpa, C. O., & Bindraban P. S. (2017). Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48, 16, 1895–1920, doi: 10.1080/00103624.2017.1407429
27. Sanderson, B. J., & Gupta, U. G. (1990). Copper and zinc nutrition of Russet Burbank potatoes grown on Prince Edward Island. *Canadian Journal of Plant Sciences*, 70, 357–362.

28. Spitsyna, S. F., Tomarovskiy, A. A., Ostvald, H. V., & Poskrebkova, O. H. (2015). Vliyanie bora i tsinka na urozhaynost kartofelya sorta Adretta [Effect of boron and zinc on the yield of Adretta potatoes]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 3, 125, 41–44 (in Russian).
29. Subramanian, N. K., White, P. J., Broadley, M. R., & Ramsay, G. (2011). The three-dimensional distribution of minerals in potato tubers. Annals of Botany, 107(4), 681–691. doi: 10.1093/aob/mcr009
30. Walworth, J. L. (1998). Crop production and soil management series. Field Crop Fertilizer Recommendations for Alaska Potatoes, FGV-00246A

Vinichuk M. M., Doctor of Biological Sciences, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

Uptake of selected microelements by jelly potato tubers when foliar fertilization applied on soils contaminated by radionuclides

The aim of our study was to investigate the effect of aqueous solutions of zinc and manganese salts and their chelated forms as foliar fertilization of Jelly potato variety on the uptake and distribution of some trace elements in potato tubers. The effect of foliar fertilization on potato tubers yield as well as radiocaesium uptake from soil to plant were investigated.

Experiment was performed on podzolic glej (loamy sand) soil, poor in most of the microelements in Bazar settlement, Zhytomyr region, Ukraine during 3 years (2014–2016) in an area contaminated with radionuclide after Chernobyl accident in 1986. Growing potato plants were fertilized with aqueous solutions of zinc and manganese sulfate salts and EDTA (chelate) of these minerals. Both metals in the form of water solution were spread with concentration of 0,05 %. Potato plants were fertilized at following growth stages: leaf development (1), main stem elongation (2), flowering (3) and development of fruit (4). Soil and plant samples (potato tubers) were air-dried and analyzed after harvest for ¹³⁷Cs content (Bq/kg) by using NaI detector as well as for concentration of Fe, K, Mn, Cu, Zn and B (mg/kg) by ICP Optima 7300 DV. Results were reported in mg /100g on a dry-weight basis.

It has been shown that foliar fertilization of potato crops affects the concentration of other macro- and microelements in the potato tubers. Thus, as a result of potato plants fertilization with micronutrients the coefficients of potassium accumulation by potato tubers decreased by 14–26%, iron accumulation by 46–54%, and copper accumulation by 21–45% depending on the stage of growth and development of plants at the time of fertilizers spraying. Regarding the concentration of boron in potato tubers, the results are somewhat contradictory: its concentration decreases slightly when crop was fertilized with zinc solution, but increases when fertilized with manganese solution and complex fertilizer (EDTA).

In the average for three years of study foliar fertilization of potato plants with chelated forms of the complex of microelements (EDTA) in the stage of leaf development resulted in an increase of the yield of potato tubers by 22%. Foliar fertilization at the stage of main stem elongation with aqueous solutions of zinc and manganese increased the yield of tubers by 12–14%, while fertilization with EDTA resulted in yield increase by ≈ 40%. When potato plants were fertilized at the stage of flowering, only an aqueous solution of manganese was found to be effective, giving as much as 30.5% increase in the yield. Spraying of potato crops in the later stage (development of fruit) does not increase the yield of tubers.

Foliar fertilization with an aqueous solution of zinc does not affect the transfer of radiocaesium from the soil to potato tubers, while fertilization with an aqueous solution of manganese in the stage of flowering and fruit development reduces the transfer of radionuclide to potato tubers by 12–18%. Chelated forms of microfertilizers caused reduction of radionuclide uptake by potato tubers by 20, 18 and 21%, when plants were fertilized at the stage of main stem elongation, flowering and development of fruit respectively.

Key words: soil, iron, potassium, manganese, copper, potato, radiocaesium, zinc.