of peat and sapropel as of 01.01.1997–1999]. (Book No.1). Kyiv [in Ukrainian].
8. Pro nadannia publichnoi informatsii: zvit [On the provision of public information: Reports]. (n.d.). *land.gov.ua*. Retrieved from http://land.gov.ua/icat/zvity-pro-nadannia-publichnoi-informatsii/ [in Ukrainian].
9. Proworkin, A. S., & Sinadski, A. A. (1969). *Torfyanoy fond Ukrainskoy SSR [Peat Fund of the Ukrainian SSR].* Moskva: Institute «Hydrotorfrazvedka» [in Russian].

Отримано 28.01.2019

УДК 631.41 doi: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163256

ОПТИМІЗАЦІЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТИХ ҐРУНТІВ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

М.Ю. Тараріко

Інститут агроекології і природокористування НААН

Встановлено, що винос кальцію і магнію продукцією зерново-картопляної сівозміни становить від 30 кг/га на тлі природної родючості дерново-підзолистого ґрунту (контроль) — до 50 кг/га за традиційних і альтернативних органо-мінеральних систем удобрення. З 10 т гною на 1 га сівозміни (традиційна) у ґрунт надходить понад 200 кг/га $CaCO_3$, за використання побічної продукції на добриво (альтернативна) надходження карбонатів становить 45 кг/га. Визначено, що за альтернативної системи удобрення відбувається деяке погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунту з тенденцією до підвищення накопичення радіонуклідів у отриманій продукції. Обґрунтовано, що підтримувати позитивний баланс кальцію і магнію в зерно-картопляній сівозміні можливо лише завдяки внесенню хімічних меліорантів та традиційних органічних добрив.

Ключові слова: *дерново-підзолистий ґрунт, удобрення, родючість, фізико-хімічні властивості, радіоактивне забруднення, баланс, меліоранти, побічна продукція.*

Фізико-хімічні параметри дерново-підзолистого ґрунту є важливими показниками його якості і мають істотний вплив на розвиток рослин, біоти ґрунту, напрями хімічних та біологічних процесів, мінералізацію органічної речовини, коагуляцію та пептизацію колоїдів, а також на перехід радіонуклідів у рослини [1].

Основні елементи ґрунтового поглинального комплексу, як-от кальцій і магній, слугують регуляторами реакції ґрунтового середовища, збереження складу його речовин, підтримують оптимальну для рослин реакцію ґрунтового розчину. Цей показник є критичним чинником, який визначає радіологічну ситуацію в зоні радіоактивного забруднення. Крім того, вміст обмінного кальцію впливає на накопичення у рослинах ^{90}Sr [2, 3].

У характеристиці фізико-хімічних властивостей ґрунтів найбільш динамічними є показники кислотності, які змінюються за антропогенного впливу, особливо за внесення добрив і хімічних меліорантів. Найбільше порушення балансу кальцію зумовлено застосуванням фізіологічно кислих добрив, їх впливом на збільшення рухомого кальцію та наступними його втратами внаслідок вилуговування. На дерново-підзолистих ґрунтах втрати кальцію з кореневмісного шару в перерахунку на карбонат сягають 80 кг/га за 1 рік.

Усунення надлишкової кислотності шляхом вапнування є одним із основних

© М.Ю. Тараріко, 2019

чинників підвищення родючості дерново-підзолистого ґрунту, врожайності сільськогосподарських культур, але водночас і надходження радіонуклідів у рослини. Так, вапнування забезпечує зниження забрудненості врожаю радіонуклідами в 1,5–2,5 раза [3, 5, 6]. Для підтримки стабільного стану фізико-хімічних властивостей пропонується застосування компенсувального вапнування з розрахунку 2,5 кг $CaCO_3$ для нейтралізації 1 кг азоту аміачної селітри.

Кальцій не входить до кришталевої решітки ґрунтових мінералів, і тому його втрати внаслідок вилуговування на дерново-підзолистих ґрунтах на територіях з промивним режимом є значними. На основі лізиметричних досліджень встановлено, що без внесення добрив у шарі 0–40 см упродовж восьми років вилуговувалося близько 1 т карбонатів. Застосування фізіологічно кислих добрив підвищує їх рухомість. За органо-мінеральної системи удобрення їх втрати внаслідок вилуговування залежно від доз мінеральних добрив підвищувались до 40–70%. Тому щорічні втрати на дерново-підзолистих ґрунтах становлять 350–450 кг/га $CaCO_3$, що спричиняє їх підкислення і, відповідно, зниження врожайності сільськогосподарських культур. Усунення надлишкової кислотності шляхом вапнування є одним з головних прийомів підвищення родючості дерново-підзолистого ґрунту, зростання продуктивності посівів, а на радіоактивно забруднених землях — одним з основних способів зниження величини коефіцієнтів переходу радіонуклідів у сільськогосподарську продукцію [3, 5, 6].

Метою досліджень було встановити вплив різних систем відтворення агроекологічного стану дерново-підзолистого ґрунту на його фізико-хімічні показники та рухомість радіоцезію в системі «ґрунт — рослина».

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Порівняльну ефективність різних систем відтворення агроекологічних функцій радіоактивно забруднених дерново-підзолистих ґрунтів здійснювали в агротехнічному досліді Інституту сільського господарства Полісся НААН з залученням варіантів: 1. Контроль — без добрив; 2. Традиційна система удобрення (гній + NPK) — відповідає тваринницькій спеціалізації аграрного виробництва; 3. Альтернативна система (солома + сидерат + NPK) — відповідає рослинницькій спеціалізації; 4. Традиційна інтенсивна (гній + 1,5 NPK) — тваринницька спеціалізація з підвищеними дозами мінеральних добрив.

Було застосовано зерно-картопляну сівозміну: 1 — люпин, 2 — тритикале, 3 — картопля, 4 — овес. Ґрунт — дерново-середньопідзолистий супіщаний з такими показниками родючості: уміст гумусу — 0,8%; pH_{Kcl} — 4,7; Нг — 3,0 та S — 2,2 мг·екв/100 г ґрунту; P_2O_5 — 8,0 та K_2O — 7,1 мг/100 г ґрунту (за Кірсановим). За фізичними властивостями ґрунт характеризується високою щільністю, низькою вологоємністю і підвищеною водопроникністю. Рівень забруднення радіоцезієм дослідної ділянки становить 12–15 Кі/км^2.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Встановлено, що вміст кальцію і магнію в основній і побічній продукції зернових культур, як-от тритикале і овес, у 2–2,5 раза є нижчим порівняно з люпином. У бульбах картоплі вміст цих елементів порівняно з основною продукцією зернових культур є невисоким (табл. 1), але у бадиллі картоплі їх кількість була значно вищою. Загалом встановлено, що вміст кальцію і магнію у побічній частині врожаю є значно вищим, ніж у зерні і бульбах, що дає підстави вважати за доцільне її використання з метою оптимізації фізико-хімічних властивостей ґрунту.

Традиційні та альтернативна системи удобрень майже вдвічі підвищили врожайність всіх культур сівозміни порівняно з контролем.

Слід зауважити, що відповідно до зростання врожайності культур, збільшувалося і винесення кальцію та магнію (табл. 2). Тобто серед витратних статей балансу кальцію і магнію вагоме значення має чинник винесення цих елементів урожаєм сільсько-

Таблиця 1

Уміст кальцію і магнію в основній і побічній продукції культур зерново-картопляної сівозміни, %

Елементи	Люпин		Тритикале		Картопля		Овес	
	Зерно	Солома	Зерно	Солома	Бульба	Бадилля	Зерно	Солома
Кальцій	1,82	0,97	0,25	0,26	0,03	0,80	0,16	0,38
Магній	0,45	0,34	0,22	0,09	0,06	0,21	0,17	0,12

Таблиця 2

Винесення кальцію і магнію врожаєм культур зерново-картопляної сівозміни, кг/га

Система удобрення	Люпин	Тритикале	Картопля	Овес	Всього за сівозміну		
					кг	кг/га	$CaCO_3$
			Кальцій				
Без добрив	45	9	27	12	93	23	41
Традиційна	65	12	52	15	144	36	64
Альтернативна	62	12	50	16	140	35	50
Традиційна інтенсивна	69	12	54	16	152	38	63
			Магній				
Без добрив	13	7	12	5	38	9	24
Традиційна	19	12	24	7	61	15	30
Альтернативна	18	13	22	8	61	15	38
Традиційна інтенсивна	20	13	23	8	64	16	40

господарської продукції. Так, найвищим рівень відчуження кальцію і магнію був за вирощування люпину, який досягав 45–69 кг/га, а магнію — у межах 13–20 кг/га. Винесення цих елементів урожаєм тритикале і вівса було у 2–2,5 раза нижчим. Порівняно з люпином, бульбами і бадиллям картоплі, винесення кальцію і магнію значно переважає зернові культури і несуттєво поступається люпину та варіює у межах 27–54 та 12–23 кг/га відповідно.

Результати дослідження балансу кругообігу карбонатів засвідчили, що з урожаєм культур зерново-картопляної сівозміни без застосування добрив і за альтернативної системи удобрення щорічно втрачається 28 кг/га кальцію і магнію, що з урахуванням інших статей втрат потребує відповідної компенсації завдяки хімічним матеріалам. Натомість за тривалого застосування традиційних систем удобрення досягається позитивний баланс цих елементів завдяки їх поверненню з органічними добривами тваринного походження (табл. 3).

Так, у середньому за сівозміну з 10 т/га гною у ґрунт надходить понад 200 кг/га $CaCO_3$, а за використання побічної продукції на добриво — лише 44 кг/га. З 40 т внесеного під картоплю у ґрунт гною надійшло 808 кг $CaCO_3$. Для нейтралізації фізіологічно кислої аміачної селітри на 1 кг азоту необхідно внести 2,5 кг $CaCO_3$. Тобто

Таблиця 3

Кругообіг кальцію та магнію і баланс карбонатів за різних систем удобрення, кг/га

Система удобрення	Надходження			Винос			Баланс (+/–)	
	CaO	MgO	Всього	CaO	MgO	Всього	CaO + MgO	$CaCO_3$ + $MgCO_3$
Без добрив	–	–	–	23	9	32	–28	–56
Традиційна	70	30	100	36	15	51	49	98
Альтернативна	16	6	22	35	15	50	–28	–56
Традиційна інтенсивна	70	30	100	38	16	54	46	92

за внесення 80–120 кг азоту під картоплю необхідно для компенсації кислотності внести 200–300 кг $CaCO_3$. За внесення під картоплю 40 т гною у ґрунт надійшло в 4 рази більше карбонатів, ніж потрібно для нейтралізації підкислюваної дії аміачної селітри.

Надходження з гноєм в орний шар значної кількості карбонатів (808 кг $CaCO_3$) позитивно вплинуло на зниження кислотності ґрунту під картоплею, а показники кислотності були майже на рівні контрольного варіанта. Після картоплі, згідно із сівозміною, розміщували овес, люпин та тритикале. Під ці культури за органомінеральних систем удобрення вносили тільки мінеральні добрива. Результати визначення фізико-хімічних властивостей ґрунту під посівами тритикале, тобто на 3-ій рік після внесення гною, засвідчили, що в шарі 0–20 см відбулось значне підкислення ґрунтового розчину (табл. 4).

За три роки $pH_{сол.}$ знизилось з 5,27 до 4,85, а Нг — підвищилась з 1,88 до 2,45 мг·екв/100 г ґрунту, тобто орний шар набув високого рівня кислотності. Однак і через три роки після внесення гною фізико-хімічні властивості ґрунту на глибині

Таблиця 4

Вплив різних систем удобрення на фізико-хімічні властивості дерново-підзолистого ґрунту сівозміни

Системи удобрення	Шар ґрунту, см	Картопля		Тритикале	
		$pH_{сол.}$	Нг, мг·екв/100 г ґрунту	$pH_{сол.}$	Нг, мг·екв/100 г ґрунту
Без добрив	0–20	5,34	1,49	5,16	1,58
	20–40	5,05	1,45	5,12	1,52
	0–40	5,18	1,47	5,14	1,55
Альтернативна	0–20	4,87	2,33	4,91	2,23
	20–40	5,06	1,60	4,65	2,14
	0–40	4,97	2,00	4,78	2,19
Традиційна	0–20	5,27	1,88	4,85	2,45
	20–40	5,64	0,95	5,32	1,53
	0–40	5,46	1,42	5,08	1,99

20–40 см за традиційної системи відтворення були сприятливішими порівняно з відповідними показниками за приорювання побічної продукції, а також сидерації. Таку різницю обумовлено тим, що за альтернативної системи удобрення у ґрунт надходила незначна кількість карбонатів з побічною продукцією та від підкислюваної дії органічних кислот, які утворюються в процесі трансформації біомаси сидератів, тому як за вирощування картоплі, так і тритикале кислотність ґрунту в шарі 0–40 см була вищою порівняно з традиційною системою удобрення.

Отже, якщо врахувати винесення кальцію і магнію з урожаєм та їх втрати внаслідок вимивання у кількості 80–170 кг/га, то підтримувати позитивний баланс кальцію і магнію в зерново-картопляній сівозміні можливо лише завдяки хімічним меліорантам та органічним добривам. Це особливо необхідно враховувати за ведення аграрного виробництва на радіоактивно забруднених землях у віддалений період після аварії на ЧАЕС.

Кореляційний аналіз продемонстрував існування залежності між показниками Нг за вирощування у сівозміні тритикале і картоплі на рівні R^2 = 0,56, що свідчить про особливості перебігу фізико-хімічних процесів за варіантами досліду. Такі закономірності формування кислотності ґрунту також підтверджують існування зворотної залежності між показниками $pH_{сол.}$ і Нг як за вирощування картоплі (R^2 = 0,65), так і тритикале (R^2 = 0,68).

Зв'язок між забрудненням ґрунту радіоцезієм, залежно від систем удобрення, і кислотністю був на рівні R^2 = 0,35–0,42. Однак порівняння рівня забруднення продукції з $pH_{сол.}$ і Нг на різних фонах удобрення свідчить про тісні: пряму і зворотну кореляції між вказаними показниками відповідно. Зокрема, накопичення радіоцезію в зерні тритикале на контролі (без добрив) становило 0,22 Бк/кг, за альтернативної системи — 0,20 і за традиційної — 1,19 Бк/кг; показник $pH_{сол.}$ під цією культурою становив 5,16, 4,91 та 4,8; Нг — 1,58, 2,23 та 2,45 мг·екв/100 г ґрунту (R^2 = 0,92–0,96) відповідно. Необхідно також відзначити, що врожайність зерна тритикале у середньому за 3 роки становила (т/га): на контролі — 1,91, за альтернативної системи удобрення — 3,81 та традиційної системи — 4,15, що також тісно корелює як з показниками кислотності ґрунту, так і забруднення зерна. Тобто поліпшення фізико-хімічних параметрів дерново-підзолистого ґрунту може мати подвійну дію — позитивно впливати як на зниження рухомості радіоцезію, так і на підвищення продуктивності зерново-картопляної сівозміни.

Отримані дані свідчать, що дерново-підзолистий ґрунт унаслідок високих втрат кальцію і магнію в процесі вилуговування та їх значного винесення з урожаєм культур потребує, особливо з урахуванням його радіоактивного забруднення, підвищеного контролю за своїми фізико-хімічними властивостями. Регулювання кислотності переважно здійснюється шляхом вапнування. Для підвищення $pH_{сол.}$ за альтернативної системи з 4,9 до 6,5 необхідно внести 7,0 т/га вапна, а за традиційної, яка передбачає внесення гною (10 т/га сівозміни), — 5,6 т/га, тобто на 32% менше.

ВИСНОВКИ

На дерново-підзолистих землях у 4-пільній зерново-картопляній сівозміні за внесення 10 т/га гною у ґрунт надходить близько 70 кг/га кальцію і 30 кг/га магнію, що недостатньо для компенсації підкислюваної дії аміачної селітри. За використання як добрива побічної продукції у ґрунт повертається в 4 рази менше цих елементів, ніж за внесення гною, що супроводжується погіршенням фізико-хімічних властивостей дерново-підзолистого ґрунту, зниженням продуктивності сівозміни та зростанням накопичення радіонуклідів у продукції рослинництва. На радіоактивно забруднених землях, які можуть бути повернуті в аграрне виробництво у віддалений після аварії на ЧАЕС період, необхідним є ретельний контроль балансу кальцію і магнію в сівозміні та регулювання кислотності дерново-підзолистого ґрунту.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Ратошнюк В.І.* Стан родючості та застосування агромеліоративних заходів на радіоактивно забруднених землях / В.І. Ратошнюк, Т.М. Ратошнюк // Землеробство. — 2004. — Вип. 76. — С. 57–64.
2. *Бондарь П.Ф.* Влияние удобрений и мелиорантов на накопление радиоцезия в урожае овса на произвесткованных почвах / П.Ф. Бондарь, А.И. Дутов // Радиоэкологические и экономико-правовые аспекты землепользования после аварии на Чернобыльской АЭС: Материалы науч. конф. — К., 1991. — Ч. 2. — С. 201–204.
3. *Дутов О.І.* Наукові основи формування агроекосистем на радіоактивних територіях: автореф. ... д-ра с.-г. наук / О.І. Дутов. — К., 2013. — 41 с.
4. *Шильников И.А.* Известкование почв / И.А. Шильников, Л.А. Лебедева. — М.: Агропромиздат, 1987. — 172 с.
5. *Feshchenko V.* Regularities of ^{137}Cs transition into meadow vegetation in flood-plain soils / V. Feshchenko, V. Hurelia // Агроекологічний журнал. — 2016. — № 3. — С. 38–44.
6. *Кравець О.П.* Радіоекологічні наслідки радіонуклідного забруднення агроценозів: Монографія / О.П. Кравець. — К.: Лотос, 2008. — 238 с.

REFERENCES

1. Ratoshnyuk, V.I., & Ratoshnyuk, T.M. (2004). Stan rodiuchosti ta zastosuvannia ahromelioratyvnykh zakhodiv na radioaktyvno zabrudnenykh zemliakh [State of fertility and application of agro-amelioration measures on radioactive contaminated lands]. *Zemlerobstvo — Agriculture 76*, 57–64 [in Ukrainian].
2. Bondar, P.F., & Dutov, A.I. (1991). Vliyanie udobreniy i meliorantov na nakoplenie radiotseziya v urozhae ovsa na proizvestkovannykh pochvakh [The influence of fertilizers and ameliorants on the accumulation of radiocaesium in the oat crop on leveled soils]. Radioecological, economic and legal aspects of land use after the accident at the Chernobyl nuclear power plan '91: *Materialy nauchnoy konferentsii — Scientific materials conf*. (pp. 201–204). Kiev [in Russian].
3. Dutov, O.I. (2013). Naukovi osnovy formuvannia ahroekosystem na radioaktyvnykh terytoriiakh [Scientific fundamentals of agroecosystem formation on radioactive territories]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
4. Shilnikov, I.A., & Lebedeva, L.A. (1987). *Izvestkovanie pochv [Soil liming]*. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
5. Feshchenko, V., & Hurelia, V. (2016). Regularities of ^{137}Cs transition into meadow vegetation in flood-plain soils. A*hroekolohichnyy zhurnal — Ahroekolohichnyi zhurnal, 3*, 38–44 [in English].
6. Kravets, O.P., (2008). *Radioekolohichni naslidky radionuklidnoho zabrudnennia ahrotsenoziv [Radioecological effects of radionuclide contamination of agrocenoses]*. Kyiv: Lotus [in Ukrainian].

Отримано 24.01.2019