

Кривенко А. І.

УДК 004.94:631.452: 633.1:631.5(477.7)

**МОДЕЛЮВАННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ
ОЗИМИХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЗАЛЕЖНО ВІД ПРИРОДНИХ І
АГРОТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ У ПІВДЕННОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ****А. І. КРИВЕНКО**, доктор сільськогосподарських наук, доцент,

заступник директора з наукової роботи

<http://orcid.org/0000-0002-2133-3010>**Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція НААН***E-mail: kryvenko35@ukr.net*<https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.06.014>

Анотація. У статті відображено результати досліджень, отриманих у довготривалих польових дослідках упродовж 1971–2007 років.

Метою дослідження було моделювання родючості ґрунту та продуктивності озимих зернових культур залежно від природних та агротехнічних заходів у Південному Степу України.

Дослідження виконували на дослідному полі Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції Національної академії аграрних наук України.

За результатами дослідження встановлено, що із зростанням норми внесення мінерального азоту у складі органо-мінеральних систем удобрення погіршується структурно агрегатний склад чорнозему південного за рахунок збільшення його брилистих фракцій. Визначено, що довготривале систематичне використання органо-мінеральних систем удобрення на чорноземі південному позитивно впливає на водостійкість ґрунту, вміст загального азоту та його фракцій. З'ясовано, що найбільш глибокі зміни відбуваються за використання мінеральної системи удобрення. Визначено, що внесення повного мінерального добрива з різними нормами азоту поліпшує трофічний режим ґрунту та підвищує показники напруженості мінералізаційних процесів, а також продуктивність сівозміни у середньому на 10,5 %, що відображає зростання ефективної родючості чорнозему південного. Із досліджених варіантів із застосуванням органо-мінеральних систем удобрення у Південному Степу України, найбільш сприятливим не тільки за рівнем продуктивності, але й за коефіцієнтом гуміфікації виявився варіант з щорічним внесенням органічних та мінеральних добрив.

Ключові слова: озимі зернові культури, сівозміна, органо-мінеральні системи удобрення, родючість ґрунту, урожайність, моделювання

Актуальність. Вирішення зменшення витрат за умови проблеми збільшення виробництва збереження екологічного стану високоякісної зернової продукції зі доквілля і підвищення рівня

Кривенко А. І.

родючості ґрунту було і залишається важливим завданням для сільського господарства України [1]. Важливою умовою підвищення ефективності виробництва високоякісної зернової продукції є визначення і впровадження ефективних технологій вирощування пшениці озимої у різних ґрунтово-кліматичних умов країни [2].

Важливим є дослідження структурно-агрегатного складу ґрунту, що визначає його водно-повітряний та тепловий режим і суттєво впливає на формування режиму живлення культурних рослин та їх продуктивність [3]. Довготривале сільськогосподарське використання ґрунтів призводить до змін не тільки агрохімічних, але й агрофізичних властивостей, глибина яких зумовлена рівнем інтенсифікації виробництва [4]. Є необхідність у систематичному дослідженні таких змін для встановлення оптимальних основних параметрів фізичних властивостей ґрунту з метою оптимізації технологій вирощування та розроблення науково обґрунтованих систем збереження, відновлення та підвищення родючості ґрунтів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженню впливу удобрення на структуру ґрунтів присвячені праці багатьох науковців. Зокрема, дослідження

Г. М. Господаренка, О. М. Труса встановлено, що навіть за тривалого використання добрив упродовж 45 років чорнозем опідзолений зберіг високу структурність: вміст агрономічно-цінних агрегатів був на рівні 74,2–88,2 % [5]. Але відмічено зростання брилистої і пилюватої фракції зі збільшенням норм добрив у мінеральній системі удобрення. Погіршення структурного стану ґрунту з внесенням мінеральних добрив на чорноземі типовому відмічено І. В. Чередниченком [6]. Ним встановлено, що зниження коефіцієнта структурності і водостійкості агрегатів приводить до ущільнення орного і особливо підорного шару, де утворюється плужна підошва. Деградацію структури шару ґрунту 0–22 см при довготривалому використанні мінеральних добрив спостерігав Н. М. Лях на чорноземах вилугуваних, яка відбувалась в основному за рахунок руйнації агрегатів 1–5 мм [7]. Вченими відмічено, що водостійкість структури у шарі 0–20 см мало залежить від систем удобрення, а у підорному – кількість водостійких агрегатів навіть зростає порівняно з орним, але знижується із застосуванням мінеральних добрив та при внесенні гною [3–4]. Тому важливим є моделювання родючості ґрунту та продуктивності озимих

Кривенко А. І.

зернових культур на основі систематичного довготривалого використання різних органо-мінеральних систем удобрення.

Метою дослідження є на основі багаторічних даних з використанням кореляційно-регресійного аналізу здійснення моделювання родючості ґрунту та продуктивності озимих зернових культур залежно від природних та агротехнічних заходів у Південному Степу України.

Матеріали і методи дослідження. Результати досліджень у тривалому польовому стаціонарному досліді Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції НААН на чорноземі південному малогумусному важкосуглинковому на лесовій породі, закладеному у 1971 р., опрацьовували із застосуванням кореляційно-регресійного аналізу. Визначали дію систематичного внесення органічних і мінеральних добрив упродовж шести ротацій зерно-паро-просапної сівозміни та вплив їх післядії упродовж останніх двох ротацій одночасно з прямою дією добрив. Повторення у досліді триразове із систематичним розміщенням повторень і варіантів; повторення у часі – чотириразове з послідовним входженням по одному полю у сівозміну.

У зерно-паро-просапній сівозміні встановлювали дію систем

удобрення, які упродовж чотирьох ротацій включали варіанти: без добрив та із застосуванням органічних, мінеральної та органо-мінеральних систем удобрення. Гній та мінеральні добрива вносили двічі за ротацію: у полі чорного пару та кукурудзи молочно-воскової стиглості. Мінеральні добрива у вигляді аміачної селітри, суперфосфату гранульованого та калійної солі вносили під основний обробіток ґрунту. Досліджували послідовно зростаючі норми внесення мінерального азоту у складі повного мінерального добрива: з першої по третю ротації – N_{60} , N_{90} , N_{120} на фоні $P_{40}K_{40}$ та $P_{60}K_{60}$, у четвертій ротації – N_{30} , N_{45} , N_{60} на фоні $P_{20}K_{20}$ та $P_{30}K_{30}$ і в останніх двох ротаціях – N_{60} , N_{120} , N_{180} . Мінеральні добрива вносили як у чистому вигляді, так і у складі повного мінерального добрива: на фоні $P_{30}K_{30}$ та $P_{60}K_{60}$.

Результати дослідження та їх обговорення. Зі встановленням впливу систематичного довготривалого використання різних органо-мінеральних систем удобрення на структурно-агрегатний склад чорнозему південного важкосуглинкового на лесі Причорноморського Степу відмічено, що його показники зазнавали деяких змін (табл. 1).

Сума агрономічно-цінних агрегатів (10–0,25 мм) у шарі ґрунту

Кривенко А. І.

0–20 см коливалася у межах 81,3–85,8 % і порівняно з абсолютним контролем – 83,4 %, їх кількість суттєво не змінювалась. Але збільшення у 2,2 раза норми внесення мінерального азоту призводило до погіршення структурності орного

шару: вміст агрономічно-цінних агрегатів зменшувався на 3,1 % при $НР_{05}=2,9$, коефіцієнт структурності – у 1,2 раза порівняно з одинарною нормою внесення гною – 7,8 т/га і одинарною нормою внесення фосфорно-калійних добрив.

1. Структурно-агрегатний склад чорнозему південного за систематичного внесення органо-мінеральних систем удобрення, середнє за 1971–2007 рр.

Система удобрення	Розмір часток за сухого просіювання, мм			Коефіцієнт структурності	Розмір часток за сухого просіювання, мм			Коефіцієнт структурності
	0–20 см				21–40 см			
	>10	10–0,25	<0,25		>10	10–0,25	<0,25	
Без добрив	6,1	83,4	10,5	5,02	6,4	84,0	9,6	5,25
O ₁ -7,8 т/га	6,8	84,8	8,4	5,58	7,1	85,8	7,1	6,04
O _{1,5} -12,1 т/га	6,9	84,4	8,7	5,41	5,6	84,5	9,9	6,45
O ₁ +P ₁ K ₁	8,1	84,7	7,2	5,54	8,9	84,0	7,1	5,25
O ₁ +N ₁ P ₁	6,6	84,3	9,1	5,36	9,2	83,5	7,3	5,06
O ₁ +N ₁ K ₁	6,7	85,8	7,5	6,0	9,3	83,1	7,6	4,92
O ₁ +N ₁ P ₁ K ₁	6,7	84,4	8,9	5,41	7,8	83,3	8,3	4,99
O ₁ +N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	7,4	83,5	9,1	5,06	8,4	82,7	9,5	4,78
O ₁ +N _{2,2} P _{1,5} K _{1,5}	9,7	81,3	9,0	4,35	10,0	81,9	8,1	4,52
N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	8,5	82,1	9,4	4,59	8,7	81,8	9,5	4,49
O ₁ +N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	5,4	83,0	11,6	4,88	7,2	82,5	10,3	4,71
O _{1,5} +N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	5,4	83,8	10,8	5,17	7,5	83,7	8,8	5,13
O ₁ +N ₁ P ₁ K ₁	6,7	84,4	8,9	5,41	7,8	83,3	8,3	4,99
O _{1,5} +N ₁ P ₁ K ₁	6,5	84,7	8,8	5,54	5,9	83,4	10,7	5,02
НР ₀₅	2,6	2,9	2,0	0,79	2,5	3,0	2,9	0,42

Подібний процес відбувався і у підорному шарі зазначених варіантів: структурність зменшувалась на 9,4 % або на 0,47 одиниць при $НР_{05}=0,42$. Брилиста фракція як, орного, так і підорного шару ґрунту прямо пропорційно зростала зі збільшенням норми внесення мінерального азоту і становила відповідно $r=0,93$ та $r=0,92$. В орному шарі ґрунту при внесенні органічних добрив частка брилистої

фракції зростала, а пилюватої зменшувалась відносно неудобреного варіанту. Із застосуванням органо-мінеральної системи удобрення з одинарною та полуторною нормою внесення гною та $N_{1,5}P_{1,5}K_{1,5}$ зменшувалась брилиста фракція орного шару як відносно до органічної системи, так і до органо-мінеральної з меншим насиченням мінеральними добривами. Серед

Кривенко А. І.

відмічених варіантів порівняно більший рівень брилистої фракції відмічено із застосуванням мінеральних добрив.

У підорному шарі мінімальний вміст найкрупнішої фракції, що становила >10 мм, спостерігався зі збільшенням внесення органічних добрив – 5,6 %, а при використанні їх з одинарною нормою мінеральних добрив – 5,9 %. Від суми брил та пилу частка брилистої фракції у цих варіантах становила відповідно 36,1 % та 35,5 %. Брилиста фракція орного та підорного шару із застосуванням мінеральних добрив була практично однакова і становила 47,8–47,9 % від суми брил та пилу.

Серед окремих грудочкуватих частин розміром 10–0,25 мм за класифікацією М. І. Саввінової, яка дотепер є загальноприйнятою в Україні, виділяли грубі грудочки (10–3 мм), середні (3–1 мм), дрібні (1–0,5 мм) та зернисті (0,5–0,25 мм) [8]. Тривале систематичне застосування орґано-мінеральних систем удобрення певним чином вплинуло на співвідношення зазначених фракцій. У загальному пулі структурності орного шару частка середніх грудочок зростала порівняно з умовним контролем. Зокрема, при внесенні одинарної норми гною – до 56,0 %, полуторної – до 51,3 %. Але при цьому зменшувалась сумарна частка дрібних і зернистих грудочок –

з 23,0 % відповідно до 17,3 % та 20,4 %. Систематичне внесення мінеральних добрив суттєво до 35,8 % збільшувало частку грубих грудочок. Це відбувалось за рахунок зв'язування середніх і зернистих структур, оскільки їх частка зменшувалась у порівнянні з абсолютним контролем на 2,0 % та 5,0 %.

Більш радикальні зміни спостерігалися у підорному шарі чорнозему південного. Зокрема, із внесенням органічних добрив у порівнянні з неудобреним ґрунтом та із застосуванням мінеральних добрив частка зернистих агрегатів зростала у 1,5–1,6 раза. Із збільшенням норми внесення гною структурність підорного шару покращувалась також за рахунок зменшення на 7,5–9,5 % частки грубих грудочок і на 1,6–3,0 % зростання фракції середніх грудочок. За систематичного довготривалого внесення мінеральних добрив спостерігалась інша тенденція у співвідношенні фракцій агрономічно-цінної структури: підвищення частки грубих грудочок – на 3,3 % проти контролю і відповідно на 10,8 % та 12,8 % порівняно із застосуванням одинарної та полуторної норми внесення гною. Відбувалось також зниження на 2,8 %, 4,4 % та 5,8 % середніх часток, а зерниста фракція практично не відрізнялась від контролю, але на 6,4–7,1 % була

Кривенко А. І.

нижчою за варіанти із внесенням гною.

Для характеристики впливу органо-мінеральних систем удобрення на формування агрономічно-цінної структури чорнозему південного розглянемо результати, отримані при внесенні зростаючих норм внесення мінеральних добрив із застосуванням одинарної та полуторної норми внесення гною (табл. 2).

За результатами дослідження встановлено, що в орному шарі ґрунту очевидне зростання частки грубих грудочок з 31,0 % до 33,9 % з підвищенням від одинарної до подвійної норми внесення мінерального азоту та одночасним використанням гною, де формування грубих грудочок становило 26,7 %. Суттєво знижується вміст середніх

грудочок – з 56,0 % за внесення гною до 46,1 % із застосуванням органо-мінеральної системи удобрення – $O_1+N_{2,2}P_1K_1$. Відносна кількість зернистих фракцій, хоча і має тенденцію до зниження, при систематичному внесенні зростаючих норм внесення азоту вища за варіант з використанням одинарної норми гною. Підвищення у 1,5 раза внесення гною виявилось недостатнім, щоб змінити направленість впливу мінеральної складової системи удобрення на флуктуацію співвідношення фракції агрономічно-цінних агрегатів орного шару чорнозему південного. Тенденція змін агрономічно-цінних агрегатів підорного шару на фоні органо-мінеральних добрив загалом аналогічна орному шару.

2. Формування фракцій агрономічно-цінних агрегатів за систематичного внесення органо-мінеральних систем удобрення, % від суми, середнє за 1971–2007 рр.

Система удобрення	Розмір часток за сухого просіювання, мм					
	0–20 см			21–40 см		
	10–3	3–1	1–0,25	10–3	3–1	1–0,25
O_1	26,7	56,0	17,3	36,1	46,1	17,8
$O_1+N_1P_1K_1$	31,0	48,5	20,5	35,9	44,1	20,0
$O_1+N_{1,5}P_1K_1$	32,5	48,1	19,4	37,0	45,0	19,1
$O_1+N_{2,2}P_1K_1$	33,9	46,1	20,0	38,5	48,2	13,3
$O_1+N_{1,5}P_{1,5}K_{1,5}$	28,0	47,9	24,1	34,5	45,9	19,6
$O_{1,5}$	28,3	51,3	20,4	34,1	47,5	18,5
$O_{1,5}+N_1P_1K_1$	34,5	43,9	21,6	39,8	44,1	16,1
$O_{1,5}+N_{1,5}P_{1,5}K_{1,5}$	30,3	47,3	22,4	40,0	43,6	16,4

Важливим показником якості макроагрегатів є їх стійкість до

руйнування, перш за все – до водоруйнації, яка характеризується

Кривенко А. І.

коефіцієнтом водотривкості (табл. 3). Коефіцієнт водотривкості макроагрегатів >0,25 мм орного і підорного шарів ґрунту у контрольному варіанті був однаковий і становив 0,73. Загалом довготривале використання органо-мінеральної системи удобрення за деяким виключенням позитивно вплинуло на водостійкість ґрунту.

Підвищення водостійкості макроагрегатів при внесенні гною у 0–20 см шарі ґрунту на 8,2–9,6 % та у 21–40 см шарі ґрунту на 16,4–9,6 % залежало від норми внесення гною. Аналогічним чином впливають органічні добрива і на водотривкість зернистої фракції: зростання коефіцієнта орного шару становить

15,4–30,8 %, а шару ґрунту 21–40 см – 22,2–29,6 %. Найменші коефіцієнти водотривкості агрегатів >0,25 спостерігалися при органо-мінеральній системі удобрення, де з одинарною нормою гною вносили підвищену норму азоту: у шарі ґрунту 0–20 см (-11,4 %) та 21–40 см (-20,0 %) і з внесенням мінеральних добрив, де зниження становило від 10,0–11,2 % до 13,8–18,8 % у порівнянні з внесенням органічних добрив. Із застосуванням мінеральної системи удобрення зернисті частки підорного шару також мали мінімальну стійкість проти руйнації водою: зниження порівняно з внесенням гною становило від 30,3 % до 34,3 %.

3. Коефіцієнт водотривкості чорнозему південного за систематичного внесення органо-мінеральних систем удобрення, середнє за 1971–2007 рр.

Система удобрення	Коефіцієнт водотривкості у різних шарах ґрунту			
	0–20		21–40	
	1–0,25	>0,25	1–0,25	>0,25
Контроль без добрив	0,26	0,73	0,27	0,73
O ₁	0,30	0,79	0,33	0,85
O _{1,5}	0,34	0,80	0,35	0,80
O ₁ +N ₁ P ₁ K ₁	0,30	0,79	0,32	0,76
O ₁ +N _{1,5} P ₁ K ₁	0,29	0,72	0,30	0,71
O ₁ +N _{2,2} P ₁ K ₁	0,27	0,70	0,28	0,68
O ₁ +N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	0,26	0,73	0,28	0,72
O _{1,5} +N ₁ P ₁ K ₁	0,32	0,75	0,35	0,79
O _{1,5} + N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	0,29	0,73	0,26	0,80
N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	0,29	0,71	0,23	0,69

Таким чином, систематичне довготривале застосування органо-мінеральних систем удобрення впливає на структурно-агрегатний склад чорнозему південного. Але про

існування чи відсутність функціональних зв'язків між нормами внесення добрив і основними показниками структурного аналізу ґрунту можна

Кривенко А. І.

зробити висновок лише за результатами математичного обробітку. Тому нами здійснено кореляційно-регресійний аналіз результатів застосування органо-мінеральних систем удобрення, які досліджували (табл. 4).

Під час розрахунку використовували метод арифметичних градацій, де за нульовий рівень брали середне

значення показника за всіма варіантами, а крок індексації залежав від певного інтервалу значень. З масиву отриманих даних відібрали п'ять математичних моделей. Критерієм відбору отриманих математичних моделей були: суттєвість коефіцієнтів регресії за F-статистикою, коефіцієнт детермінації та відсутність автокореляції залишків за Дарбіним-Уотсоном [9].

4. Кореляційно-регресійний аналіз структурно-агрегатного складу ґрунту

№ моделі	Шар ґрунту, см	Ознака		Коеф. регресії	F-статистика	Критерій Дарбіна - Уотсона	Множинні коефіцієнти	
		залежна	незалежна				регресії	детермінації
1.	0–20	Коефіцієнт структурності	константа	3,03	13,5	–	–	–
			азот	–2,41	13,5	2,09	–0,73	0,53
2.	0–20	Середні грудочки	константа	1,69	7,84	–	–	–
			калій	–1,94	11,98	1,96	–0,71	0,50
3.	0–20	Агрономічноцінні агрегати	константа	0,75	5,19	–	–	–
			азот	1,47	5,81	–	–	–
			азот/фосфор	–1,55	16,41	1,67	–0,83	0,69
4.	20–40	Агрегати	константа	1,09	6,45	–	–	–
			азот	–1,27	13,98	2,82	–0,74	0,54
5.	0–20	Сума водостійких агрегатів	константа	0,64	2,04	–	–	–
			азот	–0,89	7,18	0,98	–0,60	0,36

За результатами розрахунків встановлено, що варіабельність параметрів структурно-агрегатного складу визначається нормами внесення органічних та мінеральних добрив від 36 % до 69 %. Зростаючі норми внесення азоту погіршують вміст агрономічно-цінних агрегатів у шарі 21–40 см і коефіцієнт

структурності ґрунту в 0–20 см з вірогідністю відповідно у 54 % і 53 %. У цьому випадку отримані математичні моделі не дають можливості спрогнозувати кількісні змінні структурно-агрегатного пулу чорнозему південного під впливом органо-мінеральних систем удобрення, але вони підтверджують

Кривенко А. І.

наявність цього впливу і направленість дії зростаючих норм мінеральної складової у таких системах. Коефіцієнти регресії, як парні, так і множинні, вказують на обернений зв'язок – тобто з підвищенням норм внесення, в основному мінерального азоту, макроструктура чорнозему південного буде погіршуватись, але це припущення потребує подальших перевірок та постійного локального моніторингу на основі довготривалих стаціонарних дослідів. Зміни мікробних ценозів під впливом органо-мінеральних систем удобрення певним чином повинні відображатися на процесах гуміфікації і, зокрема, на ступені

гуміфікованості органічної речовини гною та післяжнивних решток і в кінцевому підсумку – на кількісному та якісному складі гумусу.

Математичний обробіток результатів визначення гумусу і мікроорганізмів чорнозему південного методом кореляційного аналізу показав різну залежність їх взаємозв'язку (табл. 5). Для основних показників, коли $F_{\text{табличне}}=4,3$, така залежність характеризується як середня чи вище за середню: $r=0,58...0,73$. Встановлено, що коефіцієнт гуміфікації органічної речовини, яка надходила у ґрунт, коливається у досить широкому діапазоні – від 0,14 до 0,24 (табл. 6).

5. Коефіцієнти кореляції біологічних показників із загальним вмістом

вуглецю

№ з/п	Біологічний показник	Коефіцієнт кореляції	$F_{\text{фактичне}}$
1.	Вуглець лужнорозчинний	0,71	4,8
2.	Вуглець водорозчинний	0,56	4,2
3.	Коефіцієнт гуміфікації	0,56	4,3
4.	Показник мінералізації	-0,65	5,3
5.	Загальна кількість евтрофів	0,58	4,3
6.	Показник оліготрофності	-0,73	5,1
7.	Продуктивність сівозміни	0,70	4,3
8.	Активність дегідрогенази	0,68	5,9
9.	Активність уреазы	0,67	5,7

У неудобреному ґрунті гумус є основним джерелом поживних речовин для формування врожаю, оскільки в ньому акумулюється 98 % всього запасу азоту ґрунту, 60 %

фосфору та калію. Різниця у вмісті та запасах гумусу визначається кількістю та якістю рослинної органічної речовини, яка надходить у ґрунт, а також інтенсивністю процесів

Кривенко А. І.

її трансформації. За результатами численних досліджень, щорічне відчуження азоту з урожаєм і надходження в ґрунт рослинного матеріалу з широким

співвідношенням С:N, може призвести до значної мінералізації гумусу [10]. Це підтверджується також нашими експериментальними дослідженнями.

6. Визначення коефіцієнтів гуміфікації за різних систем удобрення

Внесено за чотири ротації на гектар ріллі, кг(т)/га	Гумус, т/га		Надійшло гумусу, т/га		Мінералізація гумусу, т/га	Коефіцієнт гуміфікації
	1972 р.	на кінець IV ротації	з гноем	рослинні залишки		
Без добрив	96,0	85,2	–	69,8	25,25	0,20
Фон 1 - гній 265	96,0	94,2	7,25	76,4	25,25	0,21
Фон 2 - гній 410	96,0	100,5	12,18	78,5	25,25	0,22
N ₁₆₇₅ P ₁₄₃₅ K ₁₂₅₅	96,0	88,2	–	85,7	25,25	0,12
Ф1+ N ₁₀₅₀ P ₉₄₀ K ₈₂₀	96,0	93,0	7,25	86,6	25,25	0,16
Ф1+ N ₁₆₇₅ P ₉₄₀ K ₈₂₀	96,0	96,3	7,25	84,3	25,25	0,22
Ф1+ N ₁₆₇₅ P ₁₄₃₅ K ₁₂₅₅	96,0	93,0	7,25	88,5	25,25	0,24
Ф1+ N ₂₃₀₀ P ₁₄₃₅ K ₁₂₅₅	96,0	93,0	7,25	89,6	25,25	0,18
Ф2+ N ₁₀₅₀ P ₉₄₀ K ₈₂₀	96,0	95,7	12,18	88,8	25,25	0,15
Ф2+ N ₁₆₇₅ P ₁₄₃₅ K ₁₂₅₅	96,0	95,7	12,18	91,1	25,25	0,14

У контрольному варіанті без добрив, де трофічний режим збіднений, на що вказує високий показник оліготрофності, формування урожайності зернових культур здійснюється за рахунок мінералізації гумусу і це підтверджується достатньо великою кількістю нітрифікаторів та целюлозоруйнівних мікроорганізмів (табл. 7). У таких умовах спостерігається зниження вихідного вмісту гумусу в ґрунті з 3,20 % до 2,84 %, тобто на 0,36 %, а розрахований коефіцієнт

гуміфікації – 0,20 є недостатнім для поповнення запасів гумусу.

Дія органічних добрив є позитивною у відношенні до вмісту гумусу. Встановлено, що 1 т гною забезпечує підвищення вмісту гумусу в орному шарі на 50 кг/га. У варіантах із застосуванням 7,8 та 12,1 т/га гною трофічний режим ґрунту поліпшується, завдяки чому відповідно на 13,9 та 28,6 % підвищується продуктивність зернопарової сівозміни у порівнянні з контрольним варіантом. При цьому за незмінного показника напруженості

Кривенко А. І.

мінералізаційних процесів створюються сприятливі умови для процесів гуміфікації: $K_f=0,21-0,22$. Запаси гумусу стабілізуються і навіть дещо підвищуються з полуторною нормою внесення гною. Аналогічні

результати досліджень отримані й іншими дослідниками, за висновками яких для створення бездефіцитного балансу гумусу на чорноземах достатньо вносити 9–10 т/га гною щорічно [3; 4; 10; 11].

7. Напруженість мінералізаційних процесів та продуктивність зерно-паро-просапної сівозміни за різних систем удобрення

Внесено добрив за чотири ротації на гектар ріллі, органічних – т/га; мінеральних – кг д.р./га	Гумус, %	Показник		Нітрифікатори, тис./г	Целюлозоруйнівні, тис./г	Продуктивність сівозміни, ум. з. од.
		оліготрофності	мінералізації			
Без добрив	2,84	119	8,0	2,1	28,2	29,4
Фон 1- гній 265	3,14	81	8,1	2,3	23,0	33,5
Фон 2 - гній 410	3,35	72	8,2	2,6	31,1	37,8
$N_{1675}P_{1435}K_{1255}$	2,94	93	13,0	2,0	33,4	38,1
$\Phi 1 + N_{1050}P_{940}K_{820}$	3,10	76	8,7	1,9	-	38,5
$\Phi 1 + N_{1675}P_{940}K_{820}$	3,21	73	9,7	2,1	29,3	38,9
$\Phi 1 + N_{1675}P_{1435}K_{1255}$	3,30	70	9,9	1,7	25,2	39,8
$\Phi 1 + N_{2300}P_{1435}K_{1255}$	3,10	71	9,2	1,7	27,2	39,6
$\Phi 2 + N_{1050}P_{940}K_{820}$	3,20	56	9,5	2,5	33,7	39,8
$\Phi 2 + N_{1675}P_{1435}K_{1255}$	3,20	57	10,4	2,4	33,5	40,0
HP_{05}	-	-	-	0,3	3,0	-

Довготривале внесення лише мінеральних добрив у нормі $N_{49,3}P_{42,2}K_{36,9}$ не сприяє гуміфікації рослинних решток: у цьому варіанті коефіцієнт гуміфікації найнижчий і становить 0,12. Також відмічено найбільший показник напруженості мінералізаційних процесів – 13,0, де на 23,5 % підвищується чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів порівняно з середнім значенням із внесенням органічних і на 12,2 % – із внесенням

оргаано-мінеральних

добрив. Тому, незважаючи на щорічне внесення доступних поживних речовин, запаси гумусу порівняно з вихідним вмістом знижуються на 0,26 %. При сумісному внесенні мінеральних добрив з підвищеною нормою гною не спостерігається суттєвого зростання продуктивності сівозміни, хоча вміст гумусу залишається на рівні вихідного і становить 3,2 %. Низькі коефіцієнти гуміфікації – 0,15–0,14, свідчать про непродуктивні витрати

Кривенко А. І.

органічної речовини та її втрати за рахунок високої активності процесів мінералізації.

За результатами узагальнення експериментальних даних та з використанням статистичних методів у моделюванні створено нейронну мережу формування умовно чистого прибутку залежно від рівнів урожайності зернових культур, які зумовлені комплексним впливом технологічних та економічних чинників. Архітектура побудованої нейронної мережі (РБФ 6:19-1-1:1, $N=10$) заснована на десяти елементах (нейронах), які мають вплив на інтенсивність процесу вирощування озимих зернових культур. Усі нейрони поділяються на два блоки: технологічні та економічні чинники. До технологічних чинників належать: сортовий склад, глибина і спосіб обробітку ґрунту, органо-мінеральне удобрення, норма висіву та захист рослин. До економічних чинників належать: собівартість, ціна на кінцеву продукцію, вартість агротехнічних ресурсів, витрати праці та виробничі витрати. У розробленій нейронній мережі можливо у широкому діапазоні змінювати елементи першого блоку. Шляхом оптимізації технологічних чинників можна досягти найкращого економічного результату навіть за несприятливих погодних умов. Зокрема, посух, суховіїв,

екстремальних високих та низьких температур повітря тощо, а також істотно підвищити продуктивність зернових культур та економічну ефективність їх виробництва. За цих умов важливим завданням є встановлення оптимального ресурсного забезпечення виробництва зерна з метою формування найвищого рівня урожайності, підвищення якості продукції рослинництва, досягнення максимальних показників умовно чистого прибутку та рівня рентабельності.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отже, із зростанням норми внесення мінерального азоту у складі органо-мінеральної системи удобрення погіршується структурно агрегатний склад чорнозему південного за рахунок збільшення на 44,8% його брилистих фракцій. Варіабельність параметрів структурно-агрегатного складу чорнозему південного визначається нормами внесення елементів живлення чи їх сполучень від 36 до 69 %. Довготривале використання органо-мінеральних систем удобрення позитивно впливає на водостійкість ґрунту.

Можна зробити висновок, що довготривале систематичне використання органо-мінеральних систем удобрення на чорноземі південному впливає на вміст

Кривенко А. І.

загального азоту та його фракцій. Найбільш глибокі зміни відбуваються за використання мінеральної системи удобрення. За комплексом показників оптимальною системою удобрення для умов Південного Степу України є щорічне внесення 7,8 т/га гною сумісно з повним мінеральним добривом $N_{49,3}P_{42,2}K_{36,9}$. Для бездефіцитного балансу гумусу чорнозему південного достатньо щороку вносити 7,8 т/га гною сумісно з повним мінеральним добривом $N_{49,3}P_{42,2}K_{36,9}$.

Таким чином, дія органо-мінеральних систем удобрення неоднозначна. Внесення повного мінерального добрива з різними нормами азоту забезпечує зниження показника оліготрофності, поліпшує трофічний режим ґрунту, порівняно з внесенням гною, підвищує показники

Список використаних джерел

1. Бойко П.І. Методичні основи польових дослідів з визначення ефективності систем сівозмін. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2009. вип. 50. С. 12–20.
2. Коваленко Н.П. Становлення та розвиток науково-організаційних основ застосування вітчизняних сівозмін у системах землеробства (друга половина ХІХ – початок ХХІ ст.): монографія. Київ: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. 490 с.
3. Медведєв В.В. Структура почви. Харків: 13 типографія, 2008. 406 с.
4. Медведєв В.В. Нормативи утворення і збереження структури ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2010. №3. С. 9–13.
5. Господаренко Г.М., Трус О.М. Вплив тривалого застосування добрив на показники родючості чорнозему

напруженості мінералізаційних процесів, що становлять 8,7–10,4 проти 8,1–8,2, а також продуктивність сівозміни у середньому на 10,5 %, що відображає зростання ефективної родючості чорнозему південного. Із досліджених варіантів із застосуванням органо-мінеральних систем удобрення у Південному Степу України, найбільш сприятливим не тільки за рівнем продуктивності, але й за коефіцієнтом гуміфікації, який становить 0,24, є варіант з щорічним внесенням $N_{49,3}P_{42,2}K_{36,9} + 7,8$ т/га гною. Важливим є дослідження ефективності органо-мінеральних систем удобрення та інших елементів технологій вирощування озимих зернових культур у різних ґрунтово-кліматичних умовах України.

опідзоленого та продуктивність польової сівозміни. *Вісник Полтавської державної академії*. 2011. №1. С. 17–21.

6. Чередниченко І.В. Агрофізичні показники чорнозему типового за різних систем удобрення. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2015. №1. С. 113–117.

7. Лях Н.М. Влияние длительного применения минеральных удобрений на физико-химические свойства чернозема выщелоченного. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Харків, 2018. Книга перша. Ґрунтознавство. С. 147–148.

8. Лабораторний практикум з ґрунтознавства. Укладач М.Ф. Бережняк. Київ, 2012. С. 39–49.

9. Ратникова Т.А. Введение в эконометрический анализ панельных данных. *Журнал ВШЭ*. 2006. №3.

Кривенко А. І.
С. 492–519.

10. Господаренко Г.М., Кравець І.С. Вплив землекористування на вміст і якість гумусу в чорноземі опідзоленому правобережного Лісостепу України. *Науковий вісник НАУ*. 2000. №24. С. 122–127.

11. Шедей Л.О. Вплив гною та альтернативних органічних добрив і цеолітів на фракційний склад чорнозему опідзоленого. *Землеробство: міжвідомчий наук. зб.* 2004. Вип. 76. С. 37–41.

References

1. Boiko, P.I. (2009). *Metodychni osnovy polovykh doslidiv z vyznachennia efektyvnosti system sivozmin* [Methodical bases of the field experiments are from determination of efficiency of the systems of crop rotations]. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria*, 50, 12–20. (in Ukraine).

2. Kovalenko, N.P. (2014). *Stanovlennia ta rozvytok naukovo-orhanizatsiinykh osnov zastosuvannia vitchyznianskykh sivozmin u systemakh zemlerobstva (druha polovyna XIX – pochatok XXI st.): monohrafiia* [Becoming and development of scientifically-organizational bases of application of home crop rotations in the systems of agriculture (the second half of XIX is beginning of XXI of century): monograph]. Kyiv: TOV «Nilan-LTD», 490. (in Ukraine).

3. Medvedev, V.V. (2008). *Struktura pochvy* [Structure of soil]. Kharkov: 13 typohrafiya, 406. (in Russia).

4. Medvediev, V.V. (2010). *Normatyvy utvorennia i zberezhennia struktury gruntu* [Norms of education and maintenance of structure of soil]. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 3. 9–13. (in Ukraine).

5. Hospodarenko, H.M. & Trus, O.M. (2011). *Vplyv tryvaloho zastosuvannia dobryv na pokaznyky rodiuchosti chornozemu opidzolenoho ta produktyvnist polovoiv sivozminy* [Influence of the protracted

application of fertilizers is on the indexes of fertility of black earth and productivity of the field crop rotation]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi akademii*. 1. 17–21. (in Ukraine).

6. Cherednychenko, I.V. (2015). *Ahrofizychni pokaznyky chornozemu typovoho za riznykh system udobrennia* [Agrophysics indexes of black earth of typical at the different systems fertilizer]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 1. 113–117. (in Ukraine).

7. Liakh, N.M. (2018). *Vlyianye dlytelnoho prymereniya myneralnykh udobreniy na fizyko-khymycheskye svoistva chernozema vyshchelochennoho* [Influence of the protracted application of mineral fertilizers on physical-chemical of property of black earth lixiviated]. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. Knyha persha. Gruntoznavstvo. 147–148. (in Ukraine).

8. (2012). *Laboratnyi praktykum z gruntoznavstva* [Laboratory practical work is from soil science]. Ukladach M.F. Berezhniak. Kyiv, 39–49. (in Ukraine).

9. Ratnykova, T.A. (2006). *Vvedenye v ekonometrycheskyi analiz panelnykh dannykh* [Introduction to the economic and metrical analysis of panel data]. *Zhurnal VShE*. 3. 492–519. (in Russia).

10. Hospodarenko, H.M. & Kravets, I.S. (2000). *Vplyv zemlekorystuvannia na vmist i yakist humusu v chornozemi opidzolenomu pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy* [Influence of land-tenure is on content and quality of humus in black earth of right-bank Forest-steppe of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NAU*. 24. 122–127. (in Ukraine).

11. Shedei, L.O. (2004). *Vplyv hnoiu ta alternatyvnykh orhanichnykh dobryv i tseolitiv na fraktsiinyi sklad chornozemu opidzolenoho* [Influence of pus and alternative organic fertilizers and zeolites is on factious composition of black earth]. *Zemlerobstvo: mizhvidomchyi nauk. zb.* 76. 37–41. (in Ukraine).

Кривенко А. І.

A DESIGN OF FERTILITY OF SOIL AND PRODUCTIVITY OF WINTER-ANNUAL GRAIN-CROPS IS DEPENDING ON NATURAL AND AGROTECHNICAL MEASURES IN SOUTH STEPPE OF UKRAINE**A. I. Krivenko**

Abstract. *The results of the researches got in the of long duration field experiments during 1971–2007 are represented in the article.*

A research aim was a design of fertility of soil and productivity of winter-annual grain-crops depending on natural and agrotechnical measures in South Steppe of Ukraine.

Researches executed on the experienced field of the Odesa state agricultural experimental station of the National academy of agrarian sciences of Ukraine.

It is set on results research, that with the increase of norm of bringing of mineral nitrogen in composition the organic-mineral systems of fertilizer gets worse structurally aggregate composition of black earth south due to the increase of him blocky factions. Certainly, that the of long duration systematic use of the organic-mineral systems of fertilizer on black earth south positively influences on water resistance of soil, maintenance of general nitrogen and his factions. It is found out, that the most deep changes take place for the use of the mineral system of fertilizer. Certainly, that bringing of complete mineral fertilizer with the different norms of nitrogen improves the trophic mode of soil and promotes the indexes of tension of the Mineralization processes, and also productivity of crop rotation in middle on 10,5%, that represents the increase of effective fertility of black earth south. From investigational variants with application of the organic-mineral systems of fertilizer in South Steppe of Ukraine, most favorable not only after the level of the productivity but also after the coefficient of humification a variant appeared with the annual bringing of organic and mineral fertilizers.

Key words: *winter-annual grain-crops, crop rotation, organic-mineral systems of fertilizer, fertility of soil, productivity, design*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И ПРОИЗВОДСТВА ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АГРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ЮЖНОЙ СТЕПИ УКРАИНЫ**А. И. Кривенко**

Аннотация. *В статье отображены результаты исследований, полученных в долговременных полевых опытах на протяжении 1971–2007 годов.*

Целью исследования было моделирование плодородия почвы и производства озимых зерновых культур в зависимости от естественных и агротехнических мероприятий в Южной Степи Украины.

Кривенко А. І.

Исследования выполняли на опытном поле Одесской государственной сельскохозяйственной опытной станции Национальной академии аграрных наук Украины.

По результатам исследования установлено, что с ростом нормы внесения минерального азота в составе органоминеральных систем удобрения ухудшается структурно агрегатный состав чернозема южного за счет увеличения его глыбистых фракций. Определено, что долговременное систематическое использование органоминеральных систем удобрения на черноземе южном положительно влияет на водостойкость почвы, содержание общего азота и его фракций. Выяснено, что наиболее глубокие изменения происходят при использовании минеральной системы удобрения. Определено, что внесение полного минерального удобрения с разными нормами азота улучшает трофический режим почвы и повышает показатели напряженности минерализационных процессов, а также производительность севооборота в среднем на 10,5%, что отображает рост эффективного плодородия чернозема южного. Из исследованных вариантов с применением органоминеральных систем удобрения в Южной Степи Украины, наиболее благоприятным не только по уровню производительности, но и по коэффициенту гумификации оказался вариант с ежегодным внесением органических и минеральных удобрений.

Ключевые слова: *озимые зерновые культуры, севооборот, органоминеральные системы удобрения, плодородие почвы, урожайность, моделирование*