

Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 4 (48). С. 11–19
Vestnik Kurganskoj GSNA. 2023; (4-48): 11–19

Научная статья

УДК 633.1:631.452:631.8:631.582:633.63

EDN: VSZSDE

Код ВАК 4.1.3

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОМ СЕВООБОРОТЕ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РАЙОНА

Ольга Александровна Минакова¹, Николай Алексеевич Куницын²

^{1, 2} Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, Россия

¹ olalmin2@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4332-2547>

² kunicin_81@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – установить влияние последействия удобрений в зерносвекловичном севообороте на урожайность зерновых культур в условиях Центрально-Черноземного района (далее – ЦЧР). Исследования проводились в 2019-2021 гг. в стационарном опыте (год закладки – 1936) на черноземе, выщелоченном в лесостепи ЦЧР, в 9-польном севообороте (черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень с подсевом клевера – клевер 1 года использования – озимая пшеница – сахарная свекла – однолетние травы – овес). Минеральные удобрения вносились под сахарную свеклу 2 раза за ротацию, навоз – 1 раз в пару. В ходе проведения исследований было установлено, что последействие удобрений при их длительном использовании обеспечило урожайность зерна озимой пшеницы на уровне 2,81-4,37 т/га, ячменя – 3,01-4,19 т/га и овса 2,13-3,00 т/га. Высокая урожайность озимой пшеницы в клеверном звене и ячменя отмечалась при насыщенности 1 га пашни $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, озимой пшеницы в паровом звене и овса – $N_{42}P_{42}K_{42}$. Последействие удобрений повысило содержание белка в зерне озимой пшеницы на 0,3-1,4 % и в ячмене на 0,7-1,5 %, а в зерне овса повысилось содержание крахмала на 1,1-3,7 %. Оценка энергетической эффективности позволила заключить, что на озимых отмечался наибольший эффект последействия высоких доз удобрений, на яровых – умеренных доз. На повышение удобренности пашни лучше всего реагировали озимая пшеница в паровом звене и ячмень. Рекомендовано использовать в 9-польном зерносвекловичном севообороте $N_{135}P_{135}K_{135}$ (2 раза за ротацию) под сахарную свеклу совместно с 25 т/га навоза в пару (1 раз за ротацию) или $N_{190}P_{190}K_{190}$ под сахарную свеклу (2 раза за ротацию) (без навоза) для обеспечения максимальной продуктивности зерновых культур в условиях неустойчивого увлажнения ЦЧР.

Ключевые слова: зерновые культуры, минеральные удобрения, навоз, урожайность, озимая пшеница (*Triticum aestivum*), ячмень (*Hordeum vulgare*), овес (*Avena sativa*), окупаемость.

Для цитирования: Минакова О.А., Куницын Н.А. Продуктивность зерновых культур в зерносвекловичном севообороте Центрально-Черноземного района // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 4 (48). С. 11–19. EDN: VSZSDE.

Scientific article

PRODUCTIVITY OF GRAIN CROPS IN THE GRAIN CROP AND BEET CROP ROTATION OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

Olga A. Minakova¹, Nikolay A. Kunitsin²

^{1, 2} The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, VNISS, Russia

¹ olalmin2@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4332-2547>

² kunicin_81@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is to establish the effect of fertilizers aftereffect in the grain crop and beet crop rotation on the yield of grain crops in the conditions of the Central Chernozem Region (hereinafter - the CCR). The research was conducted in 2019-2021 in a stationary experiment (year of laying 1936) on the leached chernozem in the forest-steppe of the CCR, in a 9-field crop rotation (black steam – winter wheat – sugar beet – barley with clover complementary seeding – clover of 1 year of use – winter wheat – sugar beet – annual grasses – oats). Mineral fertilizers were applied to sugar beet 2 times per rotation, manure – 1 time into fallow land. During the research, it was found that the aftereffect of fertilizers with their long-term use ensured the yield of winter wheat grain at the level of 2.81-4.37 t/ha, barley - 3.01-4.19 t/ha and oats - 2.13-3.00 t/ha. High yields of winter wheat in the clover combination and barley were observed at a saturation of 1 ha of arable land with $N_{30}P_{30}K_{30} + 2.8$ t/ha of manure, winter wheat in the fallow combination and oats with $N_{42}P_{42}K_{42}$. The aftereffect of fertilizers increased the protein content in winter wheat grain by 0.3-1.4 %, and in barley by 0.7-1.5 %, and, in oat grain, the starch content increased by 1.1-3.7 %. An assessment of energy efficiency allowed us to conclude that the greatest effect of the aftereffect of high doses of fertilizers was observed in winter crops, moderate doses in spring crops. Winter wheat in the fallow combination and barley reacted best to an increase in the arable land fertilization. It is recommended to use $N_{135}P_{135}K_{135}$ (2 times per rotation) for sugar beet together with 25 t/ha of manure in the fallow land (1 time per rotation) or $N_{190}P_{190}K_{190}$ for sugar beet (2 times per rotation) (without manure) in a 9-field grain crop and beet crop rotation to ensure maximum productivity of grain crops in the conditions of unstable humidity of the CCR.

Keywords: cereals, mineral fertilizers, manure, yield, winter wheat (*Triticum aestivum*), barley (*Hordeum vulgare*), oats (*Avena sativa*), payback.

For citation: Minakova O.A., Kunitsin N.A. Productivity of grain crops in the grain crop and beet crop rotation of the central chernozem region. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2023; (4-48): 11–19. EDN: VSZSDE. (In Russ).

Введение. Зерновые культуры в земледелии РФ получают недостаточное количество удобрений, что не обеспечивает реализацию их потенциала продуктивности. Так, в 2017 году на 1 га посевов вносилось всего 58 кг NPK [1], что значительно ниже рекомендуемых дозировок. Недостаточная удобренность приводит к дефициту NPK. Так, по данным 2016 года, дефицит азота в пахотных почвах составил -64 кг/га, P_2O_5 – -23, K_2O – -62 кг. Эти сведения указывают на то, что земледелие России приобрело устойчивый истощительный характер, а производство сельскохозяйственной продукции основывается практически на естественном плодородии почв [2].

Методически выдержанное изучение действия удобрений на урожай культур возможно только в условиях стационарных опытов, где аккумулируется во времени действие, взаимодействие и последствие агротехнических приемов. Ценность результатов полевого опыта возрастает от его закладки до приближения устойчивого экофитоценологического равновесия [3]. Длительный опыт дает практический ответ, возможно ли добиться с помощью тестируемой системы удобрения высоких и стабильных урожаев, а также определить пути снижения влияния погодных условий в управлении урожаем, повысить качество продукции и в целом оценить возможность устойчивого функционирования агроэкосистем [4–5].

Использование разных видов удобрений на зерновых культурах, как в прямом действии, так и последствии, повышает урожайность зерновых яровых и озимых культур [6–9], а также продуктивность севооборотов с ними [10–12]. Рост урожайности от последствия удобрений объясняется как потреблением растениями неиспользованных элементов питания, так и общим повышением плодородия пашни в длительно удобряемых севооборотах с пропашными культурами [11], что дает возможность получать стабильные урожаи зерновых культур [8; 11; 13].

Установлено, что наибольшую окупаемость на зерновых имеют низкие дозы комплексных удобрений ($N_{40}P_{40}K_{40}$), а высокие дозы ($N_{80}P_{80}K_{80}$) обеспечивают наибольшие прибавки урожайности [14]. Разные яровые неодинаково реагируют на удобрения. Так, урожайность увеличивается в ряду яровая пшеница – ячмень – овес [9].

Исследованиями других ученых отмечено ослабление влияния погодных условий на урожайных посевах зерновых культур [10]. При этом в засушливых условиях сочетание минеральных удобрений с навозом, по сравнению с минеральными и минеральными с известью, имело большую эффективность и более выраженное последствие [8; 15]. По нашему мнению, эффективность последствия различных видов удобрений должна обязательно учитываться в расчете продуктивности севооборота.

Г. Е. Мерзлая и Р. А. Афанасьев (2019) установили, что при интенсивном применении удобрений их последствие совместно с умеренным внесением азотных удобрений было выше прямого действия [13].

Под влиянием удобренности почвы, качество зерна значительно изменяется [16–18], меняется белковость и содержание клейковины. По данным А. А. Алферова, Л. С. Черновой (2020) улучшение азотного питания увеличивает содержание белка в зерне 0,3–1,1 % [18].

Н. А. Шаповалова с соавторами (2022) установили, что даже при 13-летнем последствии на фоне высоких доз удобрений отмечалось снижение содержания клейковины до 6,2 %, а на фоне низких доз – до 3,0 % [19].

Исследованиями О. А. Минаковой с соавторами (2020) доказано, что длительное использование в севообороте систем удобрения с высокой насыщенностью обеспечило значительные показатели суммарной урожайности основной продукции культур севооборота (зерна, корнеплодов, трав), оплату 1 кг NPK основной и побочной продукцией, экономическую и энергетическую эффективность [20].

Таким образом, улучшение питания зерновых культур как при прямом внесении удобрений в посевы, так и при последствии удобрений способствует повышению продуктивности и лучшей устойчивости к неблагоприятным условиям окружающей среды.

Цель исследований – установить влияние последствия использованных удобрений в зерносекловичном севообороте на урожайность зерновых культур в условиях ЦЧР.

Задачи исследования:

- выявить влияние последствия использо-

ванных удобрений на урожайность и качество зерновых культур;

- определить энергетическую эффективность последствия внесенных удобрений;

- установить окупаемость 1 кг удобрений, используемых в севообороте прибавкой урожая зерна;

- установить связь уровня удобренности пашни и последующей продуктивности зерновых культур.

Материалы и методы. Исследования проводились в длительном стационарном опыте (год закладки – 1936), в 2019–2021 гг. (10 ротация севооборота), расположенном в подзоне неустойчивого увлажнения лесостепи Центрально-Черноземного района. Севооборот зернопаропропашной со следующим чередованием культур: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень с подсевом клевера – клевер 1 года использования – озимая пшеница – сахарная свекла – травосмесь горох+овес – овес. Минеральные удобрения (нитроаммофоска N:P:K = 16:16:16) вносились только под сахарную свеклу 2 раза за ротацию, навоз крупного рогатого скота – 1 раз в пару. Остальные культуры севооборота используют последствие внесенных удобрений. Почва опытного

участка – чернозем выщелоченный малогумусный среднемогучный тяжелосуглинистый [20].

Урожайность зерновых культур определяли методом уборки пробных площадок комбайном Samro 200 (площадь учетной делянки – 12,2 м²), содержание крахмала – по ГОСТ 10845-88, качество и количество клейковины в пшенице – по ГОСТ Р54478-2011 (п.9.4 и п. 9.2), содержание белка – по ГОСТ 10846-91, энергетическую эффективность и окупаемость 1 кг NPK удобрений – расчетным методом, зависимость урожайности от уровня удобренности – с помощью программного комплекса Microsoft Excel.

Изучались почва и урожай зерновых культур на 6 вариантах стационарного опыта. Схема опыта представлена в таблице 1.

Результаты исследований и их обсуждение. Урожайность зерна озимой пшеницы в паровом звене составила 2,71–4,37 т/га (таблица 2). Наименьшая урожайность была в контроле, наибольшая – при насыщении почвы $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$. Данный показатель увеличивался по сравнению с контролем на 0,41–1,66 т/га (+15,3–61,2 %), но меньше при действии системы $N_{10}P_{10}K_{10}$ + 2,8 т/га навоза. Наиболее насыщенная элементами питания система $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6}$ + 5,6 т/га навоза

Таблица 1 – Схема стационарного опыта по внесению удобрений и навоза

№ варианта	Внесение минеральных удобрений, кг д.в. на 1 га			Навоз в пар, т/га	Уровень насыщенности 1 га севооборотной площади удобрениями, кг			
	NN	P ₂ O ₅	K ₂ O		NN	P ₂ O ₅	K ₂ O	навоз
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	45	45	45	25	10	10	10	2,8
3	90	90	90	25	20	20	20	2,8
4	135	135	135	25	30	30	30	2,8
5	120	120	120	50	26,6	26,6	26,6	5,6
6	190	190	190	0	42	42	42	0

Таблица 2 – Урожайность зерновых культур при последствии удобрений, т/га

Вариант	Озимая пшеница		Ячмень	Овес
	в пару	в клеверном звене		
Контроль	2,71	2,64	2,65	1,90
$N_{10}P_{10}K_{10}$ + 2,8 т/га навоза	3,12	2,81	3,01	2,13
$N_{20}P_{20}K_{20}$ + 2,8 т/га навоза	3,17	3,35	3,81	2,58
$N_{30}P_{30}K_{30}$ + 2,8 т/га навоза	3,64	3,62	4,16	2,74
$N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6}$ + 5,6 т/га навоза	3,84	3,71	3,50	2,76
$N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$	4,37	3,40	3,86	3,00
HCP ₀₅	0,16	0,18	0,16	0,11

не обеспечивала максимальной прибавки урожая, она составила 1,13 т/га (+41,7 % к контролю). Системы с минеральными удобрениями на фоне 25 т/га навоза обеспечивали примерно одинаковую, среднюю в опыте урожайность культуры (3,12–3,64 т/га), что соответствовало медианной урожайности в опыте.

Урожайность зерна озимой пшеницы в клеверном звене составила 2,64–3,71 т/га, наименьшей она была в контроле, наибольшей – при насыщении $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, а также $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза. Данная культура испытывает последствие удобрений на 3-й год, что увеличивало показатель относительно контроля на 0,17–1,07 т/га (+6,44–40,5 %), менее всего – при использовании системы $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза, более всего – $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза. Минеральная система $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ действовала несколько хуже, чем $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза, в данном варианте прибавка была на 0,31 т/га меньше, а относительно контроля она составила 0,76 т/га (+28,8 %).

Урожайность озимой пшеницы в паровом звене достоверно превышала таковую в клеверном звене в вариантах $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза

и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ на 0,31 и 0,97 т/га соответственно.

Урожайность зерна ячменя составила 2,65–4,16 т/га, наименьшей она была в контроле, наибольшей – при насыщении $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза. Последствие удобрений в 1 год увеличивало урожайность на 0,36–1,51 т/га (+13,6–57,0 % к контролю), менее всего – при действии системы $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза, больше всего – $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза. Наиболее насыщенная элементами питания система $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза не обеспечивала максимальной прибавки, она составила 0,85 т/га (+32,1% к контролю). Минеральная система также действовала несколько хуже, чем $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, прибавка урожая составила 1,21 т/га (+45,7 % к контролю).

Урожайность зерна овса была на 21,1–34,1 % ниже, чем ячменя, по причине биологических особенностей культуры и составила 1,90–3,00 т/га, наименьшей она была в контроле, наибольшей – при насыщении $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$. Последствие удобрений на 3-й год увеличивало урожайность на 0,23–1,10 т/га (+12,1–57,8 % к контролю), в меньшей степени при действии системы $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза, а в большей – $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$. Наиболее насыщенная элементами

Таблица 3 – Содержание белка в зерне при последствии удобрений, %

Вариант	Озимая пшеница		Овес	Ячмень
	в пару	в клеверном звене		
Контроль	13,5	11,0	12,4	11,3
$N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза	13,4	11,7	12,6	12,0
$N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	14,4	11,4	12,4	12,5
$N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза	14,1	11,5	12,5	12,8
$N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза	14,0	12,4	12,9	12,1
$N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$	13,8	11,4	12,1	12,0
НСР ₀₅	0,30	0,36	-	0,5

Таблица 4 – Содержание крахмала в зерне при последствии удобрений, %

Вариант	Озимая пшеница		Овес	Ячмень
	паровое звено	клеверное звено		
Контроль	62,3	67,5	33,8	55,5
$N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза	65,7	67,6	36,8	54,2
$N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	62,7	67,7	34,9	54,2
$N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза	63,3	67,4	36,3	55,5
$N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза	62,6	67,3	35,1	56,6
$N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$	62,3	67,1	37,5	56,6
НСР ₀₅	-	-	1,0	-

питания система $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза не обеспечивала максимальной прибавки урожая, которая составила 0,86 т/га (+45,2 % к контролю). Система $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза также влияла несколько хуже, чем $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$, в данном варианте прибавка урожая составила 0,84 т/га (+44,2 % к контролю). Наибольший валовой сбор зерна всех культур был получен в вариантах $N_{190}P_{190}K_{190}$ (3,66 т/га) и $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза (3,54 т/га). Высокая доза навоза в сочетании с минеральными удобрениями $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза обеспечивала более низкое значение показателя (3,45 т/га), а при слабой насыщенности ($N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза и $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза) – 2,76 и 3,23 т/га соответственно.

В зерне озимой пшеницы, выращенной в паровом звене, содержание белка в экспериментальных вариантах составило 13,4–14,4 % (таблица 3), в контроле – 13,5 %, а в озимой пшенице, выращенной в звене с клевером, – 11,4–12,4 %, и 11,0 % соответственно, что меньше на 1,6–3,0 %. В паровом звене отмечено увеличение содержания белка в зерне на 0,3–0,9 %, относительно контроля, при этом наиболее высоким оно было в варианте $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза, также значительное повышение урожайности было отмечено при насыщенности $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза, а в клеверном звене – на 0,4–1,4 %. Наибольшее повышение содержания белка было отмечено в варианте $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза (+1,4 %), другие изучаемые варианты оказывали примерно одинаковое влияние (+0,4–0,7 % к контролю). В зерне овса содержание белка составило в контроле 12,4 %, в вариантах с последствием – 12,1–12,9 %, достоверность изменений не была установлена, однако в варианте $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза было отмечено больше белка относительно контроля на 0,5 %. В зерне ячменя, выращенном в варианте без удобрений, содержание белка составило 11,3 %, в вариантах

с последствием внесения удобрений – 12,0–12,8 %, увеличиваясь на 0,7–1,5 % относительно контроля. Наибольшие изменения по содержанию белка в зерне произошли в вариантах $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза.

Содержание крахмала как в озимой пшенице, выращенной в обоих звеньях, так и в ячмене достоверно не изменялось при последствии удобрений. Рост показателя был отмечен только в зерне овса, на 1,1–3,7 % (таблица 4) относительно контроля, максимальное значение было отмечено в вариантах $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ и $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза.

Максимальный коэффициент энергетической эффективности (далее – КЭЭ) отмечался на ячмене (4,70–11,6) (таблица 5), минимальный – на озимой пшенице в звене с клевером (1,03–4,83). На озимой пшенице в звене с паром и на овсе показатель был несколько выше и составил 2,03–7,47 и 4,00–5,18 соответственно.

Разница в КЭЭ на озимой пшенице в звене с паром по вариантам с разной насыщенностью удобрениями составила 1,2–3,68 раза, на озимой пшенице в звене с клевером – в 1,65–4,68 раза, ячмене – 1,02–2,47, овсе – 1,02–1,30, что свидетельствует о наиболее отличающемся влиянии уровня удобрения на энергию, заключенную в урожае озимой пшеницы, выращенной в клеверном звене, а минимальное влияние удобрения оказали на энергию, заключенную в урожае овса.

Максимальный КЭЭ на озимой пшенице в звене с паром обеспечивал уровень удобрения пашни $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ (7,47), на озимой пшенице в звене с клевером – $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза (4,83), ячмене и овсе – $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза (11,6 и 5,10 соответственно). Также высокие показатели КЭЭ были отмечены на ячмене при удобрении $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза (10,2) и овсе – $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ (5,10).

Окупаемость 1 кг NPK минеральных и органи-

Таблица 5 – Коэффициент энергетической эффективности применения удобрений в зерносвекловичном севообороте в посевах зерновых культур

Вариант	Озимая пшеница		Ячмень	Овес
	паровое звено	клеверное звено		
$N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза	2,48	1,03	4,70	4,00
$N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	2,03	2,73	11,6	5,18
$N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза	5,83	4,83	10,2	4,97
$N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза	3,29	2,92	5,64	4,69
$N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$	7,47	2,42	6,65	5,10

ческих удобрений на озимой пшенице в паровом звене составила 6,03–13,1 кг/кг (таблица 6), разница по вариантам составила 1,04–1,6 раза. Максимальной она была при высокой насыщенности 1 га пашни удобрениями (дозы $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$). Повышение насыщенности увеличивало показатель на 19,7–24,6 %, кроме варианта $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза, где было отмечено снижение на 0,12 относительно системы $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза.

Окупаемость 1 кг NPK минеральных и органических удобрений на озимой пшенице в клеверном звене составила 2,50–7,66 кг/кг, при разнице по вариантам 1,03–3,08 раза. Максимальной окупаемостью была на фоне $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза. Повышение насыщенности пашни увеличивало показатель в 2,4–3,1 раза, но не линейно, начиная с $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза она снижалась. Окупаемость 1 кг NPK минеральных и органических удобрений на озимой пшеницы в клеверном звене была на большинстве вариантов, кроме $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза и $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, ниже на 0,4–3,6 кг/кг (варианты $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза, $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ и $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза), чем в паровом, что объясняется большим эффектом от внесения навоза, чем увеличение урожайности корневых и пожнивных остатков клевера на вариантах с последствием.

Максимальная окупаемость 1 кг NPK мине-

ральных и органических удобрений на ячмене была отмечена в вариантах $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза и $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза (10,6 и 11,8 кг/кг соответственно), минимальная – $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза и $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ (0,53 и 0,55 кг/кг соответственно). Увеличение удобрения повышало окупаемость на этой культуре в 1,03–2,30 раза. Максимум окупаемости отмечался в вариантах с умеренной удобрением $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза и $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, а минеральная и органо-минеральная системы обеспечивали несколько более низкий уровень анализируемого показателя.

Окупаемость 1 кг NPK на овсе была ниже, чем на ячмене, вследствие того, что овес использовал последствие внесенных удобрений на второй год, а ячмень – на первый, а также из-за биологических особенностей этих культур. Данный показатель был наибольшим в варианте с минеральной системой $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$ (6,95), наименьшим – $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза (2,64). Увеличение удобрения почвы повышало окупаемость в 2,09–2,63 раза.

Повышение насыщенности 1 га пашни удобрениями в посевах овса (кроме $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза) последовательно увеличивало окупаемость.

Оценка зависимости урожайности от уровня насыщенности пашни удобрениями выявила, что наиболее тесная связь между показателями от-

Таблица 6 – Окупаемость 1 кг NPK минеральных удобрений и навоза, кг/кг

Вариант	Ячмень	Овес	Озимая пшеница	
			паровое звено	клеверное звено
$N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза	5,29	2,64	6,03	2,50
$N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	10,6	5,51	4,69	7,24
$N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза	11,8	5,23	7,27	7,66
$N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза	5,46	4,43	7,25	6,86
$N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$	9,56	6,95	13,1	6,00
НСР ₀₅	0,40	0,30	0,20	0,20

Таблица 7 – Уравнения зависимости урожайности зерновых от насыщенности 1 га пашни удобрениями

Культура	Уравнение	R2
Озимая пшеница в паровом звене	$Y=0,009X+2,63$	0,681
Озимая пшеница в клеверном звене	$Y=0,007X+2,55$	0,900
Ячмень	$Y=0,008X+2,71$	0,643
Овес	$Y=0,007X+1,86$	0,829

Y – урожайность, т/га, X – удобрения, кг д.в. на 1 га

мечалась на озимой пшенице в клеверном звене и на овсе. Увеличение удобренности почвы на 1 кг д.в. удобрений способствовало максимальному повышению урожайности зерна озимой пшеницы в паровом звене (на 9 кг) (таблица 7), несколько меньше – ячменя (на 8 кг), что свидетельствует о том, что именно на этих культурах последнее действие удобрений оказывает наибольшее влияние на продуктивность посевов, тогда как на овсе и озимой пшенице в паровом звене увеличение составило 7 кг.

Заключение. Последствие внесения удобрений при их длительном использовании в зернопаропропашном севообороте позволило получить урожайность зерна озимой пшеницы на уровне 2,81–4,37 т/га, ячменя – 3,01–4,19 т/га и овса 2,13–3,00 т/га. Этому способствовало как использование зерновыми остаточных количеств элементов питания минеральных удобрений, так и общее повышение плодородия почвы опыта.

Наибольшую урожайность зерна в опыте на озимой пшенице в клеверном звене и ячмене обеспечивала насыщенность 1 га пашни удобрениями на уровне $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, озимой пшеницы в паровом звене и овса – $N_{190}P_{190}K_{190}$. Эти же дозы способствовали созданию наибольшей окупаемости 1 кг внесенных удобрений.

Последствие удобрений на озимой пшенице в паровом звене, ячмене и овсе обеспечивало примерно одинаковое, достаточно высокое повышение урожайности зерна относительно контроля (на 15,3–61,2, 13,6–57,0 и 12,1–57,8 % соответственно), на озимой пшенице в клеверном звене – несколько ниже (на 6,4–40,5 %).

Последствие удобрений достоверно повысило содержание белка в зерне озимой пшеницы как в паровом, так и в клеверном звене (на 0,3–0,9 и 0,4–1,4 % соответственно) и в ячмене (на 0,7–1,5 %). Наибольшие изменения были отмечены в вариантах $N_{26,6}P_{26,6}K_{26,6} + 5,6$ т/га навоза, $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза.

Наибольшую энергетическую эффективность удобрений на ячмене и овсе обеспечивала система $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза, на озимой пшенице в паровом звене – $N_{42,2}P_{42,2}K_{42,2}$, в клеверном звене – $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, что доказывает наибольший эффект последствие высоких доз удобрений на озимых и умеренных доз – на яровых культурах.

Установлена математическая связь между насыщенностью пашни удобрениями и уровнем

урожайности. Культурами, в наибольшей степени реагирующими на повышение удобренности пашни удобрениями, являлись озимая пшеница в паровом звене и ячмень.

Для получения высокой урожайности зерновых в севооборотах с сахарной свеклой рекомендуется использовать два раза за ротацию под сахарную свеклу $N_{135}P_{135}K_{135}$ совместно с 25 т/га навоза в пару или $N_{190}P_{190}K_{190}$ (без навоза).

Список источников

1. Алтухов А.И., Сычев В.Г., Винничек Л.Б. Развитие производства и рынка минеральных удобрений // Плодородие. 2019. № 3 (108). С. 6-9.
2. Кудеяров В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // Почвоведение. 2019. № 1. С. 109-121.
3. Лошаков В.Г. Значение научно-агрономического наследия Д.Н. Прянишникова в развитии земледелия нечерноземной зоны // Достижения науки и техники АПК. 2015. № 11. С. 17-21.
4. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов Географической сети России / В.Г. Сычев [и др.] // Почвоведение. 2020. № 12. С. 1521-1536.
5. Hlisnikovský L., Menšík L., Barťóg P., Kunzová E. How Weather and Fertilization Affected Grain Yield and Stability of Winter Wheat in a Long-Term Trial in the South Moravian Region, Czech Republic // Agronomy. 2023. № 13 (9). P. 2293.
6. Урожайность озимой пшеницы и окупаемость удобрений при длительном применении средств химизации в полевом севообороте / А.М. Алиев [и др.] // Плодородие. 2019. № 1 (109). С. 17-19.
7. Ожередова А.Ю., Есаулко А.Н. Влияние минеральных удобрений на содержание элементов питания в растениях и урожайность зерна озимой пшеницы // Плодородие. 2019. № 4 (109). С. 6-8.
8. Приходько А.В., Колесникова А.В., Моляр С.А. Экономическая оценка применения органических удобрений в короткоротационном полевом севообороте в условиях степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 1 (17). С. 83-92.
9. Завалин А.А., Алёшин М.А. Вынос урожая, баланс в почве и эффективность использования азота зерновыми культурами в смешанных и

одновидовых агроценозах // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 6. С. 3-8.

10. Лыскова И.В., Суховеева О.Э., Лыскова Т.В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 2. С. 244-253.

11. Мерзлая Г.Е. Исследование устойчивости агроценозов при длительном применении удобрений на дерново-подзолистой почве // Почвоведение. 2021. № 3. С. 355-362.

12. Improving Crop Health, Performance, and Quality in Organic Spring Wheat Production: The Need to Understand Interactions between Pedoclimatic Conditions, Variety, and Fertilization / A. Wilkinson [et al.] // *Agronomy*. 2023. № 13 (9). P. 2349.

13. Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. Эффекты последствий минеральных и органических удобрений на дерново-подзолистой почве // *Плодородие*. 2019. № 1 (106). С. 15-17.

14. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Эффективность минеральных удобрений при возделывании ячменя при последствии различных систем удобрения на серых лесных почвах Ополья // *Агрохимия*. 2018. № 7. С. 28-39.

15. Дзюин А.Г. Влияние минеральных удобрений и погодных условий на урожайность яровой пшеницы и окупаемость удобрений в длительном стационарном опыте // *Агрохимия*. 2021. № 7. С. 36-46.

16. Влияние средств химизации на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности / А.А. Завалин [и др.] // *Агрохимия*. 2021. № 3. С. 28-37.

17. Волынкина О.В., Кириллова Е.В. Влияние удобрений на урожайность пшеницы и качество зерна в зернопаровом севообороте в центральной зоне Курганской области // *Агрохимия*. 2022. № 6. С. 28-33.

18. Алферов А.А., Чернова Л.С. Влияние азотных удобрений и биопрепаратов на продуктивность и качество зерна яровой пшеницы // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 3. С. 32-35.

19. Шаповалова Н.Н., Менькина Е.А., Ахмедшина Д.А. Диагностические показатели обеспеченности почвы элементами питания для формирования высокой урожайности озимой пшеницы // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 5. С. 5-10.

20. Минакова О.А., Александрова Л.В., Под-

вигина Т.Н. Оценка эффективности длительного применения удобрений в зерносвекловичном севообороте Центрально-Чернозёмного экономического района // *Вестник Курганской ГСХА*. 2020. № 3 (35). С. 51-55.

References

1. Altukhov A.I., Sychev V.G., Vinnichuk L.B. Razvitie proizvodstva i rynka mineral'nyh udobrenij [Development of production and market of mineral fertilizers]. *Plodorodie*. 2019; (3-108): 6-9. (In Russ).

2. Kudeyarov V.N. Pochvenno-biogeohimicheskie aspekty sostojanija zemledelija v Rossijskoj Federacii [Soil-biogeochemical aspects of the state of agriculture in the Russian Federation]. *Plodorodie*. 2019; (1): 109-121. (In Russ).

3. Loshakov V.G. Znachenie nauchno-agronomicheskogo nasledija D.N. Prjanishnikova v razvitii zemledelija nechernozemnoj zony [The significance of the scientific and agronomic heritage of D.N. Prjanishnikov in the development of agriculture in the non-chernozem zone]. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2015; (11): 17-21. (In Russ).

4. Sychev V.G. et al. Vlijanie sistem udobrenija na sodержanie pochvennogo organicheskogo ugleroda i urozhajnost' sel'skohozjajstvennyh kul'tur: rezul'taty dlitel'nyh polevyh opytov Geograficheskoi seti Rossii [The influence of fertilization systems on the content of soil organic carbon and crop yields: results of long-term field experiments of the Russian Geographical Network]. *Pochvovedenie*. 2020; (12): 1521-1536. (In Russ).

5. Hlisnikovský L., Menšík L., Barlóg P., Kunzová E. How Weather and Fertilization Affected Grain Yield and Stability of Winter Wheat in a Long-Term Trial in the South Moravian Region, Czech Republic. *Agronomy*. 2023; (13-9): 2293.

6. Aliyev A.M. et al. Urozhajnost' ozimoi pshenicy i okupaemost' udobrenij pri dlitel'nom primenenii sredstv himizacii v polevom sevooborote [Yield of winter wheat and payback of fertilizers with long-term use of chemicals in field crop rotation]. *Plodorodie*. 2019; (1-109): 17-19. (In Russ).

7. Ozheredova A.Yu., Esaulko A.N. Vlijanie mineral'nyh udobrenij na sodержanie jelementov pitanija v rastenijah i urozhajnost' zerna ozimoi pshenicy [The influence of mineral fertilizers on the content of nutrients in plants and grain yield of winter wheat]. *Plodorodie*. 2019; (4-109): 6-8. (In Russ).

8. Prikhodko A.V., Kolesnikova A.V., Molyar S.A. Jekonomicheskaja ocenka primenenija organicheskikh

udobrenij v korotkorotacionnom polevom sevooborote v uslovijah stepnogo Kryma [Economic assessment of the use of organic fertilizers in short-rotation field crop rotation in the conditions of the steppe Crimea]. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2019; (1-17): 83-92. (In Russ).

9. Zavalin A.A., Aleshin M.A. Vynos urozhaem, balans v pochve i jeffektivnost' ispol'zovanija azota zernovymi kul'turami v smeshannyh i odnovidovyh agrocenozah [Crop removal, soil balance and efficiency of nitrogen use by grain crops in mixed and single-species agrocecoses]. *Russian Agricultural Sciences*. 2021; (6): 3-8. (In Russ).

10. Lyskova I.V., Suhoveeva O.E., Lyskova T.V. Vlijanie lokal'nogo izmenenija klimata na produktivnost' jarovyh zernovyh kul'tur v uslovijah Kirovskoj oblasti [The impact of local climate change on the productivity of spring grain crops in the Kirov region]. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; (22-2): 244-253. (In Russ).

11. Merzlaja G.E. Issledovanie ustojchivosti agrocenozov pri dlitel'nom primenenii udobrenij na dernovo-podzolistoj pochve [Study of the stability of agrocecoses with long-term use of fertilizers on sod-podzolic soil]. *Pochvovedenie*. 2021; (3): 355-362. (In Russ).

12. Wilkinson A. et al. Improving Crop Health, Performance, and Quality in Organic Spring Wheat Production: The Need to Understand Interactions between Pedoclimatic Conditions, Variety, and Fertilization. *Agronomy*. 2023; (13-9): 2349.

13. Merzlaja G.E., Afanasyev R.A. Jeffekty posledejstvija mineral'nyh i organicheskikh udobrenij na dernovo-podzolistoj pochve [Aftereffects of mineral and organic fertilizers on sod-podzolic soil]. *Plodородіе*. 2019; (1-106): 15-17. (In Russ).

14. Okorkov V.V., Fenova O.A., Okorkova L.A. Jeffektivnost' mineral'nyh udobrenij pri vzdelyvanii jachmenja pri posledejstvii razlichnyh sistem udobrenija na seryh lesnyh pochvah Opol'ja [The effectiveness of mineral fertilizers for the cultivation of barley with the aftereffect of various fertilizer systems on gray forest soils of Opole]. *Agrohimia*. 2018; (7): 28-39. (In Russ).

15. Dzyuin A.G. Vlijanie mineral'nyh udobrenij i pogodnyh uslovij na urozhajnost' jarovoj pshenicy i okupaemost' udobrenij v dlitel'nom stacionarnom opyte [The influence of mineral fertilizers and weather conditions on the yield of spring wheat and the pay-back of fertilizers in a long-term stationary experiment]. *Agrohimia*. 2021; (7): 36-46. (In Russ).

16. Zavalin A.A. et al. Vlijanie sredstv himizacii na urozhajnost' i kachestvo zerna ozimoj pshenicy na

dernovo-podzolistoj pochve raznoj stepeni okul'turenosti [The influence of chemical agents on the yield and grain quality of winter wheat on sod-podzolic soil of varying degrees of cultivation]. *Agrohimia*. 2021; (3): 28-37. (In Russ).

17. Volynkina O.V., Kirillova E.V. Vlijanie udobrenij na urozhajnost' pshenicy i kachestvo zerna v zernoparovom sevooborote v central'noj zone Kurganskoj oblasti [The influence of fertilizers on wheat yield and grain quality in grain-fallow crop rotation in the central zone of the Kurgan region]. *Agrohimia*. 2022; (6): 28-33. (In Russ).

18. Alferov A.A., Chernova L.S. Vlijanie azotnyh udobrenij i biopreparatov na produktivnost' i kachestvo zerna jarovoj pshenicy [The influence of nitrogen fertilizers and biological products on the productivity and quality of spring wheat grain]. *Russian Agricultural Sciences*. 2020; (3): 32-35. (In Russ).

19. Shapovalova N.N., Menkina E.A., Akhmedshina D.A. Diagnosticheskie pokazateli obespechennosti pochvy jelementami pitanija dlja formirovanija vysokoj urozhajnosti ozimoj pshenicy [Diagnostic indicators of soil supply with nutrients for the formation of high yields of winter wheat]. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2022; (36-5): 5-10. (In Russ).

20. Minakova O.A., Alexandrova L.V., Podvignina T.N. Ocenka jeffektivnosti dlitel'nogo primenenija udobrenij v zernosveklovichnom sevooborote Central'no-Chernozjomnogo jekonomicheskogo rajona [Evaluation of the effectiveness of long-term fertilizer application in the grain and Beet-Growing crop rotation of the central black earth economic region]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2020; (3-35): 51-55. (In Russ).

Информация об авторах

О.А. Минакова – доктор сельскохозяйственных наук; AuthorID 383841.

Н.А. Куницын – AuthorID 1224914.

Information about the author

O.A. Minakova – Doctor of Agricultural Sciences; AuthorID 383841.

N.A. Kunitsin – AuthorID 1224914.

Статья поступила в редакцию 06.09.2023; одобрена после рецензирования 20.11.2023; принята к публикации 12.12.2023.

The article was submitted 06.09.2023; approved after reviewing 20.11.2023; accepted for publication 12.12.2023.