

Земледелие и мелиорация

УДК 631.452: 631.559: 631.8: 631.582: 633.63: 633.1

DOI: 10.31857/S2500262724010025, EDN: DCFAIN

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ И УРОЖАЙНОСТИ КУЛЬТУР
ПРИ КРАТКОСРОЧНОМ И ДЛИТЕЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УДОБРЕНИЙ
В ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОМ СЕВООБОРОТЕ ЦЧРО. А. Минакова, доктор сельскохозяйственных наук,
Л. В. Александрова, В. М. ВилковВсероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова,
396030, Воронежская обл., Рамонский р-н, пос. ВНИИСС, 86
E-mail: olalmin2@rambler.ru

Исследования проводили с целью определения изменений почвенного плодородия и урожайности основных культур зерносвекловичного севооборота при длительном воздействии удобрений (10 ротации) в условиях ЦЧР. Работа выполнена на черноземе выщелоченном малогумусном в Воронежской области. Проанализированы изменения с 1936–1945 гг. (1-я ротация) по 2018–2022 гг. (10-я ротация). Схема опыта предусматривала следующие варианты насыщенности 1 га пашни удобрениями: без удобрений, $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза, $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза, $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза. Изменение плодородия почвы в слое 0...20 см под влиянием удобрений от 1-й к 10-й ротации выразилось в повышении гидролитической кислотности на 5,3...83,3 %, содержания подвижного K_2O – на 18,9...74,4 %, емкости катионного обмена – на 27,8...35,7, подвижного P_2O_5 – на 7,8...9,0 % (при $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза и $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза); снижении гумусности на 0,41...0,73 %, $N-NO_3$ – на 25,3...47,7 %, P_2O_5 – на 13,3...31,6 % (в контроле и $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ или 5,6 т/га навоза). Длительное использование удобрений увеличивало урожайность зерна ячменя на 11,3...50,1 %, овса – на 4,0...51,2 %, озимой пшеницы – на 13,4...30,6 %, корнеплодов сахарной свеклы – на 15,0...36,7 %, уменьшало – сбор зеленой массы клевера на 4,9...27,7 % и повышало выход побочной продукции всех культур на 6,1...23,0 %. Продуктивность 1 га удобренной пашни от 1-й к 10-й ротации (за вычетом роста на 0,96 тыс. зерн. ед./га вследствие возделывания более продуктивных современных сортов) увеличилась на 3,3...18,3 %. Самый высокий уровень плодородия почвы и продуктивности севооборота обеспечивало длительное применение $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, которое достигалось двукратным внесением в течение ротации девятого полного севооборота $N_{135}P_{135}K_{135}$ под сахарную свеклу и однократным – 25 т/га навоза в паровом поле.

CHANGES OF SOIL FERTILITY AND YIELD OF CROPS WHEN APPLYING FERTILIZERS
IN A GRAIN-ARABLE CROP ROTATION OF THE CENTRAL BLACK-EARTH REGION FOR
A SHORT AND LONG TIME

O. A. Minakova, L. V. Alexandrova, V. M. Vilkov

Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar,
396030, Voronezhskaya obl., Ramonskii r-n, pos. VNISS, 86
E-mail: olalmin2@rambler.ru

Aim of the investigations was to reveal changers in soil fertility and yield of main crops in a grain-arable crop rotation with fertilizer effect in 1st rotation (short-term application) and 10th rotation (long-term application) under conditions of the Central Black-Earth Region. The work was performed in a long-term field experiment using low-humic leached chernozem under conditions of Voronezh region. The data of 1936–1945 (1st crop rotation) and 2018–2022 (10th rotation) years were analyzed. The experiment scheme including saturation of 1 ha of arable land with fertilizers: without fertilizers, $N_{10}P_{10}K_{10} + 2.8$ t/ha of manure, $N_{20}P_{20}K_{20} + 2.8$ t/ha of manure, $N_{30}P_{30}K_{30} + 2.8$ m t/ha of manure, and $N_{10}P_{10}K_{10} + 5.6$ t/ha of manure. Change of soil fertility in the layer of 0–20 cm from 1 to 10 rotation under influence of fertilizers appeared as increase of hydrolytic acidity (by 5.26... 83.3 %), exchange K_2O content (by 18.9...74.4 %), cation exchange capacity (by 27.8...35.7 %) and mobile P_2O_5 (by 7.81...9.00 %) (when using $N_{20}P_{20}K_{20} + 2.8$ t/ha of manure and $N_{30}P_{30}K_{30} + 2.8$ t/ha of manure); also, decrease of humus content by 0.41...0.73 %, $N-NO_3$ by 25.3...47.7 % and P_2O_5 by 13.3–31.6 % in the control and in the variants with $N_{10}P_{10}K_{10} + 2.8$ or 5.6 t/ha of manure was noted. Long-term application of fertilizers in a crop rotation improved grain yield of barley by 11.3...50.1 %, oats by 4.0...51.2 %, winter wheat by 13.4...30.6 % and sugar beet roots by 15.0...36.7 %, and reduced green mass of a clover 6.1...23.0 %. But, in addition, it increased by-products' yield of each crop by 6.1...23.0 %. Productivity of the fertilized arable land per 1 ha increased by 3.30...18.3 % from 1st to 10th rotation (minus yield improvement by 0.96 thousand grain units/ha due to cultivation of more productive modern varieties). Long-term application of $N_{30}P_{30}K_{30} + 2.8$ m t/ha of manure ensured the greatest level of crop rotation soil fertility and productivity. This was achieved by twice-repeated application of $N_{135}P_{135}K_{135}$ for sugar beet and one application of 25 t/ha of manure in fallow during 9-field crop rotation.

Ключевые слова: удобрения, севооборот, плодородие, урожайность, сахарная свёкла (*Beta vulgaris* L.), зерновые, продуктивность пашни.

Key words: fertilizers, crop rotation, fertility, yield, sugar beet (*Beta vulgaris* L.), grain-crops, productivity of arable land.

Устойчивое развитие растениеводства невозможно без рационального использования природных (почвенно-климатические ресурсы, биопотенциал растений и др.) и антропогенных (системы обработки почвы, удобрений и средств защиты растений) факторов [1]. Агротехнические приемы влияют на свойства

почвы, особенно на эффективное плодородие, и продуктивность сельскохозяйственных культур.

Плодородие почвы – специфическое свойство, характеризующее накопленные ресурсы веществ, энергии и информации, которые используют растения в биогеоценозе [2]. Среди показателей плодородия почвы

первостепенную роль отводят содержанию органического вещества, поскольку оно тесно связано с условиями питания и влагообеспеченности растений [3, 4]. Многолетние исследования, проведенные во многих природно-климатических зонах страны, выявили, что органические и органоминеральные системы удобрения оказывают положительное воздействие на содержание и запасы гумуса, накопление и сохранение в его составе устойчивых к внешнему воздействию групп и фракций, в то время как минеральные системы удобрения способствуют увеличению содержания активных, мобильных соединений, обладающих высокой оборачиваемостью [5, 6]. Минеральные системы, как и отсутствие удобрений, могут снижать содержание гумуса в почве [6].

При использовании высоких доз физиологически кислых минеральных удобрений происходит подкисление почвы [3], но отмечается оптимизация фосфатного и калийного режимов [4, 7, 8]. При этом применение научно-обоснованных доз минеральных удобрений в сочетании с органическими не вызывает существенного изменения кислотности почвенного раствора, суммы поглощенных катионов, емкости катионного обмена, степени насыщенности почвы основаниями [9], одновременно происходит повышение содержания NPK.

В длительных агрохимических опытах проводится изучение эффективности нескольких систем удобрения с разной насыщенностью и соотношением NPK. Основной задачей таких исследований выступает выбор системы с наибольшей продуктивностью, которая одновременно способствует сохранению почвенного плодородия [10]. Так, на черноземах Предкавказья наибольшие прибавки урожая сахарной свеклы получены от полного удобрения в дозе $N_{80}P_{80}K_{80}$ [8], в ЦЧР – $N_{90...135}P_{90...135}K_{90...135}$; использование 20...50 т/га навоза 1...2 раза за ротацию зерносвекловичного севооборота способствует дополнительному росту урожайности культуры [11, 12].

Продуктивность 1 га пашни – интегральный показатель эффективности действия агроприемов, в том числе систем удобрения. Органоминеральные системы удобрения значительно увеличивают продуктивность пашни [13]. Рациональное и безопасное применение минеральных удобрений позволяет приостановить истощение почв, повысить их плодородие и на основании этого увеличить продуктивность культур до уровня полной самообеспеченности страны продовольствием, а также отказаться от импорта [14].

Цель исследований – определение влияния длительного применения удобрений на изменение основных показателей почвенного плодородия, урожайности культур и продуктивности 1 га пашни зерносвекловичного севооборота в ЦЧР.

Методика. Работу выполняли в стационарном полевом опыте по изучению эффективности удобрений (год закладки – 1936) (пос. Рамонь, Воронежская обл.). Для оценки изменений почвенного плодородия и урожайности культур использовали данные, полученные в 1-й (1936–1945 гг.) и в 10-й (2018–2022 гг.) ротациях 9-польного зернопаропропашного зерносвекловичного севооборота: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень с подсевом клевера – клевер одного года использования – озимая пшеница – сахарная свекла – однолетние травы (горох + овес) – овес. Почвенные образцы отбирали в поле под сахарной свёклой в паровом звене.

Объекты исследований – почва стационарного опыта (чернозем выщелоченный малогумусный среднесплодный тяжелосуглинистый), основная и побочная продукция сахарной свеклы, озимой пшеницы, овса и ячменя, зеленая масса клевера.

Варианты стационарного опыта сильно различались по насыщенности удобрениями 1 га пашни, схема опыта была следующей: без удобрений (контроль), $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза (система I), $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза (система II), $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза (система III), $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза (система IV).

В качестве минеральных удобрений в 10-й ротации использовали нитроаммофоску (16:16:16), в 1-й ротации – смесь простых удобрений (аммиачная селитра, простой суперфосфат, хлористый калий), которые вносили 2 раза за ротацию только под сахарную свеклу осенью перед основной обработкой почвы (отвальной вспашкой на 30...32 см), навоз – один раз за ротацию в паровое поле. Прямое действие навоза испытывала озимая пшеница в паровом звене, остальные культуры севооборота – его последствие.

Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов – систематическое с частичной рандомизацией. Площадь опытной деланки составляла 133,7 м². В 10 ротации возделывали районированные гибриды сахарной свеклы отечественной селекции (РМС 120, РМС 121, РМС 127), сорта зерновых культур отечественной и белорусской селекции (озимой пшеницы – Безенчукская 380, Скипетр, ячменя – Атаман, Таловский 9, овса – Лев, Золотой дождь, клевера – Трубетчинский местный и Дымковский).

Показатели плодородия почвы определяли в образцах, отобранных в слое 0...20 см в третьей декаде мая под сахарной свеклой согласно ГОСТ Р58595–2019. Агрохимические анализы проводили в ГЦАС «Воронежский» и лаборатории сортовых технологий возделывания сахарной свеклы ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова. В свежих образцах определяли содержание нитратного азота по Грандваль-Ляжу, в сухих образцах – подвижного P_2O_5 и K_2O по Чирикову (ГОСТ 26213-91), емкость катионного обмена (ЕКО) – по Бобко-Аскинази в модификации ЦИНАО, pH_{KCl} – по ГОСТ 26490-85. Градации обеспеченности посевов (мг/кг) нитратным азотом в слое 0...20 см по Гамзикову Г. П. [15]: менее 10 – очень низкая, 10...15 – низкая, 15...20 – средняя, более 20 – высокая; подвижным P_2O_5 (по Чирикову): 51...100 – средняя, 101...150 – повышенная, 151...200 – высокая; K_2O (по Чирикову): 41...80 – средняя, 81...120 – повышенная, 121...180 – высокая [16].

Учет урожайности основной и побочной продукции культур осуществляли методом пробных площадок (зерновые и клевер – 16,2 м², сахарная свекла – 10,8 м²) с пересчетом на 1 га, продуктивность 1 га пашни – расчетным методом. Статистическую обработку данных проводили по Б. А. Доспехову (1985).

Результаты и обсуждение. Содержание гумуса в почве целинного участка, расположенного вблизи стационарного полевого опыта, составляло 6,10 %. Снижение величины этого показателя, относительно целины, в 1-й ротации составило 0,16...0,77 % (табл. 1), сильнее всего – в контроле и варианте с внесением $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза, что свидетельствует о значительной дегумификации. В вариантах с применением $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза и $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза она оставалась на уровне целины. При использовании удобрений содержание гумуса было выше, чем в контрольном варианте, на 0,48...0,67 %. Почва целинного участка относилась к среднегумусной, опытного – к малогумусной.

В 1-й ротации уровень $N-NO_3$, P_2O_5 и K_2O в почве был значительно ниже, чем в 10-й ротации. Так, содержание $N-NO_3$ в большинстве вариантов классифицировалось как среднее, при внесении $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза – высокое, в контроле – низкое; P_2O_5 и K_2O – повышенное (кроме контроля, где оно было средним); в вариантах

Табл. 1. Физико-химические свойства выщелоченного чернозема в слое 0...20 см при краткосрочном использовании удобрений (1-я ротация)

Вариант	N-NO ₃ , P ₂ O ₅ , K ₂ O			Нг	ЕКО	Гумус, %
	мг/100 Г					
Без удобрений	1,50	8,88	11,3	2,8	41,7	5,33
N ₁₀ P ₁₀ K ₁₀ + 2,8 т/га навоза	1,60	11,8	12,0	3,8	40,3	5,81
N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ + 2,8 т/га навоза	1,91	11,1	14,8	3,4	39,2	5,94
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + 2,8 т/га навоза	2,16	12,8	13,9	3,3	39,4	6,00
N ₁₀ P ₁₀ K ₁₀ + 5,6 т/га навоза	1,75	12,0	11,7	2,4	43,2	6,00
HCP ₀₅	0,09	0,5	0,6	0,2	F _{факт.} < F _{теор.}	0,29

N₂₀P₂₀K₂₀ + 2,8 т/га навоза и N₃₀P₃₀K₃₀ + 2,8 т/га навоза – высокое. Краткосрочное использование удобрений (в течение 1-й ротации) способствовало повышению содержания N-NO₃, относительно контроля, на 0,10...0,66 мг/100 г (на 6,67...44,0 %), P₂O₅ – на 2,9...3,9 мг/100 г (на 25,0...44,1 %), K₂O – на 0,7...2,6 мг/100 г (на 6,2...31,0 %). Наиболее высокое содержание N-NO₃ и P₂O₅ отмечено в варианте N₃₀P₃₀K₃₀ + 2,8 т/га навоза, а K₂O – N₂₀P₂₀K₂₀ + 2,8 т/га навоза.

Краткосрочное применение удобрений повышало гидролитическую кислотность почвы, относительно контроля, на 0,5...1,0 ммоль(экв)/100 г, кроме варианта с применением N₁₀P₁₀K₁₀ + 5,6 т/га навоза, где отмечали снижение величины этого показателя на 0,4 ммоль(экв)/100 г.

В 10-й ротации содержание гумуса в слое почвы 0...20 см в удобренных вариантах составляло 5,11...5,54 % (табл. 2), что позволило отнести ее к малогумусным черноземам (до 6,0 %). Относительно контроля, гумусность возрастала на 0,16...0,52 %, наибольшее повышение отмечали в варианте с применением N₁₀P₁₀K₁₀ + 5,6 т/га навоза, наименьшее – N₁₀P₁₀K₁₀ + 2,8 т/га навоза. От 1-й к 10-й ротации снижение гумусности составило 0,41...0,73 %, максимальным в опыте оно было при внесении N₁₀P₁₀K₁₀ + 2,8 т/га навоза и N₂₀P₂₀K₂₀ + 2,8 т/га навоза – 0,70 и 0,73 % соответственно, наименьшим – в варианте N₁₀P₁₀K₁₀ + 5,6 т/га навоза и контроле (0,41 и 0,46 % соответственно). Минимальное в опыте снижение в контроле связано с максимальной дегумификацией еще в 1-й ротации. По данным ряда исследователей в первые годы сельскохозяйственного использования почвы она составляет 1/4...1/5 от исходного содержания [9, 17], именно в этот период с наибольшей скоростью идет минерализация гумуса. В варианте N₁₀P₁₀K₁₀ + 5,6 т/га навоза наименьшее снижение гумусности с 1-й по 10-ю ротацию объясняется дополнительным поступлением полуразложившегося органического вещества с повышенной (50 т/га в черном пару) дозой навоза.

Табл. 2. Физико-химические свойства выщелоченного чернозема в слое 0...20 см при длительном использовании удобрений (10-я ротация)

Вариант	N-NO ₃			P ₂ O ₅	K ₂ O	Нг	ЕКО	Гумус,
	мг/100 Г					ммоль(экв)/100 Г		%
Без удобрений	1,12	6,07	16,1	3,46	26,8	4,92		
N ₁₀ P ₁₀ K ₁₀ + 2,8 т/га навоза	0,86	8,95	19,5	4,00	28,2	5,11		
N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ + 2,8 т/га навоза	1,26	12,1	19,8	4,24	28,3	5,21		
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + 2,8 т/га навоза	1,13	13,8	19,2	4,36	28,3	5,43		
N ₁₀ P ₁₀ K ₁₀ + 5,6 т/га навоза	1,14	10,4	20,4	4,40	30,4	5,54		
HCP ₀₅	F _{факт} < F _{теор}	0,4	0,8	0,20	1,3	0,25		

В 10-й ротации, относительно варианта без удобрений, отмечено повышение содержания подвижного P₂O₅ на 47,4...127,0 %, K₂O – на 21,1...26,7 %, гидролитической кислотности – на 15,6...27,2 %, ЕКО – на 5,2...13,4 %. Достоверного изменения содержания N-NO₃ не наблюдали, возможно, вследствие высокой подвижности этой формы азота. Наибольшее в опыте содержание P₂O₅ отмечено в варианте N₃₀P₃₀K₃₀ + 2,8 т/га навоза, N-NO₃ – N₁₀P₁₀K₁₀ + 2,8 т/га навоза, K₂O, ЕКО и содержание гумуса – N₁₀P₁₀K₁₀ + 5,6 т/га навоза.

В 10-й ротации почва опыта по содержанию N-NO₃ в большинстве вариантов, кроме N₁₀P₁₀K₁₀ + 2,8 т/га навоза, относилась к средне обеспеченной, P₂O₅ – к повышено обеспеченной, K₂O – к очень высоко обеспеченной. В контроле обеспеченность P₂O₅ и K₂O была ниже (средняя и высокая соответственно).

Концентрация N-NO₃ сильнее всего снижалась, по отношению к первой ротации севооборота, на 25,3...47,7 % при внесении N₁₀P₁₀K₁₀ + 2,8 т/га навоза и N₃₀P₃₀K₃₀ + 2,8 т/га навоза, что, отчасти, связано с более значительной дегумификацией почвы в этих вариантах, наименьшее снижение отмечали в контроле и в варианте с N₁₀P₁₀K₁₀ + 5,6 т/га навоза.

В контроле содержание подвижного P₂O₅ от 1-й к 10-й ротации снижалось на 31,6 %, в варианте с N₁₀P₁₀K₁₀ + 2,8 т/га навоза – на 24,2 %, N₁₀P₁₀K₁₀ + 5,6 т/га навоза – на 13,3 % соответственно. При внесении N₂₀P₂₀K₂₀ + 2,8 т/га навоза и N₃₀P₃₀K₃₀ + 2,8 т/га навоза отмечали рост величины этого показателя за указанный период на 9,0 и 7,8 % соответственно.

Содержание подвижного K₂O от 1-й к 10-й ротации в почве большинства вариантов повышалось на 2,8...8,7 мг/100 г (на 18,9...74,4 %). Минимальное в опыте увеличение отмечено в варианте N₃₀P₃₀K₃₀ + 2,8 т/га навоза, что связано со значительным насыщением этим элементом почвы в 1-й ротации, максимальное – при использовании N₁₀P₁₀K₁₀ + 5,6 т/га навоза, что объясняется накопительным эффектом повышенных доз навоза, который характеризуется высоким содержанием K₂O.

Гидролитическая кислотность почвы с течением времени повысилась на 0,20...2,0 ммоль(экв)/100 г, или на 5,3...83,3 %. Максимальное в опыте увеличение отмечено при внесении N₁₀P₁₀K₁₀ + 5,6 т/га навоза, что связано с относительной стабильностью почвенного поглощающего комплекса (ППК) в этом варианте при краткосрочном применении удобрений, но значительном насыщении ионами кислотной природы при длительном использовании. Минимальное изменение величины этого показателя зафиксировано в варианте N₁₀P₁₀K₁₀ + 2,8 т/га навоза, что объясняется быстрым насыщением ППК ионом H⁺ в начале проведения опыта и относительной стабильностью в последующие годы [18, 19]. От 1-й к 10-й ротации выявлено уменьшение емкости катионного обмена на 10,9...14,9 ммоль(экв)/100 г (на 27,8...35,7 %). Максимальное в опыте снижение отмечено в контроле, минимальное – в варианте с N₂₀P₂₀K₂₀ + 2,8 т/га навоза. Возделывание сахарной свеклы снижало емкость катионного обмена, но использование систем удобрения с навозом несколько уменьшало темпы потери катионов.

В течение более чем 80 лет использования удобрений обеспеченность почвы подвижным P₂O₅ и N-NO₃ не переходила в более высокую градацию, одновременно обеспеченность K₂O изменялась с повышенной и высокой до очень высокой. Такая ситуация обусловлена тем, что еще при краткосрочном применении удобрений достигалась достаточно высокая обеспеченность P₂O₅ и N-NO₃, которая впоследствии поддерживалась

Табл. 3. Урожайность основной продукции культур севооборота и продуктивность 1 га пашни в зависимости от краткосрочного использования удобрений (1-я ротация)

Вариант	Урожайность, т/га					Продуктивность 1 га пашни, тыс. зерн. ед./га
	сахарная свекла	ячмень	озимая пшеница	овес	клевер (зеленая масса)	
Без удобрений	23,9	1,59	2,44	1,80	34,7	3,21
$N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза	26,0	1,64	2,82	1,93	35,3	3,64
$N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	26,6	1,86	2,84	2,01	36,0	3,75
$N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза	26,8	1,84	2,88	2,07	32,7	3,82
$N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза	24,9	1,71	2,86	1,65	36,7	3,75
HCP ₀₅	1,2	0,08	0,13	0,09	F факт. < F теор	0,18

в течение длительного периода, а для накопления K_2O потребовалось более значительное время.

В 1-й ротации севооборота урожайность корнеплодов сахарной свеклы в удобренных вариантах незначительно отличалась от величины этого показателя в контроле, прибавки составили 1,0...2,9 т/га, или 4,2...12,1 % (табл. 3). Наибольшая в опыте продуктивность культуры отмечена в варианте $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, наименьшая – в контрольном варианте. Последствие удобрений проявилось в повышении урожайности зерна ячменя, относительно контроля, на 0,05...0,27 т/га (на 4,5...15,7 %), озимой пшеницы – на 0,38...0,44 т/га (на 15,6...18,0 %), овса – на 0,13...0,27 т/га (в варианте с $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза изменений не наблюдали). На клевере его не наблюдали, кроме небольшого увеличения на уровне тенденции на 0,6...2,0 т/га в вариантах с $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза и $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза.

Влияние удобрённости в 10-й ротации проявилось в повышении урожайности зерна озимой пшеницы (табл. 4), в сравнении с вариантом без удобрений, на 0,17...0,44 т/га (5,9...15,2 %), ячменя – на 0,25...1,25 т/га (12,0...60,1 %), овса – на 0,23...0,74 т/га (на 11,0...35,2 %), зеленой массы клевера – на 2,8...6,0 т/га (11,2...23,9 %), корнеплодов сахарной свеклы – на 6,8...11,0 т/га (на 20,9...33,7 %). Применение $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза обеспечивало наибольшую урожайность большинства культур.

Продуктивность 1 га пашни в удобренных вариантах была выше, чем в контроле на 0,68...1,49 тыс. зерн. ед./га (+16,3...35,7 %), а наибольшая – в варианте $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза.

С 1-й по 10-ю ротации урожайность всех культур в севообороте (кроме зеленой массы клевера) в контрольном

Табл. 4. Урожайность основной продукции культур севооборота и продуктивность 1 га пашни в зависимости от длительного использования удобрений (10-я ротация)

Вариант	Урожайность, т/га					Продуктивность 1 га пашни, тыс. зерн. ед./га
	сахарная свекла	ячмень	озимая пшеница	овес	клевер (зеленая масса)	
Без удобрений	32,6	2,08	2,89	2,10	25,1	4,17
$N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза	39,4	2,33	3,37	2,33	27,9	4,85
$N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	43,9	3,06	3,81	2,70	30,1	5,44
$N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза	43,6	3,33	4,29	2,84	31,1	5,66
$N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза	43,1	2,75	3,77	2,77	29,6	5,43
HCP ₀₅	2,0	0,15	0,17	0,12	1,5	0,24

варианте (в связи с переходом на возделывание более продуктивных современных сортов) и при использовании удобрений (благодаря повышению почвенного плодородия) возрастала. Без учета повышения урожайности в контроле в 10-й ротации в вариантах с удобрениями было собрано на 4,9...9,5 т/га (на 15,0...36,7 %) больше корнеплодов сахарной свеклы, чем в 1-й ротации, зерна ячменя – на 0,20...1,00 т/га (на 11,3...50,1 %), озимой пшеницы – на 0,46...0,96 т/га (на 13,4...30,6 %), овса – на 0,39...0,82 т/га (на 4,0...51,2 %). Самую высокую продуктивность отмечали в вариантах с $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза (ячмень и озимая пшеница) и $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза (сахарная свекла и овес). При этом урожайность клевера снижалась как в контроле (на 7,5 т/га), так и в вариантах с удобрениями (на 11,5...13,8 т/га), что, возможно, связано с повышением количества плесневых грибов – *Penicillium*, *Aspergillus* и фитопатогена *Fusarium* в почве [20]; удобрения уменьшали интенсивность этого процесса.

С 1-й по 10-ю ротацию продуктивность 1 га пашни (без учета повышения в контроле на 0,96 тыс. зерн. ед./га вследствие возделывания высокопродуктивных сортов) возросла на 0,25...0,73 тыс. зерн. ед./га (на 3,3...18,3 %), наибольшее ее увеличение отмечали в вариантах $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза и $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза.

При краткосрочном применении удобрений сбор побочной продукции сахарной свеклы увеличивался (табл. 5), относительно контроля, на 4,2...6,7 т/га (на 21,0...33,1 %), озимой пшеницы – на 0,82...1,15 т/га (на 19,5...27,4 %), овса – на 0,41...0,66 т/га (15,5...25,0 %), ячменя – на 0,57...1,03 т/га (21,2...38,3 %). Наибольшее повышение величины этого показателя у сахарной свеклы и озимой пшеницы отмечали в варианте $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза, овса и ячменя – $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза.

Табл. 5. Урожайность побочной продукции (листья и солома) культур севооборота при краткосрочном использовании удобрений (1 ротация), т/га

Вариант	Сахарная свекла	Озимая пшеница	Ячмень	Овес
Без удобрений	20,0	4,20	2,69	2,64
$N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза	24,2	5,02	3,26	3,05
$N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	25,3	5,20	3,45	3,24
$N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза	25,6	5,09	3,72	3,30
$N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза	26,7	5,35	3,65	3,12
HCP ₀₅	1,1	0,22	0,16	0,14

Длительное применение удобрений способствовало повышению урожайности побочной продукции (табл. 6) сахарной свеклы на 4,8...6,3 т/га (на 46,2...60,6 %), соломы озимой пшеницы – на 0,19...1,66 т/га (8,9...65,7 %), ячменя – на 0,38...1,40 т/га (на 17,7...65,1 %), овса – на 0,15...0,85 т/га (на 9,7...55,2 %). Наибольший ее сбор с 1 га отмечали в варианте $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза, а соломы ячменя еще и с $N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза, наименьший – при внесении $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза.

Сбор листьев и соломы при краткосрочном и длительном использовании удобрений значительно снижался, по сравнению с 1-й ротацией, что, в основном, связано с переходом на возделывание современных сортов и гибридов с большей долей основной продукции в урожае. Установлено, что в 10-й ротации, в сравнении с первой, сбор листьев сахарной свеклы с 1 га уменьшился на 8,9...10,8 т/га, соломы озимой пшеницы – на 1,56...2,99 т/га, ячменя – на 0,22...0,97 т/га, соломы овса – на 0,91...1,55 т/га. При этом в контроле снижение было чаще всего более значительным, чем в вариантах с применением удобрений, то есть их действие со време-

Табл. 6. Урожайность побочной продукции (листья и солома) культур в севообороте при длительном использовании удобрений (10-я ротация), т/га

Вариант	Сахарная свекла	Озимая пшеница	Ячмень	Овес
Без удобрений	10,4	2,13	2,15	1,54
$N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза	15,2	2,03	2,53	1,89
$N_{20}P_{20}K_{20} + 2,8$ т/га навоза	16,2	2,32	3,55	1,69
$N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза	16,7	3,53	3,50	2,39
$N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза	15,9	2,51	2,68	2,01
HCP_{05}	0,8	0,14	0,13	0,10

нем проявлялось в повышении доли основной продукции (корнеплодов, зерна), относительно побочной (листьев, соломы). Наибольшее снижение выхода побочной продукции отмечено на ячмене (на 14,2...23,0 %), несколько меньше – на сахарной свекле и овсе (на 7,6...13,2 % и 6,1...14,1 % соответственно). На озимой пшенице в большинстве вариантов происходило сокращение величины этого показателя, по отношению к контролю, на 3,8...10,3 %, кроме варианта $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, в котором установлено ее повышение на 18,7 %.

Выводы. Применение удобрений в течение более чем 80 лет привело к значительному изменению показателей эффективного плодородия, которое сильнее всего выразилось в повышении гидролитической кислотности, содержания подвижного K_2O , несколько меньше – ЕКО, одновременно отмечено снижение гумусности. Содержание подвижного P_2O_5 имело разнонаправленную динамику, несколько увеличиваясь 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 и снижаясь при внесении $N_{10}P_{10}K_{10} + 2,8$ т/га навоза и $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза и в контроле.

Краткосрочное использование $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза обеспечивало высокое содержание подвижных форм NPK в почве, внесение $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза – повышенное содержание гумуса, обе системы способствовали созданию лучших в опыте кислотностно-основных свойств. К 10-й ротации в этих же вариантах отмечали наилучшие показатели почвенного плодородия: $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза – обеспеченность P_2O_5 , а $N_{10}P_{10}K_{10} + 5,6$ т/га навоза – высокое содержание K_2O , гумуса и ЕКО.

Применение удобрений в течении длительного срока в наибольшей степени способствовало повышению урожайности основной продукции ячменя и овса, в несколько меньшей – сахарной свеклы и озимой пшеницы. Одновременно наблюдали небольшое повышение доли побочной продукции (соломы, листьев), сильнее всего у ячменя, менее всего – у сахарной свеклы.

Результатом длительного внесения удобрений и сопряженного с ним роста почвенного плодородия стало увеличение продуктивности 1 га пашни 9-польного зерносвекловичного севооборота на 0,25...0,73 тыс. зерн. ед./га.

Длительное применение системы удобрения с насыщенностью 1 га пашни $N_{30}P_{30}K_{30} + 2,8$ т/га навоза, обеспечиваемое двукратным внесением за ротацию по $N_{135}P_{135}K_{135}$ под сахарную свеклу в сочетании с однократным – 25 т/га навоза в пару, способствует формированию близких к оптимальным показателей плодородия выщелоченного чернозема, высокой урожайности культур и продуктивности 1 га пашни зерносвекловичного севооборота. Такая схема может быть рекомендована к широкому использованию в ЦЧР.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова».

Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство этим исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Концепция развития агрохимии и агрохимического обслуживания сельского хозяйства Российской Федерации на период до 2010 г. / Г. А. Романенко, А. Л. Иванов, В. А. Ключаки и др. М.: ВНИИА, 2005. 80 с.
2. Плодородие почв, основные понятия / А. С. Фрид, И. Е. Королева, Д. С. Булгаков и др. // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2013. Т. 2. С. 5–8.
3. Волынкин В. И., Волынкина О. В., Копылов А. Н. Изменение почвенного плодородия при длительном применении удобрений в Курганской области // Агрохимия. 2019. № 8. С. 3–13.
4. Последствие длительного использования систем удобрения на показатели плодородия почвы / Т. Ю. Бортник, К. С. Клековкин, А. Ю. Карпова и др. // Плодородие. 2022. № 3 (126). С. 42–45.
5. Влияние длительного применения удобрений на состав, свойства и структурные характеристики гумусовых кислот основных типов почв. Сообщение 1 / Л. К. Шевцова, В. А. Черников, В. Г. Сычев, и др. // Агрохимия. 2019. № 10. С. 3–15.
6. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов Географической сети России / В. Г. Сычев, А. Н. Налиухин, Л. К. Шевцова и др. // Почвоведение. 2020. № 12. С. 1521–1536.
7. Тютюнов С. И., Карабутов А. П., Соловichenko В. Д. Динамика подвижного калия в черноземе типичном в связи с различным уровнем интенсивности использования пашни // Земледелие. 2017. № 8. С. 7–10.
8. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А. Х. Шеуджен, Л. М. Онищенко, Т. Н. Бондарева и др. // Агрохимия. 2017. № 5. С. 3–11.
9. Дмитриев Н. Н., Гамзиков Г. П. Систематическое применение удобрений как фактор стабилизации плодородия серых лесных почв и продуктивности зерновых культур в зернопаровом севообороте // Агрохимия. 2015. № 2. С. 3–12.
10. Сычев В. Г., Беличенко М. В., Романенков В. А. Этапы развития, результаты исследований и актуальные проблемы длительных агрохимических полевых опытов Географической сети опытов с удобрениями // Агрохимия. 2018. № 1. С. 3–16.
11. Тютюнов С. И., Цыгуткин А. С., Логвинов И. В. Урожай сахарной свёклы в зависимости от севооборота, способа основной обработки почвы, доз минеральных и органических удобрений // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 1. С. 3–7.
12. Минакова О. А., Косякин П. А., Александрова Л. В. Удобрение сахарной свеклы в Центрально-Черноземном районе РФ // Агрохимия. 2022. № 1. С. 10–20.

13. Воронин А. Н., Соловиченко В. Д. Влияние различных систем земледелия на продуктивность черноземов юго-западной части Центрально-Черноземной зоны // *Плодородие*. 2019. № 5 (110). С. 31–33.
14. Кудеяров В. Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // *Почвоведение*. 2019. № 1. С. 109–121.
15. Гамзиков Г. П. Почвенная диагностика азотного питания растений и применения азотных удобрений в севооборотах // *Плодородие*. 2018. № 1 (100). С. 8–14.
16. Пискунов А. С. Методы агрохимических исследований. М., КолосС, 2004. 312 с.
17. Королев В. А., Громовик А. И. Влияние продолжительности сельскохозяйственного использования на содержание и запасы гумуса в почвах Каменной Степи // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2017. № 1. С. 71–74.
18. Котченко С. Г., Ерёмкина Д. В. Агрогенные изменения химических свойств темно-серых лесных почв северного Зауралья // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020. № 10 (192). С. 42–50.
19. Минакова О. А., Александрова Л. В., Подвижна Т. Н. Изменение физико-химических свойств чернозема выщелоченного и урожайности сахарной свеклы при длительном применении удобрений в ЦЧР // *Агрохимия*. 2021. № 2. С. 37–46.
20. Мухамадиев Р. Х., Ибатуллина Р. П. Решение проблемы почвоутомления на примере ООО «Агрокомплекс «АК БАРС» // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2017. № 4 (46). С. 26–31.

Поступила в редакцию 24.09.2023

После доработки 28.11.2023

Принята к публикации 26.12.2023