

УДК 631.559:631.582:631.8:633.412(470.32)

УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОГО СЕВООБОРОТА КАК РЕЗУЛЬТАТ 85-ЛЕТНЕГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

© 2024 г. О. А. Минакова^{1,*}, Л. В. Александрова¹, Т. Н. Подвигина¹, В. М. Вилков¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова
396030 Воронежская обл., Рамонский р-н, пос. ВНИИСС, 86, Россия

*E-mail: olalmin@mail.ru

Удобрения, внесенные в течение 85 лет в зерносвекловичном севообороте, обеспечивали наиболее значительное (на 12.0–71.0% к контролю) увеличение урожайности ячменя и однолетних трав, использующих только последствие удобрений, при прямом действии – сахарной свеклы в паровом звене (на 20.9–39.9%). Отмечено существенное увеличение продуктивности 1 га пашни (на 16.3–35.7% относительно варианта без удобрений). Доказано, что увеличение насыщенности удобрениями 1 га севооборотной площади на 1 кг NPK в наибольшей степени повышало урожайность сахарной свеклы, в наименьшей – овса и озимой пшеницы в клеверном звене. Наибольшую производительность 1 га пашни обеспечивала система, включающая двукратное внесение в севообороте N135P135K135 под сахарную свеклу в сочетании с навозом 25 т/га в пару (насыщенность удобрениями – N30P30K30 + навоз 2.8 т/га).

Ключевые слова: севооборот, зерновые культуры, сахарная свекла, удобрения, продуктивность, окупаемость.

DOI: 10.31857/S0002188124010032

ВВЕДЕНИЕ

В современной земледелии удобрения – важнейшее средство активного целенаправленного регулирования питания растений, круговорота и баланса биогенных веществ, последовательного повышения плодородия и «здоровья» почв, а на этой основе – увеличения продуктивности агроценозов и поддержания экологического равновесия в природе [1, 2].

Изучение эффективности удобрений на разных культурах проводят в стационарных опытах Гео-сети. Повышение и эффективное использование достигнутого потенциала почвенного плодородия при длительном их внесении доказано в многочисленных исследованиях [1, 3–5].

Результирующим показателем эффективности любого агротехнологического приема и в целом сельскохозяйственного производства служит урожайность культуры [6], высокие показатели которой свидетельствуют о максимальной реализации его генетического потенциала [7]. В Центрально-Черноземной зоне, несмотря на сравнительно высокий уровень естественного плодородия почвенного покрова, органические и минеральные удобрения обеспечивают существенную прибавку урожаев основных сельскохозяйственных

культур, снижение затрат на применение удобрений и повышение их окупаемости урожаем и рост устойчивости агропроизводства [5, 8].

Длительное систематическое применение удобрений, способствуя повышению плодородия, обеспечивает рост продуктивности зернотравяно-пропашного севооборота [3, 4, 9], урожайности как пропашных, так и зерновых культур [10–13]. Например, в исследовании [13] продуктивность 1 га удобренной пашни возрастала до 68.4–82% относительно не удобренной. По результатам многих исследований отмечено значительное влияние последствия удобрений на урожайность зерновых культур, возделываемых в одном севообороте с пропашными [13–15].

Расчет таких показателей как оплата 1 кг д.в. удобрений, сравнительная эффективность систем удобрения в прямом действии и последствии, продуктивность севооборота являются наиболее распространенными способами оценки продуктивности культур и абсолютной эффективности удобрений [5]. Также применение удобрений обеспечивает улучшение химического состава зерна, показателя стекловидности и содержания сырой клейковины, повышение содержания протеина, золы, что свидетельствует об улучшении его качества [12, 14].

Цель работы – оценка показателей урожайности культур зернопаропропашного севооборота и продуктивности пашни при систематическом применении удобрений в условиях ЦЧР.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2018–2022 гг. в стационарном опыте по внесению удобрений (закладка – в 1936 г.) (пос. Рамонь, Воронежская обл.). Объектом исследования являлась почва стационарного опыта – чернозем выщелоченный малогумусный среднесиловый тяжелосуглинистый, а также основная и побочная продукция сахарной свеклы (листья и корнеплоды), озимой пшеницы, овса и ячменя (зерно и солома), зеленая масса травосмеси горох + овес и клевера. Удобрения применяли в 9-польном зернопаропропашном севообороте со следующим чередованием культур: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень с подсевом клевера – клевер одного года использования – озимая пшеница – сахарная свекла – однолетние травы (травосмесь горох+овес)–овес. Схема опыта (насыщенность удобрениями 1 га пашни): 1 – контроль – N0P0K0 (без удобрений), 2 – N10P10K10 + навоз 2.8 т/га, 3 – N20P20K20 + навоз 2.8 т/га, 4 – N30P30K30 + навоз 2.8 т/га, 5 – N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га, 6 – N42.2P42.2K42.2. В качестве минеральных удобрений использовали нитроаммофоску с содержанием NPK = 16 : 16 : 16, которую вносили только под сахарную свеклу осенью перед основной обработкой почвы (отвальной вспашкой), навоз – один раз за ротацию в пару, прямое действие навоза испытывала озимая пшеница в паровом звене. Остальные культуры испытывали последствие удобрений, ячмень и травосмесь горох + овес – первый год

последствия, клевер и овес – второй год, прибавки урожайности озимой пшеницы в звене с клевером обеспечивались только общим повышением плодородия почвы севооборота.

Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов – систематическое. Площадь опытной делянки и учетной составляла соответственно 133.7 м² и 16.2 м² (зерновые и травы), 10.8 м² – сахарная свекла. 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, горох в травосмеси сортов АЗМК 99, Риф 12, Топаз.

Количество осадков за теплый период 2018–2022 гг. в Рамонском р-не Воронежской обл. составило в среднем 270.7 мм, по годам в значительной степени различалось, разница составила до 144%. Самое большое увлажнение отмечали в 2022 г. (456.8 мм), минимальное – в 2020 г. (182.3 мм) (рис. 1).

В течение 4-х лет из 5-ти количество осадков не достигало средней многолетней нормы (382.1 мм), это позволило отнести эти годы к засушливым, что подтверждал и гидротермический коэффициент Селянинова, равный 0.6–1.0 при норме 1.27. Засушливые условия теплых периодов отрицательно повлияли на развитие и итоговую урожайность сельскохозяйственных культур, возделываемых в опыте.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что урожайность корнеплодов сахарной свеклы в паровом звене в вариантах

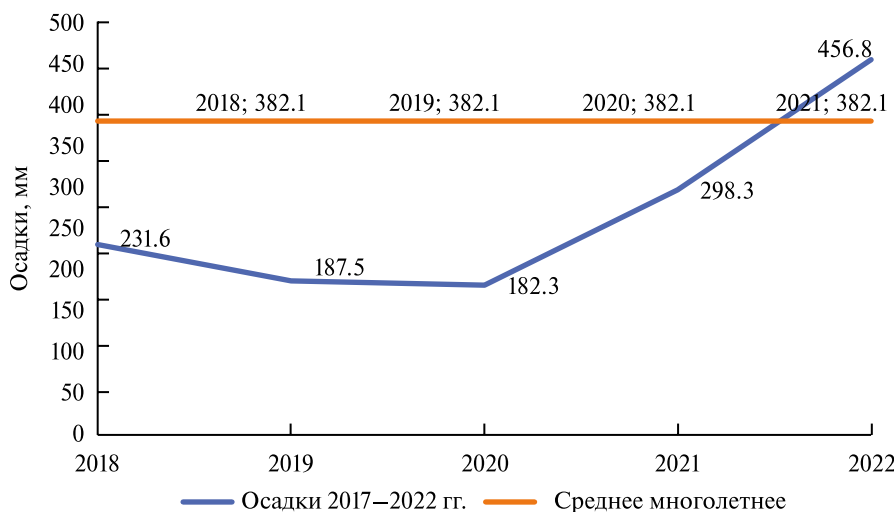


Рис. 1. Уровень увлажнения в 2018–2022 гг., мм.

Таблица 1. Урожайность основной продукции культур зерносвекловичного севооборота в 10-й ротации (2018–2022 гг.), т/га

Сахарная свекла (пар)	Сахарная свекла (клевер)	Озимая пшеница (пар)	Озимая пшеница (клевер)	Ячмень	Овес	Клевер	Травосмесь овес + горох
корнеплоды		зерно				зеленая масса	
Без удобрений							
32.6	34.6	2.89	2.71	2.08	2.10	25.1	14.5
N10P10K10 + навоз 2.8 т/га							
39.4	40.6	3.37	2.96	2.33	2.33	27.9	17.4
N20P20K20 + навоз 2.8 т/га							
43.9	43.2	3.81	3.36	3.06	2.70	30.1	21.8
N30P30K30 + навоз 2.8 т/га							
45.6	42.2	4.29	3.48	3.33	2.84	31.1	24.8
N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га							
43.1	44.4	3.77	3.56	2.75	2.77	29.6	21.8
N42.2P42.2K42.2							
44.3	42.5	4.51	3.24	3.17	2.98	26.1	19.6
<i>HCP</i> ₀₅							
2.0	1.9	0.17	0.15	0.15	0.12	1.5	1.1

с удобрениями была больше, чем в контроле на 20.9–39.9%, в звене с клевером – на 22.2–28.3%. Данное превышение свидетельствовало о большем эффекте удобрения в паровом звене, что было связано как с применением навоза КРС, так и возделыванием клевера, что увеличивало урожайность как в контроле, так и в вариантах с НРК (табл. 1).

Различия данного показателя в одних и тех же вариантах разных звеньев практически не отмечены, кроме варианта N30P30K30 + навоз 2.8 т/га в паровом звене, где было выявлено повышение на 8.10% и контроля в клеверном звене – на 6.13%. В обоих звеньях повышение удобрения от 0 до N10P10K10 + навоз 2.8 т/га больше всего увеличивало урожайность на 6.8 и 6.0 т/га соответственно, а для N20P20K20 + навоз 2.8 т/га – в меньшей степени (на 4.5 и 2.6 т/га), дальнейшее увеличение применения удобрений достоверно не изменяло ее.

Урожайность озимой пшеницы в вариантах с последствием удобрений в паровом звене была на 29.0–39.2% больше, чем в клеверном звене, отмечали тенденцию к увеличению разницы при повышении уровня удобрения. Прямое действие навоза в паровом звене проявилось в повышении урожайности озимой пшеницы на 16.6–56.1% относительно контроля, но наибольшей она была в варианте N42.2P42.2K42.2, где проявлялось только последствие, в вариантах с навозом наибольшую урожайность отмечали в варианте N30P30K30 + навоз 2.8 т/га.

Последствие удобрений в паровом звене в наибольшей степени отразилось на урожайности зерна

ячменя, обеспечив его прирост относительно контроля на 12.0–60.1%, в клеверном – зеленой массы однолетних трав на 20.0–71.0%. Система N30P30K30 + навоз 2.8 т/га обеспечивала наивысшие показатели. Последствие минеральных удобрений на 2-й год повышало урожайность зеленой массы клевера на 4.0–23.9%, зерна овса – на 10.9–41.9%. Системы N20P20K20 + навоз 2.8 т/га и N30P30K30 + навоз 2.8 т/га обеспечивали наибольшую урожайность клевера, овса – система N42.2P42.2K42.2. Общее повышение плодородия почвы стационарного опыта способствовало увеличению урожайности озимой пшеницы в звене с клевером на 9.2–31.4%, наибольшее влияние оказала система N42.2P42.2K42.2.

Урожайность листьев сахарной свеклы при прямом действии удобрений в вариантах N20P20K20 + навоз 2.8 т/га и N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га парового звена увеличивалась на 1.3–3.0 т/га относительно клеверного звена, в варианте N30P30K30 + навоз 2.8 т/га – на 0.80 т/га в клеверном звене относительно парового (табл. 2).

Наибольшую урожайность в обоих звеньях отмечали в варианте N42.2P42.2K42.2 в клеверном звене. В неудобренном варианте показатель был на 1.2 т/га больше вследствие азотфиксации клевера и дополнительного азотного питания. Поэтому рост продуктивности относительно контроля в паровом звене был выражен в большей степени и составил 46.1–78.9%, в клеверном – в меньшей или 13.8–62.1%. Данный процесс отчетливо прослежен и при оценке урожайности соломы озимой пшеницы: в паровом звене увеличение этого

Таблица 2. Урожайность побочной продукции культур в севообороте (2018–2022 гг.), т/га

Сахарная свекла (пар)	Сахарная свекла (клевер)	Озимая пшеница (пар)	Озимая пшеница (клевер)	Ячмень	Овес
Без удобрений					
10.4	11.6	2.13	3.41	2.15	1.54
15.2	15.4	N10P10K10 + навоз 2.8 т/га		2.53	1.89
		2.03	3.91		
16.2	13.2	N20P20K20 + навоз 2.8 т/га		3.55	1.69
		2.32	3.51		
16.7	17.5	N30P30K30 + навоз 2.8 т/га		3.50	2.39
		3.53	4.37		
16.8	15.5	N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га		2.88	2.27
		2.81	4.61		
18.6	18.8	N42.2P42.2K42.2		3.35	2.62
		3.51	3.67		
<i>HCP₀₅</i>					
0.8	0.8	0.14	0.19	0.13	0.10

показателя составило 8.92–65.7%, в клеверном – 11.7–28.1%, в целом в вариантах в клеверном звене ее было собрано на 0.16–1.88 т/га больше. Система N30P30K30 + навоз 2.8 т/га обеспечивала наибольшую урожайность соломы озимой пшеницы в обеих звеньях, N42.2P42.2K42.2 – также и в паровом, N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га – в клеверном.

Последствие удобрений в паровом звене повышало урожайность соломы ячменя на 17.8–62.8% относительно контроля, урожайность соломы овса (3-й культуры после удобренной сахарной свеклы в клеверном звене) увеличивалась на 9.74–70.1%;

системы N20P20K20 + навоз 2.8 т/га и N30P30K30 + навоз 2.8 т/га максимально повышали этот показатель для ячменя, N42.2P42.2K42.2 – для овса.

Общая оценка действия удобрений на продуктивность побочной продукции выявила, что в наибольшей степени они влияли на сахарную свеклу в паровом звене и овес, в меньшей степени – на озимую пшеницу в клеверном звене, прямое действие N42.2P42.2K42.2 максимально влияло на этот показатель.

В сахарной свекле, выращенной в паровом звене, сухого вещества содержалось на 1.0–4.3 абс. % больше, чем в клеверном, в листьях – на 1.5–4.7 абс. %,

Таблица 3. Содержание сухого вещества в продукции севооборота, %

Сахарная свекла				Однолетние травы	Клевер
корнеплоды		листья			
пар	клевер	пар	клевер		
Без удобрений					
22.9	21.9	19.3	17.7	27.2	28.7
25.1	21.1	19.5	N10P10K10 + навоз 2.8 т/га		28.6
			18.0	28.3	
24.7	22.3	19.3	N20P20K20 + навоз 2.8 т/га		27.9
			16.1	27.6	
24.7	20.6	19.7	N30P30K30 + навоз 2.8 т/га		27.3
			15.0	26.3	
24.3	21.1	19.8	N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га		27.5
			17.8	27.3	
24.6	20.3	19.0	N42.2P42.2K42.2		27.2
			18.6	26.6	
<i>HCP₀₅</i>					
1.1	1.0	–	0.3	–	1.3

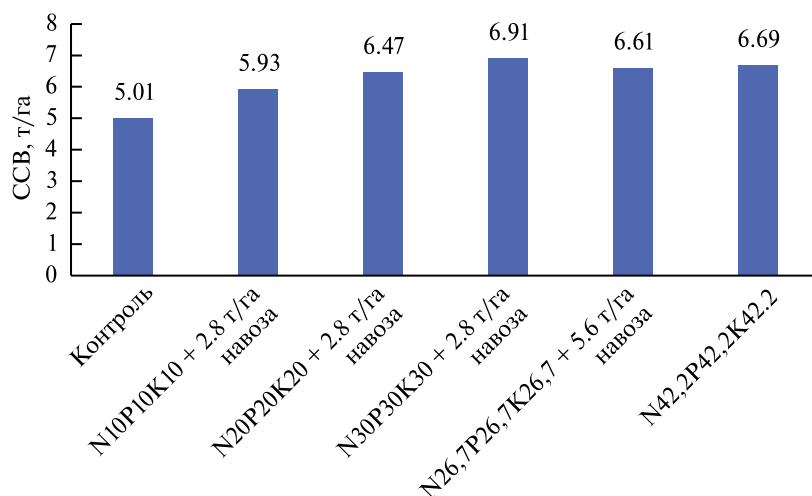


Рис. 2. Сбор сухого вещества (ССВ) основной и побочной продукции севооборота, т/га.

с ростом доз удобрений различия в основном увеличивались. Если в корнеплодах наиболее высокие показатели отмечены при низких дозах удобрения, то в листьях – при высоких (табл. 3).

Удобрения в значительной мере изменяли содержание сухого вещества в основной и побочной продукции севооборота. В корнеплодах сахарной свеклы, выращенной в паровом звене, оно снижалось на 1.4–1.8% (кроме варианта N10P10K10 + навоз 2.8 т/га), листьях – на 1.6–2.7% только в вариантах N20P20K20 + навоз 2.8 т/га и N30P30K30 + навоз 2.8 т/га, в звене с клевером – на 0.8–1.6% (кроме варианта N20P20K20 + навоз 2.8 т/га), в клевере – на 0.8–1.5% (кроме варианта

N10P10K10 + навоз 2.8 т/га). В сухом веществе однолетних трав и листьев сахарной свеклы в паровом звене изменений показателя не отмечено.

Максимальная продуктивность 1 га пашни в 10-й ротации составила в варианте N30P30K30 + навоз 2.8 т/га – 5.66 т/га, минимальная была в варианте N10P10K10 + навоз 2.8 т/га – 4,85 т/га, относительно контроля повышение составило 16.3–35.7% (рис. 2).

Наибольший прирост показателя (на 16.3%) был отмечен при увеличении дозы от N0P0K0 до N10P10K10 + навоз 2.8 т/га, до N20P20K20 + навоз 2.8 т/га – на 12.2%, до N30P30K30 + навоз 2.8 т/га – на 4.04%, а более высокие дозы немного снижали ее, что свидетельствовало об их меньшей эффективности.

Таблица 4. Сбор сухого вещества основной продукции севооборота, т/га

Сахарная свекла (пар)	Сахарная свекла (клевер)	Озимая пшеница (пар)	Озимая пшеница (клевер)	Ячмень	Овес	Травосмесь горох + овес	Клевер	Сумма
Контроль								
7.5	7.58	2.49	2.33	1.79	1.81	2.03	7.20	32.7
N10P10K10 + навоз 2.8 т/га								
9.9	8.57	2.90	2.55	2.00	2.00	2.44	7.98	38.3
N20P20K20 + навоз 2.8 т/га								
10.8	9.63	3.28	2.89	2.63	2.32	3.05	8.40	43.0
N30P30K30 + навоз 2.8 т/га								
11.3	8.69	3.69	2.99	2.86	2.44	3.47	8.49	43.9
N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га								
10.5	9.37	3.24	3.06	2.36	2.38	3.05	8.14	42.1
N42.2P42.2K42.2								
10.9	8.63	3.88	2.79	2.73	2.56	2.74	7.10	41.3
								HCP ₀₅
								1.8

Таблица 5. Сбор сухого вещества побочной продукции, т/га

Сахарная свекла (пар)	Сахарная свекла (клевер)	Озимая пшеница (пар)	Озимая пшеница (клевер)	Ячмень	Овес	Сумма
листья		солома				
Контроль						
2.01	2.05	1.92	3.07	1.94	1.39	12.4
N10P10K10 + навоз 2.8 т/га						
2.96	2.77	1.83	3.52	2.28	1.70	15.1
N20P20K20 + навоз 2.8 т/га						
3.13	2.12	2.09	3.16	3.20	1.52	15.2
N30P30K30 + навоз 2.8 т/га						
3.29	2.62	3.18	3.93	3.15	2.15	18.3
N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га						
3.33	2.76	2.53	4.15	2.59	2.04	17.4
N42.2P42.2K42.2						
3.53	3.50	3.16	3.30	3.02	2.36	18.9

Прямое действие удобрений повышало сбор сухого вещества (*ССВ*) корнеплодами сахарной свеклы в паровом звене на 32.6–46.1% (табл. 4), сахарной свеклы в клеверном звене – на 13.1–23.6%. Последствие удобрений в 1-й год увеличивало урожайность ячменя на 59.8, однолетних трав – на 20.2–70.9%, во 2-й год – клевера на 10.8–17.9 и овса – на 10.5–41.4%, прямое действие навоза – на 16.5–48.2, общее повышение плодородия – озимой пшеницы в клеверном звене – на 9.44–31.3%. Наибольшее повышение было отмечено в варианте N30P30K30 + навоз 2.8 т/га, зерновые, кроме озимой пшеницы в клеверном звене, имели высокий показатель в варианте N42.2P42.2K42.2 (табл. 4).

Общий сбор сухого вещества основной продукции повышался относительно контроля на 17.1–34.3%, минимум был отмечен в варианте N10P10K10 + навоз 2.8 т/га, максимум – в варианте N30P30K30 + навоз 2.8 т/га.

Сбор сухого вещества побочной продукцией был в несколько раз меньше, чем основной. Самое тесное соотношение, свидетельствующее о преобладании основной продукции, было отмечено в варианте N20P20K20 + навоз 2.8 т/га, широкое – в варианте N42.2P42.2K42.2. Прирост суммы *ССВ* относительно контроля составил 21.8–52.4%, при этом в паровом звене: сахарной свеклы – на 47.3–75.6, озимой пшеницы – на 8.85–65.6, ячменя – на 17.5–64.9%, в клеверном звене: сахарной свеклы – на 3.41–70.7, озимой пшеницы – на 14.7–35.2, овса – 22.3–69.8% (табл. 5).

Максимальный сбор сухого вещества с 1 га севооборотной площади обеспечивался применением

системы N30P30K30 + навоз 2.8 т/га (6.91 т/га), минимальный – системы N10P10K10 + навоз 2.8 т/га (5.93 т/га), повышение относительно контроля составило 20.4–37.9%. Последовательное увеличение удобрений в наибольшей степени повышало *ССВ* в варианте N10P10K10 + навоз 2.8 т/га на 8.99 и 6.87% соответственно относительно меньших доз, доза N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га снижала *ССВ* на 4.34%, доза N42.2P42.2K42.2 – незначительно увеличивала.

Окупаемость 1 кг *НРК* урожаем сахарной свеклы в паровом звене была несколько больше на 13.9–70.8%, чем в клеверном, с ростом доз удобрений различия увеличивались, что свидетельствовало о более выраженном эффекте удобрений в паровом звене, за исключением варианта N26.7P26.7K26.7 в клеверном звене, где вследствие отсутствия навоза оплата 1 кг *НРК* была больше, чем в паровом (на 54.0%) (табл. 6).

Оценка оплаты 1 кг *НРК* урожаем, выраженная в кг з.е., выявила, что наиболее эффективным было последствие удобрений на 2-й год, что связано с минимальным поступлением *НРК* удобрений (для клевера – 22.4–38.5, овса – 16.1–23.0 кг з.е.), несколько меньше – для однолетних трав (7.14–22.4 кг з.е.) при последствии в 1-й год, менее эффективным – для ячменя и озимой пшеницы в паровом звене (2.68–10.5 кг з.е.) (рис. 3).

Первый год действия удобрений на сахарной свекле обеспечивал средние величины показателя (3.61–13.1 кг з.е.), при этом в паровом звене он был на 13.9–70.8% больше, чем в клеверном звене (кроме варианта N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га). Возрастающая насыщенность удобрениями

Таблица 6. Оплата 1 кг NPK урожаем, кг з.е.

Прямое действие			Последствие			
			в 1-й год		во 2-й год	
Сахарная свекла (пар)	Сахарная свекла (клевер)	Озимая пшеница (пар)-навоз	Ячмень	Травосмесь горох + овес	Клевер	Овес
N10P10K10 + 2.8 т/га навоза						
13.1	11.5	3.84	3.78	18.2	38.5	17.1
N20P20K20 + навоз 2.8 т/га						
10.9	8.29	7.36	10.2	22.4	33.5	23.0
N30P30K30 + навоз 2.8 т/га						
8.35	4.89	11.2	10.5	20.1	26.2	19.0
N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га						
4.59	7.07	2.68	4.11	16.6	22.4	19.4
N42.2P42.2K42.2						
5.33	3.61	—	11.4	7.14	31.1	16.1

способствовала уменьшению этого показателя для всех культур.

Максимальный показатель продуктивности 1 га пашни в 10-й ротации обеспечивался дозой N30P30K30 + навоз 2.8 т/га – 5.66 т/га, минимальный – дозой N10P10K10 + навоз 2.8 т/га – 4.85 т/га, относительно контроля повышение составило 16.3–35.7%. Наибольший рост показателя на 16.3% был отмечен при увеличении дозы от N0P0K0 до N10P10K10 + навоз 2.8 т/га, до N20P20K20 + навоз 2.8 т/га – на 12.2%, до N30P30K30 + навоз 2.8 т/га – на 4.04%, а более высокие дозы немного снижали его.

Оплата 1 кг NPK продукцией севооборота, выраженная в з.е., была максимальной в варианте N20P20K20 + навоз 2.8 т/га (13.0 з.е.), минимальной – N26.7P26.7K26.7 + навоз 5.6 т/га (8.13 з.е.), разница в вариантах составляла 11.1–59.9%. Усиленные удобрения от N10P10K10 + навоз 2.8 т/га до N20P20K20 + навоз 2.8 т/га способствовало повышению показателя, дальнейшее насыщение удобрениями снижало его с некоторым повышением в варианте N42.2P42.2K42.2.

По результатам математического анализа, связи величин урожайности культур севооборота с уровнем удобрения 1 га пашни выявили, что

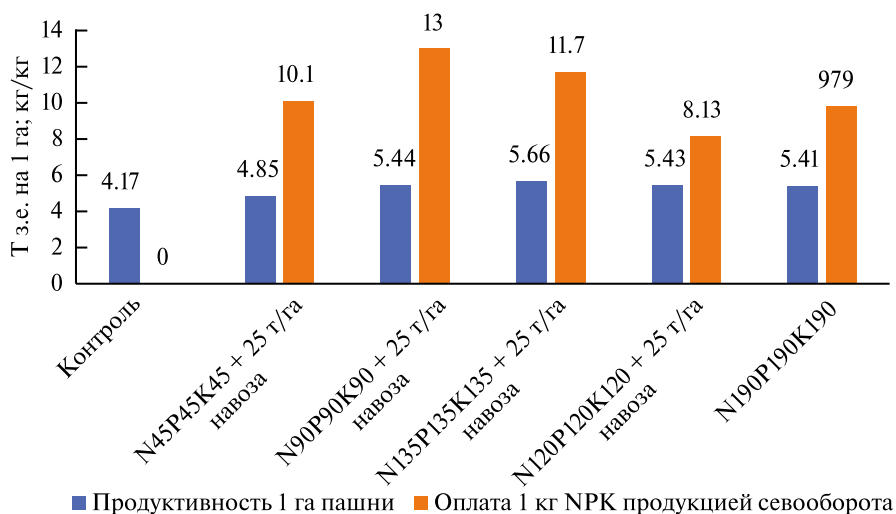


Рис. 3. Продуктивность 1 га пашни севооборота и оплата 1 кг NPK.

Таблица 7. Уравнения линейной регрессии зависимости величин урожайности от уровня удобренности пашни

Культура	Уравнение	R^2	Культура	Уравнение	R^2
Сахарная свекла (пар)	$Y = 0.080x + 33.9$	0.836	Сахарная свекла (клевер)	$Y = 0.059x + 33.6$	0.889
Озимая пшеница (пар)	$Y = 0.009x + 2.94$	0.637	Озимая пшеница (клевер)	$Y = 0.005x + 2.69$	0.890
Ячмень	$Y = 0.007x + 2.12$	0.616	Овес	$Y = 0.005x + 2.09$	0.836
Клевер	$Y = 0.027x + 25.7$	0.405	Однолетние травы	$Y = 0.055x + 14.7$	0.701

наибольшая зависимость между этими показателями была отмечена для сахарной свеклы в обоих звеньях, овса и озимой пшеницы в клеверном звене ($R^2 = 0.836-0.889$) (табл. 7).

Наибольшее влияние насыщение удобрениями оказало на урожайность сахарной свеклы в паровом звене, наименьшее – озимой пшеницы и овса в клеверном звене.

ВЫВОДЫ

Примененные в течение 85 лет в севообороте удобрения в большей степени увеличивали урожайность культур при последствии в 1-й год (ячменя и однолетних трав) – на 12.0–71.0%. Их прямое действие на сахарной свекле было несколько слабее (увеличение на 20.9–39.9%), наиболее слабое – во 2-й год последствия (на зеленой массе клевера – на 4.0–23.9%). Прямое действие удобрений на урожайность сахарной свеклы в большей степени отмечалось в паровом звене (+20.9–39.9% к контролю), в звене с клевером – в меньшей степени (+22.2–28.3%).

Действие удобрений на продуктивность побочной продукции в наибольшей степени проявилось на сахарной свекле и овсе в паровом звене, в меньшей степени – на озимой пшенице в клеверном звене, прямое действие дозы N42.2P42.2K42.2 в наибольшей степени влияло на этот показатель.

Максимальное изменение содержания сухого вещества было отмечено в листьях и корнеплодах сахарной свеклы в паровом звене, где его накопление было более интенсивным, чем в клеверном звене.

Сбор сухого вещества основной продукции большинства культур, так же как и суммарный сбор (основная + побочная продукция) обеспечивался применением дозы N30P30K30 + навоз 2.8 т/га (на 34.3 и 37.9% соответственно). Увеличение сбора сухого вещества (ССВ) побочной продукции культур севооборота относительно контроля было примерно одинаковым, но несколько меньше у зерновых, использовавших последствие, и у озимой пшеницы в клеверном звене.

Максимальную продуктивность 1 га севооборотной площади обеспечила система N30P30K30 + навоз 2.8 т/га (+35.7% к контролю), но при этом

вследствие меньших затрат наиболее окупаемой была система N20P20K20 + навоз 2.8 т/га (13.0 кг з.е./кг д.в. NPK).

Математически доказано, что увеличение насыщенности 1 га севооборотной площади удобрениями оказывало наибольшее влияние на урожайность сахарной свеклы, наименьшее – овса и озимой пшеницы в клеверном звене.

В результате оценки основных показателей продуктивности зерносвекловичного севооборота (урожайности большинства культур, сбора сухого вещества основной и общей продукции, продуктивности 1 га пашни) установлено, что наибольшую производительность обеспечивала система N30P30K30 + навоз 2.8 т/га (применение 2 раза за ротацию N135P135K135 + навоз 25 т/га в пару). Система N20P20K20 + навоз 2.8 т/га (применение 2 раза за ротацию N90P90K90 + навоз 25 т/га в пару) обеспечила наибольшую окупаемость 1 кг NPK-удобрений. Оплата 1 кг NPK этой системы была максимальной для ячменя и однолетних трав в 1-й год последствия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чеботарев Н.Т., Броварова О.В.* Мелиоранты и минеральные удобрения как факторы повышения продуктивности агроценозов Европейского Севера. Сыктывкар: Коми республ. Акад. гос. службы и управ-я, 2021. 96 с.
2. *Лана В.В.* Удобрения как фактор повышения продуктивности земледелия и воспроизводства плодородия почв – состояние и перспективы // Почвовед. и агрохим. 2005. № 1(34). С. 38–42.
3. *Воронкова Н.А., Балабанова Н.Ф.* Влияние длительного применения удобрений в зернотравяном севообороте на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур // Достиж. науки и техн. АПК. 2013. № 5. С. 30–32.
4. *Saparov A.S., Ustemirova A.M., Aitbaev T.E., Saparov G.A., Buribaeva L.A.* Impact of fertilizers on soil fertility in vegetable crop rotation // Почвовед. и агрохим. 2016. № 3. С. 53–61.
5. *Лукин С.М., Мерзлая Г.Е.* Сравнительная эффективность различных систем удобрения при дли-

- тельном их применении в севооборотах // Плодородие. 2016. № 5(92). С. 42–47.
6. *Стулин А.Ф.* Влияние длительного применения удобрений на урожайность и качество культур севооборота в условиях Центрального Черноземья / Итоги выпол. програм. фонд. научн. исслед-й гос. акад. на 2013–2020 гг. М.: ВНИИА, 2018. С. 271–277.
 7. *Кошеляев В.В., Сальников В.И., Кошеляева И.П.* Агротехническая активность сортов озимой пшеницы при различных уровнях минерального питания // Нива Поволжья. 2020. № 4(57). С. 25–29.
 8. *Никитин В.В., Карабутов А.П., Мельников В.И., Вовк А.М.* Эффективность удобрений в производственных условиях Центрального Черноземья // Инновации в АПК: пробл. и перспект. 2016. № 3(11). С. 85–95.
 9. *Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Суетов В.П., Дроздова В.В., Бондарева Т.Н., Лебедевский И.А., Жиленко С.В., Осипов М.А., Есипенко С.В., Буддыкова И.А.* Плодородие и продуктивность чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в севообороте // Мат-лы Всерос. совещ. научн. учреждений-участников Географ. сети опытов с удобр. М.: ВНИИА, 2016. С. 326–336.
 10. *Елешев Р.Е., Рамазанова С.Б., Балгабаев А.М., Салыкова А.С.* Продуктивность культур свекловичного севооборота при длительном и систематическом применении минеральных удобрений // Почвовед. и агрохим. 2015. № 2. С. 54–59.
 11. *Парамонов А.В., Пасько С.В.* Влияние систематического применения удобрений на плодородие почвы в длительном стационарном полевом опыте / Мат-лы Всерос. совещ. научн. учреждений-участников Географ. сети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА, 2016. С. 204–209.
 12. *Дзанагов С.Х., Лазаров Т.К., Калоев Б.С., Кубатищева З.А., Калагова Р.В.* Влияние длительного применения удобрений на показатели роста, урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Агрохимия. 2019. № 4. С. 31–38.
 13. *Мазалов В.И., Небытов В.Г.* Влияние длительного применения удобрений на плодородие выщелоченного чернозема и урожайность культур за две ротации севооборота // Зернобоб. и круп. культуры. 2020. № 4(36). С. 156–162.
 14. *Ионина Н.В.* Влияние длительного применения различных систем удобрения в севообороте на плодородие почвы и урожай сельскохозяйственных культур в северо-западной зоне Курганской области // Итоги выполнения Программы фонд. науч. исслед-й гос. академий на 2013–2020 гг. М.: ВНИИА, 2018. С. 95–106.
 15. *Минакова О.А., Александрова Л.В., Подвигина Т.Н.* Изменение физико-химических свойств чернозема выщелоченного и урожайности сахарной свеклы при длительном применении удобрений в ЦЧР // Агрохимия. 2021. № 2. С. 37–46.

Crop Capacity and Grain-Beet crop Rotation Productivity as a Result of 85-year Application of Fertilizers under Conditions of the Central-Black Earth Region

O. A. Minakova^{a,#}, L. V. Alexandrova^a, T. N. Podvigina^a, V. M. Vilkov^a

^a *Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, VNIISS village 86, Voronezh region, Ramonsky district 396030, Russia*

[#] *E-mail: olalmin@mail.ru*

Fertilizers applied during 85 years in the grain–beet crop rotation provided the most significant (by 12.0–71.0% to control) an increase in the yield of barley and annual grasses using only the aftereffect of fertilizers, with direct action – sugar beet in the steam link (by 20.9–39.9%). There was a significant increase in the productivity of 1 ha of arable land (by 16.3–35.7% relative to the option without fertilizers). It is proved that an increase in the fertilizer saturation of 1 ha of crop rotation area per 1 kg of NPK increased the yield of sugar beet to the greatest extent, and oats and winter wheat in the clover link to the least. The highest productivity of 1 ha of arable land was provided by a system that included double application in the crop rotation of N135P135K135 for sugar beet in combination with manure of 25 t/ha in a pair (saturation with fertilizers – N30P30K30 + manure 2.8 t/ha).

Keywords: crop rotation, grain crops, sugar beet, fertilizers, productivity, payback.