

# Последствие удобрений, длительно применяемых в севообороте с сахарной свёклой в ЦЧР, на урожайность и качество зерновых культур

**О.А. МИНАКОВА**, д-р с/х. наук (e-mail: olalmin2@rambler.ru)

**Л.В. АЛЕКСАНДРОВА**, научн. сотрудник (e-mail: lyuda.aleksandrova.61@bk.ru)

**Т.Н. ПОДВИГИНА**, мл. научн. сотрудник (e-mail: tatyana podwigina@yandex.ru)

**Н.А. КУНИЦИН**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы имени А.Л. Мазлумова»

## Введение

В Централно-Чернозёмном регионе расположены основные посевы озимой пшеницы и сахарной свёклы. Эти культуры очень отзывчивы на оптимизацию условий их возделывания, которые определяются важнейшими агроприёмами, в наибольшей степени – системой удобрения [7, 9].

Цель системы удобрений – удовлетворение потребностей растений в элементах минерального питания, необходимых для получения планируемого урожая при ежегодном обеспечении максимально возможной агрономической и экономической эффективности и экологической безопасности использования имеющихся природно-экономических ресурсов (почв, удобрений, культур, сортов, техники и т. д.) каждого хозяйства. Особенно важное значение приобретает система удобрений в севообороте, где наиболее продуктивно можно использовать питательные вещества почвы и удобрений с учётом особенностей культур [4].

В зернопропашных севооборотах высокие дозы удобрений получает сахарная свёкла, а зерновые культуры и травы используют их последствие. Первой культурой из минеральных удобрений используется 50–60 % N и  $K_2O$ , 20–25 %  $P_2O_5$  [6]. Из навоза используется в первый год 15–25 % N, 15–30 %

$P_2O_5$  и 40–60 %  $K_2O$  (при высоких дозах минеральных удобрений коэффициент использования ниже), во второй год – 15–20, 10–15 и 10–15 % соответственно, даже на третий год 5–10 % NPK могут быть использованы растениями [5]. Данное распределение позволяет оставаться в почве некоторому количеству элементов питания для второй и даже третьей культуры, следующей по севообороту за пропашными [3]. Вынос NPK зерновыми невелик, более всего отчуждается с урожаем озимой пшеницы –  $N_{110}P_{40}K_{70}$  [6], яровых зерновых гораздо меньше: овса –  $N_{45}P_{22.5}K_{12}$  [8], ячменя –  $N_{70}P_{30}K_{57}$  [5]. Дозы минеральных удобрений и навоза, применяемые в севообороте, представлены в табл. 1.

Рекомендуемые дозы под яровые зерновые невысоки. Так, под овёс они составляют  $N_{40-60}P_{40}K_{40}$  [1], под ячмень –  $N_{35-40}P_{45-60}K_{40-60}$ , под озимую пшеницу – выше:  $N_{80-110}P_{40-50}K_{40-45}$  [10]. Примерно такое количество NPK (кроме азота под озимую пшеницу) под эти культуры с учётом коэффициентов использования может поступать при последствии удобрений. Повышение обеспеченности озимой пшеницы NPK увеличивает урожайность и содержание белка в зерне [7].

Таким образом, последствие минеральных удобрений и навоза

способно обеспечить значительным количеством NPK зерновые культуры, возделываемые в зерно-свекловичных севооборотах, что позволит формировать высокие урожаи с минимальными затратами.

**Цель исследований** – установить влияние последствия удобрений, длительно вносимых в севообороте с сахарной свёклой, на урожайность и качество зерновых культур в условиях ЦЧР.

## Задачи исследования

1. Установить влияние последствия удобрений, применяемых в севообороте с сахарной свёклой, на урожайность основной и побочной продукции зерновых культур.
2. Выявить влияние удобрённости на качество зерновых культур.
3. Определить сбор сухого вещества основной и побочной продукцией зерновых культур в зависимости от доз удобрений, применяемых в севообороте.
4. Выявить математическую связь урожайности зерновых культур с уровнем удобрённости 1 га севооборотной площади.

## Условия и методика

### проведения исследований

Исследования проводились в 2019–2020 гг. в стационарном опыте по внесению удобрений (год закладки – 1936-й, продолжается по настоящее время)

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова» (Рамонский район Воронежской области). Удобрения применялись в девятипольном зерносвекловичном севообороте со следующим чередованием культур по полям: чёрный пар – озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень с подсевом клевера – клевер одного года использования – озимая пшеница – сахарная свёкла – однолетние травы (травосмесь горох + овёс) – овёс.

В качестве минеральных удобрений использовалась нитроаммофоска с содержанием NPK = 16:16:16, которая вносилась только под сахарную свёклу перед основной обработкой почвы (два раза за ротацию). Навоз вносили один раз за ротацию севооборота в пару, прямое действие навоза испытывала озимая пшеница в паровом звене. Остальные культуры использовали последствие удобрений. Основная обработка под сахарную свёклу – отвальная вспашка на

**Таблица 1. Схема стационарного опыта**

Вариант	Минеральные удобрения под сахарную свёклу, кг д. в. на 1 га	Навоз в пару, т/га	Сумма поступления NPK в севооборот, кг/га	Насыщенность 1 га севооборотной площади, кг д. в.	
				Сумма NPK (минеральные удобрения + навоз)	NPK минеральных удобрений
Контроль (без удобрений)	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	0	0	0	—
Система I	N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	25	607,5	67,5	N <sub>10</sub> P <sub>10</sub> K <sub>10</sub>
Система II	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	25	742,5	82,5	N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>20</sub>
Система III	N <sub>135</sub> P <sub>135</sub> K <sub>135</sub>	25	1147,5	127,5	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>
Система IV	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	50	1395,0	155,0	N <sub>26,7</sub> P <sub>26,7</sub> K <sub>26,7</sub>
Система V	N <sub>190</sub> P <sub>190</sub> K <sub>190</sub>	0	1140,0	127,7	N <sub>42,2</sub> P <sub>42,2</sub> K <sub>42,2</sub>

глубину 30–32 см, под зерновые – вспашка на глубину 20–22 см.

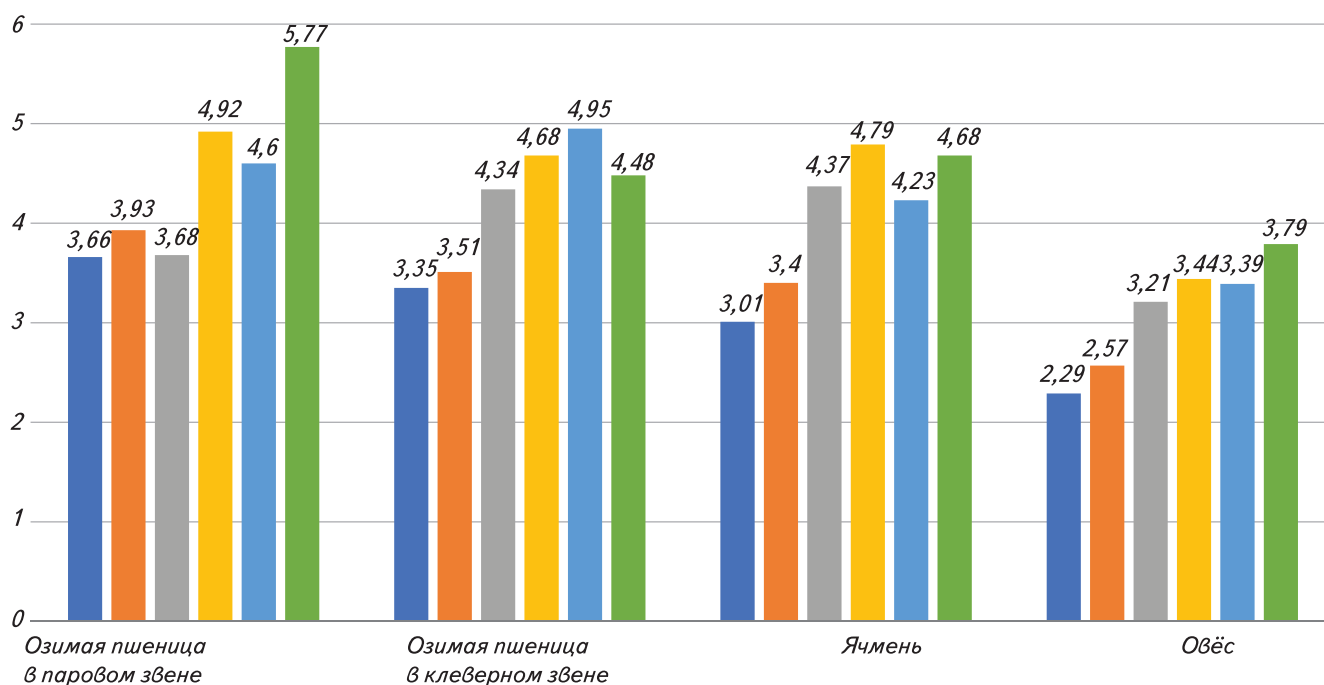
Урожайность зерна определяли комбайновым учётом урожая пробных площадок (площадь 16,2 м<sup>2</sup>), урожайность соломы и соотношение основной и побочной продукции – методом пробного снопа. Статистическая обработка данных проводилась по Доспехову

(1985) с помощью ПК. Содержание белка в зерне определялось по ГОСТ 10846-1, клейковины – по ГОСТ 54478-2011.

**Результаты и обсуждение**

Урожайность зерна озимой пшеницы в звене с чёрным паром в вариантах с удобрениями составила 3,68–5,77 т/га (см. рис.),

Урожайность зерна, т /га



Урожайность зерна культур в стационарном опыте, 2019–2020 гг. (■ контроль; ■ система I; ■ система II; ■ система III; ■ система IV; ■ система V)

в контроле – 3,66 т/га. Последствие удобрений в звене с паром способствовало повышению урожайности зерна озимой пшеницы относительно контроля на 0,27–2,11 т/га (7,37–57,6 %), наибольшее влияние оказывала система V ( $N_{190}P_{190}K_{190}$ ), несколько меньшее – система III ( $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза). Удобрения, применяемые по схемам I и II, менее всего влияли на данный показатель.

Урожайность зерна озимой пшеницы в звене с клевером в вариантах с удобрениями отмечалась на уровне 3,51–4,95 т/га, в контроле – 3,35 т/га. Наиболее высокой она была при действии системы IV, низкой – при действии системы I. Применение удобрений в севообороте способствовало росту показателя на 0,99–1,60 т/га, что в процентном отношении составило 4,8–47,8 %. При увеличении количества удобрений на 1 га севооборотной площади наиболее значительное повышение урожайности отмечалось от I ко II системе (на 0,83 т/га), дальнейшее увеличение до  $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  т/га навоза и  $N_{190}P_{190}K_{190}$  способствовало менее значительному повышению – на 0,34 и 0,27 т/га соответственно.

Уровень урожайности зерна ячменя в вариантах с удобрениями составил 3,40–4,79 т/га, в контроле – 3,01 т/га соответственно. Последствие удобрений в первый год после сахарной свёклы в паровом звене способствовало повышению урожайности зерна

ячменя относительно контроля на 13,0–59,1 % (0,39–1,78 т/га), наибольшее влияние оказывали дозы  $N_{190}P_{190}K_{190}$  и  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза (системы V и III).

Уровень урожайности зерна овса в вариантах с удобрениями составил 2,57–3,79 т/га, в контроле – 2,29 т/га. Повышение удобрённости способствовало увеличению урожайности культуры на 0,28–1,50 т/га (12,2–65,5 %), менее всего – при действии системы I, более всего – системы V. Повышение доз удобрений от I ко II системе способствовало наибольшему увеличению урожайности зерна – на 0,64 т/га, а дальнейшее увеличение удобрённости обеспечивало рост показателя в меньшей степени.

Уровень урожайности соломы озимой пшеницы в паровом звене составил 3,98–7,40 т/га, в клеверном звене – 4,61–6,73 т/га (табл. 2). Действие удобрений, внесённых в севообороте, повышало урожайность соломы озимой пшеницы в паровом звене относительно контроля на 15,8–85,9 %, в звене с клевером – на 22,3–46,0 %. Максимальный урожай соломы в звене с паром был получен под действием системы V ( $N_{190}P_{190}K_{190}$ ), в звене с клевером – системы IV ( $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  т/га навоза), минимальный – системы II ( $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза) и системы I ( $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза) соответственно.

Урожай соломы яровых культур, собранный с 1 га, был значитель-

но ниже, чем озимых, и составил 2,65–5,54 т/га (ячмень) и 1,68–3,04 т/га (овёс). Урожайность соломы ячменя повышалась относительно контроля на 15,1–109 %, овса – на 35,7–80,9 %, максимальной она была при действии систем II, III и IV, V соответственно, минимальной – при системе I.

Соотношение основной и побочной продукции в структуре урожая озимой пшеницы в паровом звене составило 0,78–0,92, в клеверном – 0,60–0,75, что ниже, чем в паровом; наиболее высокой оно было при системе II, а для клеверного звена также при системе III, низкой – при системе V. Последствие удобрений в основном снижало данный показатель, особенно высокой дозы ( $N_{190}P_{190}K_{190}$ ) для культуры в обоих звеньях, а также  $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$  т/га навоза – озимой пшеницы в клеверном звене. Разница показателя по вариантам составила 0,08–0,48 и 0,03–0,24 соответственно.

У яровых культур данное соотношение было более высоким – для ячменя 0,86–1,34, овса – 1,12–1,36; также проявлялось значительное влияние удобрений, снижение показателя относительно контроля составило 0,08–0,48 и 0,03–0,24 соответственно. Лучшее соотношение для ячменя отмечалось в контроле и при последствии минимальной дозы системы I, овса – в контроле и при системе II, худшее (для обеих культур) – при системах III и IV.

Таблица 2. Урожайность соломы и соотношение побочной и основной продукции в опыте

Удобрения	Озимая пшеница (звено с паром)		Озимая пшеница (звено с клевером)		Ячмень		Овёс	
	Урожайность соломы, т/га	Соотношение «зерно : солома»	Урожайность соломы, т/га	Соотношение «зерно : солома»	Урожайность соломы, т/га	Соотношение «зерно : солома»	Урожайность соломы, т/га	Соотношение «зерно : солома»
Контроль	3,98	0,92	4,61	0,73	2,65	1,34	1,68	1,36
Система I	4,61	0,85	5,79	0,61	3,05	1,11	2,28	1,13
Система II	3,79	0,97	5,82	0,75	4,96	0,88	2,52	1,27
Система III	5,86	0,84	6,20	0,75	5,54	0,86	2,98	1,15
Система IV	5,32	0,86	6,73	0,73	4,52	0,94	3,04	1,12
Система V	7,40	0,78	5,64	0,60	4,68	1,00	3,03	1,25

Для наиболее точной оценки продуктивности необходимо рассчитать сбор сухого вещества (ССВ) культурами, так как этот показатель отражает биомассу основной и побочной продукции в пересчёте на стандартную влажность. Максимальный сбор сухого вещества зерновыми культурами был отмечен при действии систем III и V (33,8 и 34,7 т/га) (табл. 3), минимальный – системы I и в контроле (25,8 и 22,2 т/га). Увеличение ССВ относительно контроля составило 16,2–56,3 %. Последствие удобрений повышало ССВ озимой пшеницы в звене с паром на 11,9–72,4 %, в звене с клевером – 18,6–46,5, ячменя – 13,9–83,3 %, овса – 22,4–72,1 %. Наиболее высокий ССВ отмечался для всех культур в варианте III, а также V (кроме озимой пшеницы в клеверном звене), а для культур клеверного звена лучшим был вариант IV.

Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы было низким – 21–24 % (табл. 4), что соответствует 3–4 классу (годная для хлебопечения, но невысокого качества, нуждается в улучшении путём добавления более качественного зерна) [2]. Последствие удобрений не оказывало достоверного влияния на содержание клейковины в звене озимой пшеницы как в чёрном пару, так и в звене с травами, отмечалась только тенденция к увеличению данного показателя озимой пшеницы в звене с паром в варианте IV на 1 %. В травяном

Таблица 3. Сбор сухого вещества основной и побочной продукцией зерновых культур в опыте, т/га

Вариант	Ячмень	Озимая пшеница в звене с паром	Озимая пшеница в звене с клевером	Овёс	Всего
Контроль	4,97	6,73	7,03	3,48	22,2
Система I	5,66	7,53	8,34	4,26	25,8
Система II	8,22	6,57	8,97	5,03	28,8
Система III	9,11	9,50	9,60	5,64	33,8
Система IV	7,71	8,75	10,3	5,65	32,4
Система V	8,23	11,6	8,93	5,99	34,7

Таблица 4. Качество зерновых культур в стационарном опыте

Вариант	Содержание клейковины, %		Содержание белка, %	
	Озимая пшеница (звено с паром)	Озимая пшеница (звено с клевером)	Ячмень	Овёс
Контроль	21	24	9,96	11,2
Система I	21	24	10,9	11,8
Система II	21	23	11,8	11,1
Система III	21	23	11,5	12,2
Система IV	22	24	10,7	11,7
Система V	21	23	10,6	11,7
НСР <sub>05</sub>	–	–	0,65	0,48

Таблица 5. Уравнения зависимости урожайности зерна от уровня удобрённости пашни

Культуры	Уравнение (коэффициент парной корреляции)
Озимая пшеница в звене с паром	$Y = 0,0032x + 3,320 (0,674)$
Ячмень	$Y = 0,0031x + 3,025 (0,825)$
Овёс	$Y = 0,0026x + 2,211 (0,954)$
Озимая пшеница в звене с клевером	$Y = 0,0028x + 3,263 (0,828)$

Y – урожайность зерна культуры, т/га

x – соответствует сумме NPK удобрений, внесённых в севообороте

звене отмечалась только тенденция к снижению показателя при действии систем II, III и V (со значительными дозами удобрений на фоне 25 т/га навоза и на безнавозном фоне).

Внесение удобрений повышало содержание белка в зерне ячменя на 0,64–1,84 %, в зерне овса – на 0,6–1,0 %. Более всего оказывала влияние система III, на белок в ячмене – также и система II.

По результатам регрессионного анализа выявлено, что урожайность ячменя, овса и озимой пшеницы в звене с кле-

ром в опыте сильно зависела от уровня удобрённости пашни ( $r = 0,825 - 0,954$ ) (табл. 5), озимой пшеницы в звене с паром – средне ( $r = 0,674$ ).

Каждый килограмм удобрений, внесённый в севообороте, в наибольшей степени повышал урожайность зерна озимой пшеницы в звене с паром, в меньшей степени – ячменя, менее всего – озимой пшеницы в звене с клевером и овса.

### Заключение

Последствие удобрений, длительно применяемых в зерно-свекловичном севообороте, в значительной степени повышало урожайность зерновых культур, в наибольшей мере – зерна овса, в наименьшей – озимой пшеницы в звене с клевером.

Внесение в севообороте доз  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза и  $N_{190}P_{190}K_{190}$  способствовало получению наиболее высоких урожаев ячменя, овса и озимой пшеницы

в паровом звене. Озимая пшеница в клеверном звене более всего реагировала на внесение  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза и  $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  т/га навоза, результатом применения системы IV было также значительное повышение урожайности овса.

Последствие удобрений в большей степени повышало урожайность яровых культур (относительно варианта без удобрений – на 12,2–65,5 %, в меньшей степени – озимых (на 4,80–57,6 %).

Соотношение основной и побочной продукции яровых зерновых культур при последствии удобрений изменялось в большей степени, чем озимых (на 0,03–0,48 и 0,01–0,15 соответственно). Повышение уровня удобренности несколько ухудшало данное соотношение, более всего – для ячменя. Системы  $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$  т/га навоза для обеих групп культур, а для яровых зерновых – также и  $N_{190}P_{190}K_{190}$  обеспечивала лучшее соотношение основной и побочной продукции в опыте.

Последствие удобрений повышало содержание белка в зерне яровых культур, более всего повлияло применение системы  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза. Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы в обоих звеньях не изменялось под действием данного фактора.

Сбор сухого вещества зерновых культур в опыте был максимальным при действии систем  $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$  т/га навоза и  $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  т/га навоза, что выше контроля на 52,2–56,3 %. Более всего на данный показатель реагировал ячмень, менее всего – озимая пшеница в звене с чёрным паром.

Математически установлено, что уровень удобренности пашни зерносвекловичного севооборота более всего оказывал влияние на урожайность зерна озимой пшеницы в звене с паром и ячменя.

### Предложение производству

В условиях ЦЧР для получения высоких урожаев яровых и озимых зерновых культур с хорошим качеством в длинноротационных севооборотах необходимо длительно применять под сахарную свёклу минеральные удобрения в дозах  $N_{190}P_{190}K_{190}$  (без навоза) или  $N_{135}P_{135}K_{135}$  совместно с 25 т/га навоза в пару (один раз в ротацию). При наличии клевера в севообороте последствие удобрений также в значительной мере проявляется при внесении  $N_{120}P_{120}K_{120}$  под сахарную свёклу два раза за ротацию совместно с 50 т/га навоза в пару (один раз в ротацию). Получение зерна озимой пшеницы с высоким содержанием клейковины требует дополнительного применения азотных удобрений в виде почвенных или некорневых подкормок.

### Список литературы

1. *Бутяйкин, В.В.* Основы агрономии / В.В. Бутяйкин. – Саранск, 2015. – 88 с.
2. ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. [Электронный ресурс] / Интернет и право. <https://internet-law.ru/gosts/gost/62924> (Дата обращения: 28.05.2021)
3. *Ефимов, В.Н.* Система удобрения / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко. – М. : КолосС, 2003. – 320 с.

4. *Карамнова, Н.В.* Управление технологиями : учеб. пособие / Н.В. Карамнова, В.М. Белоусов. – Мичуринск : Изд-во Мичуринского ГАУ, 2018. – 275 с.

5. *Корчагин, А.А.* Система удобрений : учеб. пособие / А.А. Корчагин, М.А. Мазиров, Н.А. Комарова. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2018. – 116 с.

6. *Минеев, В.Г.* Агрохимия / В.Г. Минеев [и др.] – М. : Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.

7. Влияние агротехнических приёмов на качество озимой пшеницы и сахарной свёклы / Е.В. Навольнева, В.Д. Соловиченко, А.Г. Ступаков, М.А. Куликова // Селекция растений: прошлое, настоящее и будущее : Сб. матер. I Всеросс. научно-практич. конф. с международным участием. – Белгород : БелГУ, 2017. – С. 123–126.

8. *Окорков, В.В.* Оптимизация дозы, вынос и использование элементов питания овсом при длительном применении удобрений / В.В. Окорков, О.А. Фенова, Л.А. Окоркова // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 5. – С. 19–29.

9. *Самыкин, В.Н.* Экономические показатели различных способов возделывания сахарной свёклы / В.Н. Самыкин, В.Д. Соловиченко // Сахарная свёкла. – 2008. – № 6. – С. 14–17.

10. Технологии в растениеводстве / Е.М. Юдина, Е.Ю. Авиллова, С.А. Калитко, М.О. Юдин. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 119 с.

**Аннотация.** Длительное применение минеральных удобрений под сахарную свёклу и навоза в пару зерносвекловичного севооборота создавало условия для повышения урожайности зерна озимых культур относительно варианта без удобрений на 4,80–57,6 %, яровых – 12,2–65,5 %. Данный агроприём способствовал увеличению содержания белка в зерне ячменя на 0,64–1,84 %, овса – на 0,6–1,0 %. Наибольшая продуктивность зерновых культур в опыте обеспечивалась двукратным применением под сахарную свёклу  $N_{135}P_{135}K_{135}$  совместно с 25 т/га навоза в пару, либо  $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  т/га навоза в пару или  $N_{190}P_{190}K_{190}$  под сахарную свёклу на безнавозном фоне.

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, навоз, последствие, зерновые культуры, озимая пшеница, овёс, ячмень, урожайность, клейковина, белок.

**Summary.** Long-term application of mineral fertilizers for sugar beet and manure for fallow in a grain-beet crop rotation established conditions for grain yield increase of winter crops by 4.80–57.6 % and of the spring ones by 12.2–65.5 %, as compared to the variant without fertilizers. This agricultural method promoted an improvement of protein content in grain by 0.64–1.84 % for barley and by 0.6–1.0 % for oats. The most productivity of grain-crops in the experience was ensured by twice-repeated application of  $N_{135}P_{135}K_{135}$  for sugar beet together with 25 t/ha of manure in fallow or  $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  t/ha of manure in fallow or  $N_{190}P_{190}K_{190}$  for sugar beet and background without manure.

**Keywords:** mineral fertilizers, manure, aftereffect, grain-crops, winter wheat, oats, barley, yield, gluten, protein.