

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗВЕНА ЗЕРНОСВЕКЛОВИЧНОГО СЕВОБОРОТА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ (1936–2017 гг.)

© 2020 г. О. А. Минакова<sup>1,\*</sup>, Л. В. Александрова<sup>1</sup>, Т. Н. Подвигина<sup>1</sup>, В. М. Вилков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. В.Л. Мазлумова 396030 Воронежская обл., Рамонский р-н, пос. ВНИИСС, 86, Россия*

*\*E-mail: olalmin2@rambler.ru*

Поступила в редакцию 26.03.2019 г.

После доработки 15.04.2019 г.

Принята к публикации 10.10.2019 г.

В 9-польном зерносвекловичном севообороте с 2-мя полями сахарной свеклы, размещенной после предшественников черного пара и клевера, наибольшая продуктивность 1 га севооборотной площади в 9-й ротации отмечена для звена с паром – 3.67–5.37 т з.е./га (в клеверном звене – 3.48–4.83 т з.е/га). С течением времени продуктивность 1 га пашни в паровом звене увеличивалась, клеверного – снижалась, также наблюдали уменьшение эффективности применения удобрений в клеверном звене (увеличение урожайности корнеплодов относительно контроля в 4-й ротации составило 28.1–46.3, в 9-й – 19.0–38.8%), оставаясь практически неизменной в паровом звене (1-я ротация – 28.8–44.7, 9-я – 28.8–46.3%).

*Ключевые слова:* севооборот, черный пар, клевер, сахарная свекла, энергетическая эффективность, окупаемость, продуктивность.

**DOI:** 10.31857/S0002188120010081

### ВВЕДЕНИЕ

Питание сахарной свеклы обеспечивает внесение достаточного количества удобрений. Прямое действие применения удобрений на сахарной свекле в различных почвенно-климатических зонах РФ выражается в повышении урожайности корнеплодов на 21.9–60.4%, что подтверждено многочисленными исследованиями [1–4].

Одним из основных путей повышения продуктивности агроценозов является рациональное применение органических и минеральных удобрений [5]. В связи с ростом урожайности всех культур севооборота как при прямом действии, так и последствии удобрений с течением времени его продуктивность увеличивается [6–8], минеральная и органо-минеральная система способствует его повышению в 2 раза, органическая – в 1.7 раза [9].

В длинноротационном севообороте с 2-мя полями сахарной свеклы для этой культуры можно использовать разные предшественники и предшественники. Традиционным предшественником в ЦЧР является озимая пшеница, т.к. она рано освобождает поля, а ее предшественником может быть черный пар, одно- и многолетние травы, кукуруза на зеленый корм и другие рано

убираемые культуры. В настоящее время при широком распространении короткоротационных севооборотов хозяйству необходимо выбрать последовательность культур в севообороте с сахарной свеклой для получения наибольшего количества продукции с меньшими затратами.

Мнения ученых об эффективности разных предшественников разделяются. Ряд исследователей указывает на большую продуктивность клеверного звена [10, 11], ряд – парового [12, 13]. Также открытым остается вопрос об эффективности различных доз удобрений и их соотношений в разных звеньях севооборота [14, 15].

Таким образом, цель работы – изучение влияния длительного применения удобрений на урожайность сахарной свеклы в различных звеньях зерносвекловичного севооборота, а также его продуктивность с 1-й по 9-ю ротации в условиях лесостепи ЦЧР с целью рекомендации наиболее продуктивного чередования культур в длинно- и короткоротационных севооборотах лесостепи ЦЧР.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 1936–2017 гг. в стационарном опыте с внесением удобрений Всероссийского научно-исследовательского инсти-

**Таблица 1.** Урожайность сахарной свеклы в звене с черным паром (1936–2017 гг.)

| Ротации                      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1-я                          | 2-я  | 3-я  | 4-я  | 5-я  | 6-я  | 7-я  | 8-я  | 9-я  |
| Без удобрений                |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 23.9                         | 30.6 | 32.6 | 26.1 | 26.5 | 26.8 | 23.5 | 29.5 | 26.3 |
| N45P45K45 + навоз 25 т/га    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 26.0                         | 33.2 | 38.6 | 32.2 | 34.7 | 32.6 | 27.8 | 35.5 | 37.9 |
| N90P90K90 + навоз 25 т/га    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 26.6                         | 33.3 | 40.4 | 34.5 | 35.4 | 34.5 | 27.8 | 36.7 | 37.0 |
| N135P135K135 + навоз 25 т/га |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 26.8                         | 34.1 | 41.5 | 35.9 | 37.9 | 35.4 | 31.2 | 41.3 | 40.3 |
| N45P45K45 + навоз 50 т/га    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 24.9                         | 36.9 | 39.2 | 33.6 | 35.7 | 36.3 | 28.2 | 36.6 | 39.4 |

$HC_{P05} = 3.52$  т/га,  $S_x = 2.96\%$ .

тута сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова (ВНИИСС) (Рамонский р-н, Воронежская обл.). Стационарный опыт был заложен в 1936 г. и представляет собой 9-польный зерносвекловичный севооборот со следующим чередованием культур по полям: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень – однолетние травы – озимая пшеница – сахарная свекла – однолетние травы – овес.

Климат района исследований умеренно-континентальный с неустойчивым увлажнением. Почва стационарного опыта – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый.

В качестве минеральных удобрений использовали АФК (16:16:16), которую вносили под сахарную свеклу перед основной обработкой почвы. Полуперепревший навоз крупного рогатого скота (коровий), с содержанием 72.5% сухого вещества, 0.48% N, 0.23% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.63% K<sub>2</sub>O, полученный способом плотного хранения в течение 4 мес., вносили один раз за ротацию севооборота в черный пар.

Схема опыта состояла из 5-ти вариантов с различными дозами внесения минеральных удобрений и навоза: 1 – контроль без внесения удобрений, 2 – N45P45K45 + навоз 25 т/га, 3 – N90P90K90 + навоз 25 т/га, 4 – N135P135K135 + навоз 25 т/га, 5 – N45P45K45 + навоз 50 т/га. Посевная площадь делянки 162 м<sup>2</sup>, учетная – 10.8 м<sup>2</sup>.

Возделывали районированные сорта и гибриды сельскохозяйственных культур: сахарная свекла и горох – селекции ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова. В 9-й ротации возделывали сорт сахарной свеклы Рамонская 117, гибриды РМС-60, РМС-73, РМС-120, озимую пшеницу сортов Губернатор Дона, Скипетр, ячмень сорта Тюрингия, овес

сорт Лев, Золотой дождь, горох сортов АМЗК-99, Топаз, РИФ-12, клевер сорта Трубетчинский местный. Однолетние травы – горохоовсяная смесь.

Повторность опыта трехкратная. Размещение вариантов систематическое. Определение урожайности сахарной свеклы производили методом пробных площадок, энергетическую эффективность – по методике ВАСХНИЛ, продуктивность 1 га пашни – расчетным методом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Многолетними исследованиями в условиях стационарного опыта ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова установлено, что уровень урожайности корнеплодов сахарной свеклы в опыте составил в 1-й ротации 23.9–26.8 (табл. 1), во 2-й – 30.6–36.9, в 3-й – 32.6–41.5, в 4-й – 26.1–35.9, в 5-й – 26.5–37.9, в 6-й – 26.8–36.3, в 7-й – 23.5–31.2, в 8-й – 29.5–41.3, в 9-й – 26.3–40.3 т/га. С увеличением длительности применения удобрений отмечали повышение урожайности корнеплодов сахарной свеклы относительно неудобренного варианта, в 1-й ротации оно составило 4.18–12.1, во 2-й – 8.50–20.6, в 3-й – 18.4–27.3, в 4-й – 23.4–37.5, в 5-й – 30.9–43.0, в 6-й – 21.6–35.4, в 7-й – 18.3–32.8, в 8-й – 20.3–40.0%, в 9-й – 40.7–53.2%. Это свидетельствовало о том, что в первые 3 ротации (27 лет) прибавки урожайности были невысокими, в дальнейшем этот показатель в удобренных вариантах вышел на определенный уровень (27.8–37.9 т/га), в 8–9-й ротациях он был еще больше (35.5–41.3 т/га), возможно, вследствие потепления, наблюдаемого в последние 2 десятилетия.

Изменения урожайности корнеплодов и возделывания новых высокопродуктивных гибридов культуры сахарной свеклы (разница между максимальной и минимальной) в звене с черным паром в неудобренном варианте составили 11.1–38.7%, при внесении N45P45K45 + навоз 25 т/га – 6.92–48.5, N90P90K90 + навоз 25 т/га – 4.51–51.9, N135P135K135 + навоз 25 т/га – 16.4–54.8, N45P45K45 + навоз 50 т/га – 13.2–58.7%. Разница от средней урожайности в контроле составила 13.9–19.4%, в вариантах N45P45K45 + навоз 25 т/га – 14.1–21.7, N90P90K90 + навоз 25 т/га – 18.8–21.8, N135P135K135 + навоз 25 т/га – 15.3–25.5 и N45P45K45 + навоз 50 т/га – 14.3–27.8 соответственно.

С 1-й по 5-ю ротацию наиболее высокие прибавки урожайности были получены в вариантах N90P90K90 + навоз 25 т/га и N135P135K135 + навоз 25 т/га, с 6-й по 9-ю ротацию – в вариантах N135P135K135 + навоз 25 т/га и N45P45K45 + навоз 50 т/га, что свидетельствовало о том, что

не только высокие дозы минеральных удобрений способствовали повышению урожайности, но и внесение дозы навоза 50 т/га обеспечивало дополнительное поступление элементов питания, улучшение почвенных условий и, следовательно, создавало благоприятные условия для создания высоких урожаев. Наиболее высокий уровень урожайности 40.3–41.5 т/га корнеплодов был получен в 3-й, 8-й и 9-й ротациях при внесении N135P135K135 + навоз 25 т/га.

Средняя урожайность корнеплодов в звене с паром за 9 ротаций в неудобренном варианте составила 27.3 т/га, в вариантах с удобрениями – 33.2–36.0 т/га. Увеличение урожайности относительно контроля составило в вариантах N45P45K45 + навоз 25 т/га – 21.6, N90P90K90 + навоз 25 т/га – 24.5, N135P135K135 + навоз 25 т/га – 31.9, N45P45K45 + навоз 25 т/га – 26.3%.

Урожайность корнеплодов в звене с клевером в 4-й ротации изменялась от 25.0 до 29.9 т/га (табл. 2), в 5-й – 27.8–35.7, в 6-й – 30.8–39.3, в 7-й – 28.5–35.6, в 8-й – 25.1–36.8, в 9-й – 38.4–39.8 т/га. Увеличение урожайности корнеплодов сахарной свеклы относительно контроля в звене с клевером в 4-й ротации составило 15.2–19.6, в 5-й – 6.47–28.4, в 6-й – 16.9–27.6, в 7-й – 18.2–24.9, в 8-й – 18.2–46.6, в 9-й – 15.8–40.1%.

В варианте без удобрений в клеверном звене средняя урожайность корнеплодов сахарной свеклы составила 27.6, при внесении N45P45K45 + навоз 25 т/га – 33.7, N90P90K90 + навоз 25 т/га – 33.9, N135P135K135 + навоз 25 т/га – 36.1, N45P45K45 + навоз 50 т/га – 32.5 т/га, прибавка составила 22.1, 22.8, 30.8, 17.7% от контроля соответственно. Максимальная эффективность удобрений с 4-й по 9-ю ротации была отмечена при внесении N135P135K135 + навоз 25 т/га, в 4-й, 6-й и 8-й ротациях – также и в варианте N90P90K90 + навоз 25 т/га.

Изменения урожайности корнеплодов сахарной свеклы (разница между максимальной и минимальной) в звене с клевером в неудобренном варианте составили 11.2–23.2, N45P45K45 + навоз 25 т/га – 16.3–25.0, N90P90K90 + навоз 25 т/га – 16.5–30.7, N135P135K135 + навоз 25 т/га – 19.9–34.0, N45P45K45 + навоз 50 т/га – 15.6–26.8%, различия от среднего в контроле в вариантах составили 9.42–11.6, 6.82–14.5, 12.7–14.1, 10.2–17.7 и 8.31–12.0% соответственно. С увеличением дозы удобрения возрастали как разница между максимальной и минимальной урожайностью, так и различия от среднего, что свидетельствовало о большей зависимости урожайности удобренных вариантов от погодных условий, но эти показатели в звене с клевером были значительно меньше,

**Таблица 2.** Урожайность сахарной свеклы в звене с клевером (1955–2017 гг.)

| Ротации                      |      |      |      |      |      |
|------------------------------|------|------|------|------|------|
| 4-я                          | 5-я  | 6-я  | 7-я  | 8-я  | 9-я  |
| Без удобрений                |      |      |      |      |      |
| 25.0                         | 27.8 | 30.8 | 28.5 | 25.1 | 28.4 |
| N45P45K45 + навоз 25 т/га    |      |      |      |      |      |
| 28.8                         | 33.5 | 36.0 | 33.7 | 34.9 | 35.2 |
| N90P90K90 + навоз 25 т/га    |      |      |      |      |      |
| 29.9                         | 29.6 | 38.7 | 34.1 | 36.6 | 34.5 |
| N135P135K135 + навоз 25 т/га |      |      |      |      |      |
| 29.7                         | 35.7 | 39.3 | 35.6 | 36.8 | 39.8 |
| N45P45K45 + навоз 50 т/га    |      |      |      |      |      |
| 29.8                         | 33.0 | 36.4 | 28.7 | 34.5 | 32.9 |

$HCP_{05} = 2.57$  т/га,  $S_x = 2.38\%$ .

чем в звене с паром, т.е. урожайность сахарной свеклы в клеверном звене была более стабильной.

Средняя урожайность корнеплодов сахарной свеклы в обеих звеньях севооборота была сопоставима (27.3–36.0 т/га в паровом звене и 27.6–36.1 т/га в клеверном), кроме варианта N45P45K45 + навоз 50 т/га в звене с клевером, где было выращено в среднем на 2.0 т/га меньше. Но к 9-й ротации в паровом звене в удобренных вариантах было выращено на 7.25–19.7% корнеплодов больше, чем в клеверном, кроме варианта N135P135K135 + навоз 25 т/га, где разница в урожайности не была статистически значимой (40.3 и 39.8 т/га).

Коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) применения удобрений под сахарную свеклу в 1-й ротации был невысоким – 0.58–0.71 (табл. 3) в связи с небольшими прибавками урожайности корнеплодов. Его величина свидетельствовала об отсутствии эффекта получения дополнительной энергии в урожае по отношению к затраченной энергии. Разница в КЭЭ в вариантах в 1-й ротации составила 1.22–2.29 раза, в 9-й ротации – 1.49–1.87, в чистой прибавке энергии – 0.34–11.1 ГДж и 2.5–7.0 ГДж соответственно, что свидетельствовало о том, что со временем удобрения обеспечивали высокие прибавки вне зависимости от энергозатрат.

В 1-й ротации КЭЭ в паровом звене при повышении доз удобрений снижался на 0.13–0.40, в 9-й – 0.74–1.08. Оптимальными дозами в обеих ротациях были варианты N45P45K45 + навоз 25 т/га и N45P45K45 + навоз 50 т/га, т.к. обеспечивали наименьшие энергозатраты, а прибавки урожайности были значительными. От 1-й к 9-й ротации увеличение КЭЭ составило 2.14–3.90 раза, более

**Таблица 3.** Энергетическая эффективность применения удобрений под сахарную свеклу в звене с черным паром

| 1-я ротация                  |  | 9-я ротация                  |  |
|------------------------------|--|------------------------------|--|
| чистая прибавка энергии, ГДж | коэффициент энергетической эффективности | чистая прибавка энергии, ГДж | коэффициент энергетической эффективности |
|                              | N45P45K45 + навоз 25 т/га                |                              |  |
| -3.49                        | 0.58                                     | 9.2                          | 2.26                                     |
|                              | N90P90K90 + навоз 25 т/га                |                              |  |
| -10.8                        | 0.37                                     | 2.2                          | 1.18                                     |
|                              | N135P135K135 + навоз 25 т/га             |                              |  |
| -14.2                        | 0.31                                     | 3.7                          | 1.21                                     |
|                              | N45P45K45 + навоз 50 т/га                |                              |  |
| -3.06                        | 0.71                                     | 6.7                          | 1.52                                     |

**Таблица 4.** Энергетическая эффективность применения удобрений под сахарную свеклу в звене с клевером

| 4-я ротация                  |  | 9-я ротация                  |  |
|------------------------------|--|------------------------------|--|
| чистая прибавка энергии, ГДж | коэффициент энергетической эффективности | чистая прибавка энергии, ГДж | коэффициент энергетической эффективности |
|                              | N45P45K45 + навоз 25 т/га                |                              |  |
| -0.67                        | 0.92                                     | 6.9                          | 1.87                                     |
|                              | N90P90K90 + навоз 25 т/га                |                              |  |
| -4.65                        | 0.70                                     | -0.2                         | 0.98                                     |
|                              | N135P135K135 + навоз 25 т/га             |                              |  |
| -11.1                        | 0.46                                     | 11.5                         | 1.30                                     |
|                              | N45P45K45 + навоз 50 т/га                |                              |  |
| -0.85                        | 0.92                                     | -0.43                        | 0.95                                     |

всего в вариантах N45P45K45 + навоз 25 т/га, N135P135K135 + навоз 25 т/га. Энергия, накопленная в чистой прибавке урожайности от 1-й к 9-й ротации увеличивалась на 4.58–15.4 ГДж, более всего в вариантах N135P135K135 + навоз 25 т/га и N90P90K90 + навоз 25 т/га.

Коэффициент энергетической эффективности применения удобрений под сахарную свеклу в звене с клевером в 4-й ротации был невысоким – 0.46–0.92 (табл. 4), в связи с небольшими прибавками урожайности корнеплодов, его величина свидетельствовала об отсутствии эффекта получения дополнительной энергии в урожае по отношению к затраченной энергии.

Разница в КЭЭ в вариантах в 4-й ротации составила 1.31–2.00 раза, в 9-й ротации – 1.44–1.97 раза, в чистой прибавке энергии – 0.18–11.8 ГДж и 0.13–11.9 ГДж соответственно, что свидетельствовало о том, что со временем дозы N45P45K45 + навоз 25 т/га и N135P135K135 + навоз 25 т/га обеспечивали прибавки как чистой энергии, так и КЭЭ, а дозы N90P90K90 + навоз 25 т/га и

N45P45K45 + навоз 50 т/га не полностью компенсировали энергозатраты.

В 4-й ротации КЭЭ применения удобрений в звене с клевером при повышении доз снижался на 0.22–0.46, в 9-й – на 0.47–0.92, оптимальными дозами в 4-й ротации были N45P45K45 + навоз 25 т/га и N45P45K45 + навоз 50 т/га, в 9-й ротации – N45P45K45 + навоз 25 т/га и N135P135K135 + навоз 25 т/га, т.к. они обеспечили наименьшие энергозатраты, а прибавки урожайности были значительны. От 4-й к 9-й ротации увеличение КЭЭ составило 1.03–2.80 раза, более всего при внесении N45P45K45 + навоз 25 т/га и N135P135K135 + навоз 25 т/га. Энергия, накопленная в чистой прибавке урожая от 4-й к 9-й ротации увеличивалась на 0.42–22.6 ГДж, более всего в вариантах N135P135K135 + навоз 25 т/га и N45P45K45 + навоз 25 т/га.

Окупаемость удобрений в звене с черным паром в 1-й ротации составила 3.43–9.52 кг/га (табл. 5), в 9-й – 29.4–56.4 кг/кг, увеличение доз удобрений снижало этот показатель на 23.5–64.0 и 15.9–

47.8% соответственно. Окупаемость удобрений в звене с черным паром от 1-й к 9-й ротации увеличивалась в 4.31–13.8 раза, более всего в варианте N45P45K45 + навоз 50 т/га, менее всего – в варианте N90P90K90 + навоз 25 т/га.

Окупаемость удобрений в звене с клевером в 4-й ротации составила 10.4–25.3, в 9-й ротации – 30.0–45.3 кг/кг. Увеличение окупаемости 1 кг удобрений от 4-й к 9-й ротации составило 17.9% при внесении N45P45K45 + навоз 25 т/га, 24.5% – в варианте N90P90K90 + навоз 25 т/га, 143% – в варианте N135P135K135 + навоз 25 т/га, в варианте N45P45K45 + навоз 50 т/га снизилось на 6.25%. В 4-й ротации разница в окупаемости в вариантах удобрения составила 26.5–208%, наиболее эффективными были дозы N45P45K45 + навоз 50 т/га и N45P45K45 + навоз 25 т/га, в 9-й ротации – 55.8–123%, максимальной она была для тех же доз, что и в 4-й ротации, т.е. эффективность разных доз удобрений в 9-й ротации была близкой.

Окупаемость удобрений в 9-й ротации в звене с паром была более высокой (на 4.63–42.3%, более всего разница была отмечена в варианте N45P45K45 + навоз 50 т/га, менее всего – в варианте N135P135K135 + навоз 25 т/га), чем в звене с клевером вследствие более высоких прибавок урожайности, но низких в ранних ротациях. При этом при расчете данного показателя в паровом звене учитывали и элементы питания, поступающие на 2-й год с навозом.

Сопоставление чистой прибавки энергии выявило, что в звене с паром она была на 2.3–7.8 ГДж больше, чем в звене с клевером, наибольшая разница была в вариантах N45P45K45 + навоз 50 т/га и N135P135K135 + навоз 25 т/га. КЭЭ в звене с паром также был больше на 0.20–0.57, кроме варианта N135P135K135 + навоз 25 т/га, где он в обоих звеньях был сопоставимым. В процентах разница составила 20.5–60.0%, более всего в варианте N45P45K45 + навоз 50 т/га.

В паровом звене в 4-й ротации продуктивность 1 га пашни составила 3.58–5.18 т з.е., в звене с клевером – 3.92–5.08 з.е., что практически было одинаковым, увеличение продуктивности на 1.97–4.40% в звене с паром относительно клеверного звена было отмечено в вариантах N90P90K90 + навоз 25 т/га, N135P135K135 + навоз 25 т/га навоза и N45P45K45 + навоз 50 т/га, а в контроле и в варианте N45P45K45 + навоз 25 т/га оно было меньше на 8.67 и 1.28% соответственно. Удобрения повышали продуктивность парового звена в 4-й ротации на 28.8–44.7%, в 9-й – на 28.8–46.3%, лучшей дозой в обе ротации было N135P135K135 + навоз 25 т/га, т.е. с течением времени удобрения способствовали повышению продуктивности (табл. 6).

**Таблица 5.** Окупаемость 1 кг NPK прибавкой урожай сахарной свеклы (звено с паром), кг/кг

| Звено с черным паром |             | Звено с клевером             |             |
|----------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| 1-я ротация          | 9-я ротация | 4-я ротация                  | 9-я ротация |
|                      |             | N45P45K45 + навоз 25 т/га    |             |
| 9.52                 | 56.4        | 25.3                         | 50.4        |
|                      |             | N90P90K90 + навоз 25 т/га    |             |
| 7.28                 | 31.4        | 16.3                         | 22.6        |
|                      |             | N135P135K135 + навоз 25 т/га |             |
| 5.57                 | 29.4        | 10.4                         | 28.1        |
|                      |             | N45P45K45 + навоз 50 т/га    |             |
| 3.43                 | 47.4        | 32.0                         | 33.3        |

**Таблица 6.** Продуктивность звена севооборота в 1-й (4-й) и 9-й ротациях, т з.е./га

| Паровое звено |             | Клеверное звено              |             |
|---------------|-------------|------------------------------|-------------|
| 1-я ротация   | 9-я ротация | 4-я ротация                  | 9-я ротация |
|               |             | Без удобрений                |             |
| 3.58          | 3.67        | 3.92                         | 3.48        |
|               |             | N45P45K45 + навоз 25 т/га    |             |
| 4.61          | 4.86        | 4.67                         | 4.29        |
|               |             | N90P90K90 + навоз 25 т/га    |             |
| 4.98          | 4.73        | 4.77                         | 4.27        |
|               |             | N135P135K135 + навоз 25 т/га |             |
| 5.18          | 5.37        | 5.08                         | 4.83        |
|               |             | N45P45K45 + навоз 50 т/га    |             |
| 4.93          | 4.70        | 4.79                         | 4.14        |

В 9-й ротации в звене с паром продуктивность была равна 3.67–5.37 т з.е./га, в звене с клевером – 3.48–4.83, что было меньше на 5.18–11.9%. Удобрения повышали продуктивность звена с клевером в 4-й ротации на 28.1–46.3, в 9-й – на 19.0–38.8%, что свидетельствовало о снижении влияния удобрений на продуктивность 1 га пашни со временем. Максимальную продуктивность обеспечивало применение N135P135K135 + навоз 25 т/га.

Продуктивность 1 га севооборотной площади в 1-й ротации составила 3.68–3.82 т з.е./га (табл. 7), в 4-й – 3.77–5.12, в 9-й – 3.57–5.07 т з.е./га. Продуктивность севооборота достаточно сильно увеличивалась от 1-й к 4-й ротации (на 27.2–34.0%), кроме контроля, где показатель остался на уровне 1-й ротации. От 4-й к 9-й ротации в вариантах N90P90K90 + навоз 25 т/га и N135P135K135 + навоз 25 т/га изменения продуктивности были недостоверными, показатель остался примерно на уровне 4-й ротации, в контроле и при примене-

**Таблица 7.** Продуктивность севооборота (1-я, 4-я и 9-я ротации), т з.е./га

| Ротации                      |      |      |
|------------------------------|------|------|
| 1-я                          | 4-я  | 9-я  |
| Контроль без удобрений       |      |      |
| 3.68                         | 3.77 | 3.57 |
| N45P45K45 + навоз 25 т/га    |      |      |
| 3.64                         | 4.63 | 4.53 |
| N90P90K90 + навоз 25 т/га    |      |      |
| 3.75                         | 4.86 | 4.82 |
| N135P135K135 + навоз 25 т/га |      |      |
| 3.82                         | 5.12 | 5.07 |
| N45P45K45 + навоз 50 т/га    |      |      |
| 3.75                         | 4.84 | 3.95 |

нии N45P45K45 + навоз 50 т/га отмечено его снижение на 5.30 и 18.4% соответственно. Очевидно, питательные вещества, поступавшие с навозом, не поглощались культурами, а закреплялись в почве. В 1-й ротации применение удобрений вызвало тенденцию к увеличению продуктивности на 1.90–3.80% относительно контроля, в 4-й ротации она достоверно повысилась на 22.8–35.8%, в 9-й – на 10.6–42.0%. Этому более всего способствовало применение N135P135K135 + навоз 25 т/га, менее всего – N45P45K45 + навоз 50 т/га (в 9-й ротации) и N45P45K45 + навоз 25 т/га (в 4-й ротации).

## ВЫВОДЫ

1. Влияние удобрений повышало урожайность корнеплодов сахарной свеклы в среднем за 9 ротаций в звене с паром на 21.6–31.9% относительно контроля. Прибавки урожая сахарной свеклы увеличивались с течением времени, наибольшие были получены через 45 лет от начала опыта; более всего влияло применение N135P135K135 + навоз 25 т/га, во 2-й и 6-й ротациях – N45P45K45 + навоз 50 т/га.

2. В звене с клевером применение удобрений увеличивало среднюю урожайность корнеплодов сахарной свеклы несколько меньше, чем в звене с паром (на 17.7–30.8%). Максимальная урожайность отмечена к 6-й ротации (примерно через 54 года от начала применения удобрений), более всего влияло применение N135P135K135 + навоз 25 т/га навоза, в 4–5-й ротациях – N45P45K45 + навоз 25–50 т/га.

3. В 9-й ротации в звене с черным паром дозы N90P90K90 под сахарную свеклу на фоне навоза

25 т/га в пару и N45P45K45 + навоз 25–50 т/га способствовали получению большей урожайности корнеплодов, чем в звене с клевером (на 7.25–19.7%).

4. С увеличением дозы удобрения возрастали как разница между максимальной и минимальной урожайностью корнеплодов сахарной свеклы, так и различия от среднего в обоих звеньях севооборота, но в звене с клевером эти показатели были значительно меньше, чем в звене с паром, т.е. урожайность сахарной свеклы в клеверном звене была более стабильной.

5. В звене с паром от 1-й к 9-й ротации коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) возрастал в 2.14–3.90 раза, в звене с клевером – в 1.03–2.80 раза.

6. Коэффициент энергетической эффективности и чистая прибавка энергии в 9-й ротации в паровом звене севооборота были соответственно на 20.9–60.0% и на 2.3–7.8 ГДж больше, чем в клеверном.

7. В паровом звене отмечено повышение энергетической эффективности использования удобрений с течением времени: коэффициент энергетической эффективности увеличивался в 2.14–3.90 раза, чистая прибавка энергии – на 9.8–17.9 ГДж, в звене с клевером – в 1.03–2.83 и на 0.42–22.6 ГДж соответственно.

8. Окупаемость 1 кг удобрений в первых ротациях в звене с клевером была больше, в 9-й ротации – меньше, чем в звене с паром, увеличение доз удобрений снижало показатель в большей степени в клеверном звене в 4-й ротации, с течением времени различия в обоих звеньях сокращались.

9. В звене с клевером продуктивность 1 га пашни с течением времени снижалась, с паром – повышалась, отмечено снижение влияния удобрений в клеверном звене, в паровом – оставалось примерно на том же уровне. В 9-й ротации более высокий уровень продуктивности севооборота отмечен в звене с паром.

10. Наибольшее увеличение продуктивности севооборота происходило после 30–35 лет применения удобрений, в дальнейшем она оставалась стабильной (кроме варианта N45P45K45 + навоз 50 т/га, где отмечено ее снижение).

11. В короткоротационных севооборотах с 4-мя (5-ю) полями для получения максимальной продуктивности севооборота, в том числе и урожайности сахарной свеклы, рекомендуется следующее чередование культур: черный пар–озимая пшеница–сахарная свекла–ячмень или другие яровые зерновые (или кукуруза на силос).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жеряков Е.В. Отзывчивость сорта и гибридов сахарной свеклы на минеральные удобрения // Вестн. АлтайГАУ. 2012. № 11(97). С. 7–12.
2. Мамсиров Н.И. Роль минеральных удобрений в повышении продуктивности сахарной свеклы в Адыгее // Новые технологии. 2016. № 3. С. 125–132.
3. Нецадим Н.Н., Бершатская С.И., Гаркуша С.В., Квашин А.А., Деркача Ф.И. Влияние длительного 32-летнего применения удобрений на плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность сахарной свеклы // Политемат. сетевой электр. науч. журн. КубанГАУ. 2016. № 117. С. 1338–1353.
4. Столповский Ю.И., Ходунова Т.В. Изменение физико-химических показателей чернозема выщелоченного и урожайности сахарной свеклы при многолетнем применении удобрений и мелиорантов // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов. Мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 170-летию В.В. Докучаева. Воронеж: ВГАУ, 2016. С. 149–158.
5. Храмов И.Ф. Приемы рационального применения минеральных и органических удобрений на черноземных почвах Западной Сибири // Совершенствование организации и методологии агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями. Мат-лы Всерос. научн.-метод. конф. Географической сети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА, 2006. С. 88–91.
6. Волынкин В.И., Волынкина О.В. Последствие удобрений в севообороте // Совершенствование адаптивно-ландшафтных систем земледелия на южном Урале. Мат-лы координац. совета по разработке и внедрению адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Куртамыш, 2013. С. 120–129.
7. Лана В.В. Плодородие почв и использование в республике Беларусь // Плодородие. 2014. № 6. С. 19–20.
8. Мязин Н.Г., Кошелев Ю.А. Влияние комплексного агрохимического окультуривания на изменение агрохимических показателей чернозема выщелоченного и продуктивность севооборота // Инновационные технологии и технические средства для АПК. Мат-лы межрегион. научн.-производ. конф. молод. ученых. Воронеж, 2009. С. 150–157.
9. Мерзлая Г.Е., Еськов А.И., Тарасов С.И. Действие и последствие систем удобрения с использованием навоза // Плодородие. 2011. № 3 (60). С. 16–19.
10. Жеряков Е.В. Влияние предшествующей культуры и звена севооборота на засоренность посевов и показатели продуктивности сахарной свеклы // Пробл. совр. науки и образования. 2014. № 8 (26). С. 38–41.
11. Орлов А.Н., Ткачук О.А., Павликова Е.В. Эффективность звеньев полевого севооборота с чистыми и занятыми парами в лесостепи Среднего Поволжья // Плодородие. 2010. № 2. С. 44–45.
12. Дорожко Г.Р., Тивиков А.И. Продуктивность звеньев зернопропашного севооборота на выщелоченном черноземе в зависимости от способов основной обработки почвы // Совр. пробл. науки и образования. 2013. № 1. С. 426.
13. Полевщиков С.И. Экономическая эффективность возделывания сахарной свеклы в различных звеньях севооборота // Вестн. Тамбов. гос. техн. ун-та. 2005. Т. 11. № 3. С. 757–761.
14. Макух Я.П., Зацерковная Н.С. Влияние фонов минерального питания на продуктивность свекловичных посевов в условиях лесостепи Украины // Сахарная свекла. 2015. № 2. С. 34–38.
15. Рыбалкин Б.А. Эффективность обработки почвы и удобрений в севообороте на черноземе обыкновенном слабосмытом юго-востока ЦЧЗ: Автореф. ... канд. с.-х. наук. Каменная Степь, 2001. 23 с.

## Productivity of Different Grain-Beet Crop Rotation Types when Applying Fertilizers for a Long Time (1936–2017)

O. A. Minakova<sup>a,#</sup>, L. V. Alexandrova<sup>a</sup>, T. N. Podvigina<sup>a</sup>, and V. M. Vilkov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar pos. VNIISS 86, Voronezh region, Ramonsky district 396030, Russia

<sup>#</sup>E-mail: olalmin2@rambler.ru

The best productivity per 1 ha in the 9th rotation was noted for the grain-beet crop rotation with fallow (3.67–5.37 ton of grain units per 1 ha); in the crop rotation with clover, it was somewhat less (3.48–4.83 ton of grain units per 1 ha). In time, productivity of 1 hectare of arable land increased in the crop rotation with fallow and decreased in the crop rotation with clover. Also, reduction of fertilizer application efficiency in the crop rotation with clover was noted (as compared to the control, beet root yield increase was 28.1–46.3% in the 4th rotation and 19.0–38.8% in the 9th one). In the crop rotation with fallow, beet root yield remained practically unchanged (as compared to the control, beet root yield was 28.8–44.7% in the 1st rotation and 28.8–46.3% in the 9th one).

*Key words:* crop rotation, black fallow, clover, sugar beet, energy efficiency, payback, productivity.