

Влияние краткосрочного и длительного применения удобрений на продуктивность свекловичного агроценоза в ЦЧР

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

Л.В. АЛЕКСАНДРОВА, научн. сотрудник

Т.Н. ПОДВИГИНА, мл. научн. сотрудник

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

Введение

Свекловодство по объёмам производства занимает значительное место в растениеводстве Российской Федерации. Так, за период с 2010 по 2019 г. площадь посевов культуры составила 1102 тыс. га, урожайность – 40,0 т/га, валовой сбор – 42 654 тыс. т [1, 2]. Свеклосахарный подкомплекс АПК России играет большую роль в обеспечении населения продовольствием, а предприятий перерабатывающей промышленности – сырьём [9]. С 2017 г. в структуре производства доля отечественного свекловичного сахара составляет 100 % [9].

Урожайность и качество сельскохозяйственных культур – итог физиолого-биохимических процессов, протекающих в растениях, направленность которых определяется в том числе условиями внешней среды [14]. Одним из ключевых моментов в жизни растения является обеспеченность элементами питания, которая регулируется путём внесения удобрений [6].

В Российской Федерации сахарная свёкла входит в число культур, наиболее полно обеспеченных удобрениями. Так, в 2019 г. по сравнению с 2000-м наблюдается динамика увеличения объёма вносимых под культуру минеральных удобрений в 2,6 раза, он составил 308 кг д. в. NPK, хотя уровень применения всё равно был ниже, чем в 1990 г. (431 кг д. в.) [2]. При этом уровень применения удобрений под зерновые и зернобобовые был значительно ниже (в 2018 г. вносились 60 кг д. в., в 2000 г. – 20 кг д. в.) [19].

Действие удобрений глубоко и разносторонне изучается в Географической сети опытов, которая является уникальным экспериментальным полигоном по исследованию воздействия агрохимических средств на плодородие почв, продуктивность растений и качество сельскохозяйственной продукции, экологические последствия их использования [18]. Пропашные культуры, в том числе сахарная свёкла, хорошо реагируют на внесение удобрений в различных поч-

венно-климатических условиях [4, 5, 8, 12, 16]. Так, в исследованиях С.И. Гютюнова с соавторами (2018) удобрения увеличивали урожайность сахарной свёклы в 3,8 раза, озимой пшеницы – в 2,1, ячменя – в 2,5 раза [13]. Под действием удобрений сахарная свёкла подвержена значительному изменению процентного содержания сухого вещества в единице продукции [7], поэтому для комплексной оценки эффективности их применения необходимо определять не только урожайность культуры, но и сбор сухого вещества с 1 га, а также окупаемость 1 кг NPK урожаем корнеплодов, что является агрономической эффективностью удобрений [15]. Расчёт энергетической эффективности позволяет комплексно и наиболее точно оценить действие удобрений вне зависимости от цен на удобрения и продукцию.

Согласно международной классификации длительными считаются опыты продолжительностью не менее 20 лет. Стационары продолжительностью более 50 лет называют сверхдлительными, или классическими [3].

Цель исследования – установить изменения показателей продуктивности основной и побочной продукции сахарной свёклы при краткосрочном и длительном применении удобрений в стационарном опыте в ЦЧР.

Задачи исследования

1. Изучить урожайность корнеплодов и ботвы в условиях систематического внесения удобрений с 1-й по 10-ю ротации зерносвекловичного севооборота.

2. Установить влияние уровня удобренности на долю основной и побочной продукции в урожае сахарной свёклы и соотношения ботвы и корнеплодов.

3. Выявить изменение сбора сухого вещества урожаем в 1-й и 10-й ротациях.

4. Произвести оценку окупаемости 1 кг NPK урожаем корнеплодов и сухим веществом, а также энерге-

тической эффективности при краткосрочном и длительном применении удобрений.

Наш стационар относится к сверхдлительным стационарным опытам, он существует уже 84 года.

Опыт был заложен в 1936 г. в 9-польном зернопропашном севообороте во Всероссийском научно-исследовательском институте сахарной свёклы и сахара им. А.Л. Мазлумова (Рамонский р-н Воронежской обл.). Он продолжается по сегодняшний день. Общее время проведения исследований – 84 года. Чередование культур в севообороте: чёрный пар – озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень с подсевом клевера – клевер 1-го года пользования – озимая пшеница – сахарная свёкла – травосмесь горох + овёс – овёс на зерно. Климат района исследований умеренно-континентальный с неустойчивым увлажнением (среднеголетний ГТК колеблется от 0,9 до 1,3).

Почва стационарного опыта – чернозём выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое почвы по вариантам опыта составляло:

– в 1-й ротации: 5,33–6,00 %, N-NO₃ – 14,9–20,1 мг/кг, P₂O₅ – 89–127 мг/кг, K₂O – 113–148 мг/кг;

– в 10-й ротации: 4,83–5,61 %, 10,4–21,6, 106–188 и 108–152 мг/кг соответственно.

Изучалось пять вариантов опыта с различными дозами внесения минеральных и органических удобрений. В качестве минеральных удобрений использовалась азофоска (16:16:16), в первые ротации – смесь простых удобрений, которая вносилась под сахарную свёклу перед основной обработкой почвы. Полуразложившийся навоз КРС вносили один раз за ротацию

севооборота в пару. Изучалось четыре варианта внесения удобрений: N₄₅P₄₅K₄₅ + 25 т/га навоза, N₉₀P₉₀K₉₀ + 25 т/га навоза, N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅ + 25 т/га навоза, N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза, а также вариант без удобрений – контроль. 1-я ротация проходила в 1936–1944 гг., 10-я – в 2018–2020 гг.

Результаты и их обсуждение

В результате исследований установлено, что урожайность корнеплодов в 1-й ротации составила 23,9–26,8 т/га (рис. 1); во 2-й – 30,6–36,9; в 3-й – 32,6–41,5; 4-й – 26,1–35,9; 5-й – 26,5–35,7; 6-й – 26,8–36,3; 7-й – 23,5–31,2; 8-й – 29,5–41,3; 9-й – 26,3–40,3; 10-й – 34,0–44,2 т/га.

В 1-й ротации действие удобрений на урожайность корнеплодов было выражено слабо, повышение относительно контроля отмечено на уровне 8,79–12,1 % (см. рис. 1), во 2-й ротации – 8,51–21; в 3-й – 18,4–27,3; 4-й – 23,4–37,5; 5-й – 30,9–43,0 %, в дальнейшем были отмечены колебания показателя, связанные с погодными условиями, но рост относительно контроля замедлился. В 10-й ротации данное изменение составило 17,3–30,0 %.

Максимальный урожай корнеплодов в 1-й ротации обеспечивало применение N₁₃₅P₁₈₀K₁₃₅ + 25 т/га навоза, в 10-й ротации – N₉₀P₉₀K₉₀ + 25 т/га навоза. По вариантам удобрений от 1-й к 10-й ротации наблюдалось повышение урожайности корнеплодов на 53,5–73,1 % (в контроле – на 42,2 %). Увеличение урожая в контроле объяснялось возделыванием более продуктивных, чем в 1930-х гг., гибридов культуры. Прямое действие удобрений на урожайность корнеплодов вследствие повышения уровня эффективного пло-

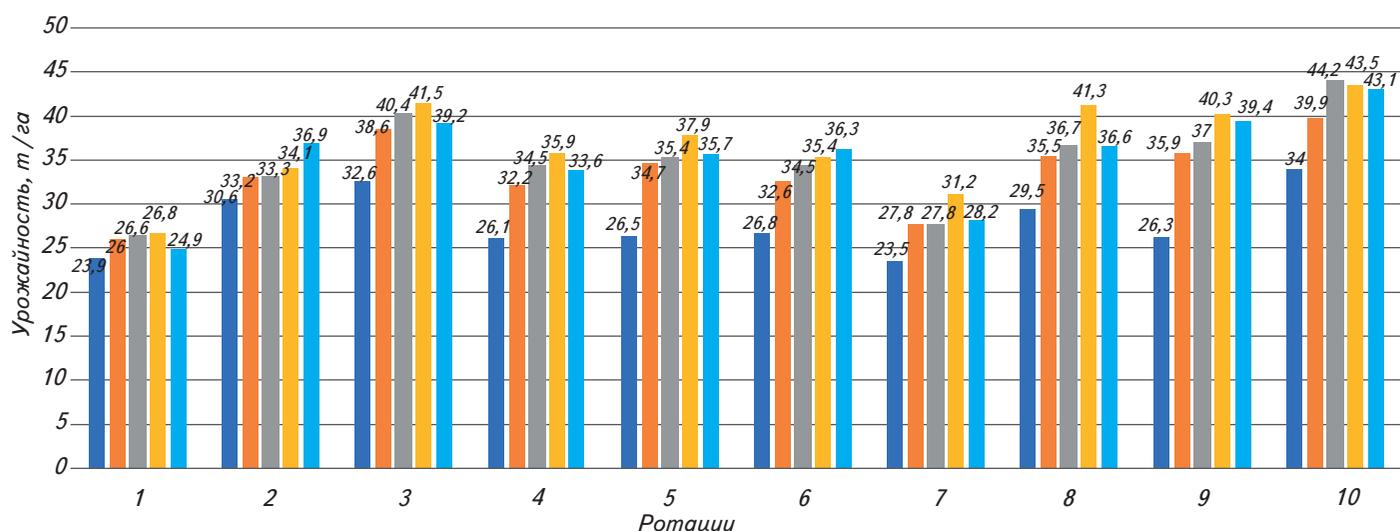


Рис. 1. Урожайность корнеплодов сахарной свёклы в стационарном опыте, 1–10-я ротации: ■ – без удобрений; ■ – N₄₅P₄₅K₄₅ + 25 т/га навоза; ■ – N₉₀P₉₀K₉₀ + 25 т/га навоза; ■ – N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅ + 25 т/га навоза; ■ – N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза

родия почвы опыта к 10-й ротации составило 11,3–30,9 %. Более всего оно повышалось при $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза.

Урожайность ботвы в 1-й ротации составила 20,9–25,1 т/га (рис. 2), в 5-й – 12,7–25,2; 6-й – 17,2–29,5; 7-й – 9,97–18,0; 8-й – 11,5–25,6; 9-й – 12,1–23,9; 10-й – 8,34–15,9 т/га. Относительно контроля в 1-й ротации она повышалась на 13,4–20,1 %, 5-й – 56,7–98,4, 6-й – 36,0–71,5 %, более всего повышение было отмечено в 8-й ротации – на 70,4–122,6 %, а к 10-й ротации оно составило 33,1–90,6 %. От 1-й к 10-й ротации отмечено снижение урожайности ботвы на 36,6–53,2 % (в контроле – на 60,1 %), что объясняется возделыванием современных гибридов с меньшей массой ботвы. С учётом значительного снижения в контроле в вариантах с удобрениями оно было на 6,90–23,5 % менее выраженным вследствие некоторого увеличения массы ботвы под действием данного фактора. Соотношение основной и побочной продукции в 1-й ротации было велико: 0,874–0,988 (табл. 1), удобрения изменяли показатель относительно контроля на 0,037–0,114. К 10-й ротации оно сократилось в 2,6–3,6 раза (более всего в контроле, менее всего – в варианте $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза), но разница между вариантами осталась практически прежней: 0,033–0,120. Лучшим оно было при минимальной дозе удобрений. Процент корнеплодов в урожае изменялся от 50,3–53,3 % в 1-й ротации до 73,2–80,4 % в 10-й ротации, разница по вариантам – 1,2–3,0 и 1,5–7,2 % соответственно.

Сбор сухого вещества урожаем сахарной свёклы (ботвой и корнеплодами) в 1-й ротации составил 9,20–10,0 т/га (рис. 3), в 10-й – 9,91–14,6 т/га, относительно контроля он возрастал на 7,83–8,70 %

и 28,1–47,3 % соответственно. Наиболее значительным в 1-й ротации данный показатель был при действии систем $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза и $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза, в 10-й ротации – в этих же вариантах и при $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза. От 1-й к 10-й ротации данный показатель в вариантах с удобрениями возрастал на 28,0–46,0 % (в контроле – на 7,72 %), повышение уровня удобрения способствовало увеличению разницы. Росту показателя в контроле способствовало возделывание в 10-й ротации более продуктивных гибридов, за вычетом данного увели-

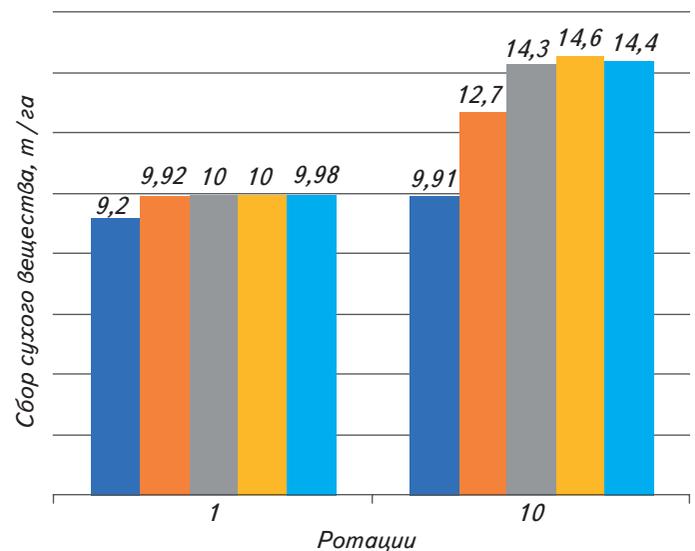


Рис. 3. Сбор сухого вещества урожаем сахарной свёклы в 1-й и 10-й ротациях севооборота, т/га: ■ – без удобрений; ■ – $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза; ■ – $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза; ■ – $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза; ■ – $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза

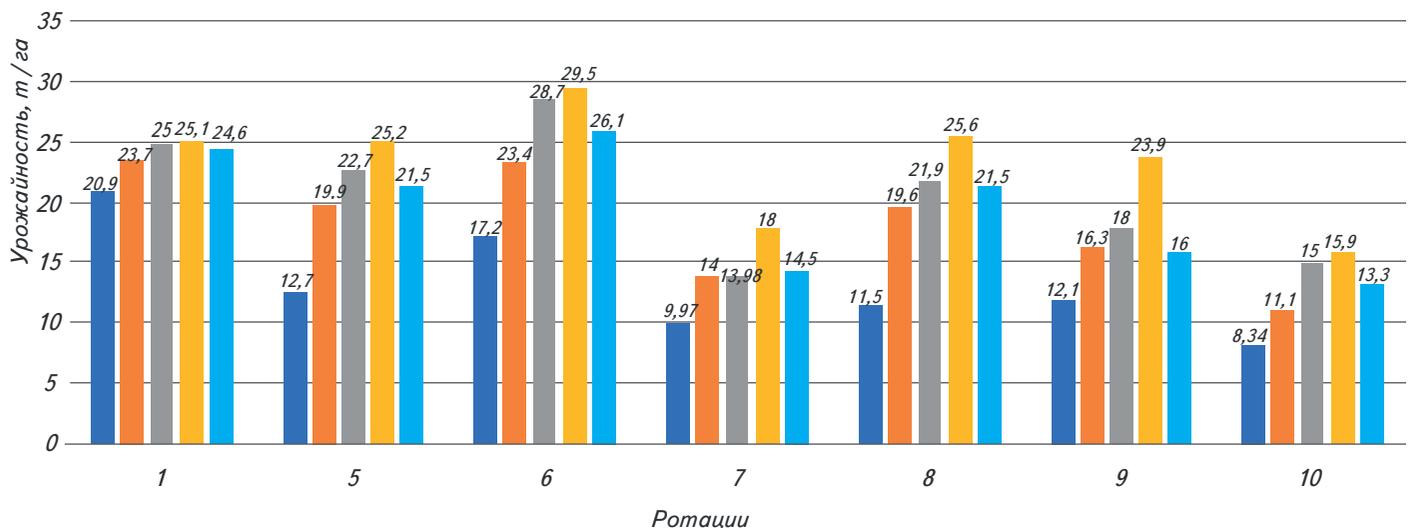


Рис. 2. Урожайность ботвы сахарной свёклы в 1-й, 5–10-й ротациях стационарного опыта: ■ – без удобрений; ■ – $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза; ■ – $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза; ■ – $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза; ■ – $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза

Таблица 1. Соотношение «ботва : корнеплоды» в стационарном опыте и доля основной продукции в общей массе урожая, 1-я и 10-я ротации севооборота

Вариант	1-я ротация		10-я ротация	
	% корнеплодов	Соотношение «ботва : корнеплоды»	% корнеплодов	Соотношение «ботва : корнеплоды»
Контроль	53,3	0,87	80,4	0,25
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 25 т/га навоза	52,3	0,91	78,2	0,28
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + 25 т/га навоза	51,5	0,94	74,7	0,34
N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅ + 25 т/га навоза	51,6	0,94	73,2	0,37
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 50 т/га навоза	50,3	0,99	76,4	0,31

Таблица 2. Окупаемость д. в. удобрений урожаем сахарной свёклы, кг/кг, и коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ)

Вариант	1-я ротация			10-я ротация		
	Корнеплодами	Сухим веществом общей массы урожая (ботва + корнеплоды)	КЭЭ	Корнеплодами	Сухим веществом общей массы урожая (ботва + корнеплоды)	КЭЭ
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 25 т/га навоза	9,52	3,26	0,71	28,7	13,0	2,05
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + 25 т/га навоза	7,28	1,94	0,63	29,9	12,9	2,52
N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅ + 25 т/га навоза	5,57	1,54	0,40	19,9	9,86	2,87
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + 50 т/га навоза	3,43	2,68	0,26	32,9	16,3	2,44

чения его повышение под действием удобрений составило 20,3–38,3 %.

Окупаемость 1 кг NPK урожаем корнеплодов составила в 1-й ротации 3,43–9,52 кг/кг (табл. 2), в 10-й – 19,9–32,9 кг/кг, сухим веществом урожая – 1,54–3,26 и 8,86–16,3 кг/кг соответственно. Разница в окупаемости 1 кг NPK удобрений в 1-й ротации составила 1,62–2,77 раза, в 10-й – в 1,04–1,65 раза, от 1-й к 10-й ротации показатель возрос в 3,01–9,60 раза, по сбору сухого вещества – в 4,14–6,65 раза.

Энергетическая эффективность применения удобрений в 1-й ротации была невысокой, КЭЭ составил 0,26–0,71, что свидетельствует об отсутствии энергетической окупаемости удобрений прибавкой урожая корнеплодов. К 10-й ротации КЭЭ увеличился в 2,88–9,38 раза и составил 2,05–2,87. В 1-й ротации доза N₄₅P₄₅K₄₅ + 25 т/га навоза имела наиболее высокую энергетическую эффективность, в 10-й – дозы N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза и N₉₀P₉₀K₉₀ + 25 т/га навоза. Наиболее значительное повышение КЭЭ во времени произошло при действии N₄₅P₄₅K₄₅ + 50 т/га навоза.

Заключение

Как краткосрочное, так и длительное применение удобрений обеспечило повышение продуктивности сахарной свёклы. Увеличение длительности их внесения способствовало росту эффективности данного агроприёма.

Действие удобрений на урожайность корнеплодов вследствие повышения уровня эффективного

плодородия почвы опыта к 10-й ротации составило 11,3–30,9 %, на сбор сухого вещества корнеплодами и ботвой – на 20,3–38,3 %.

С увеличением продолжительности внесения удобрений отмечалось повышение на 45,5–50,8 % доли основной продукции в общей массе урожая и сокращение урожайности ботвы на 36,6–53,2 %.

Окупаемость 1 кг NPK урожаем корнеплодов от 1-й к 10-й ротации возросла в 3,01–9,60 раза, сухим веществом урожая – в 4,14–6,65 раза.

При краткосрочном применении удобрений отмечалось отсутствие энергетической окупаемости удобрений прибавкой урожая корнеплодов, в 10-й ротации удобрения окупали их применение с КЭЭ, равном 2,05–2,87.

Увеличение длительности применения удобрений способствовало повышению разницы урожайности и сбора сухого вещества между вариантами опыта, но снижению показателей энергетической оценки и окупаемости.

Предложение производству

Как краткосрочно, так и длительно в севооборотах с сахарной свёклой в лесостепи ЦЧР рекомендуется применение N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅ минеральных удобрений под сахарную свёклу совместно с 25 т/га навоза в пару, а также N₉₀P₉₀K₉₀ под сахарную свёклу совместно с 25 т/га навоза в пару, что способно обеспечить высокую продуктивность свекловичных агроценозов.

Список литературы

1. *Апасов, И.В.* Техническая оснащённость производства сахарной свёклы в России / И.В. Апасов, М.А. Смирнов // Сахарная свёкла. – 2020. – № 6. – С. 2–7.
2. *Апасов, И.В.* Производственно-техническая база свекловодства России / И.В. Апасов, М.А. Смирнов // Сахар. – 2020. – № 10. – С. 26–31.
3. *Вострухин, Н.П.* Длительные стационарные полевые опыты – неотъемлемая составляющая фундаментально-прикладных исследований в земледелии / Н.П. Вострухин // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2014. – № 4. – С. 38–45.
4. *Кравцов, А.М.* Продуктивность гибридов отечественной и зарубежной селекции сахарной свёклы в зависимости от агротехнических факторов / А.М. Кравцов, Т.Я. Бровкина, И.А. Павелко // Сб. статей по матер. Всероссийской научно-практич. конф., посв. 100-летию кафедры почвоведения Кубанского гос. аграрн. ун-та им. И.Т. Трубилина. – 2019. – С. 32–43.
5. *Марчук, И.У.* Влияние длительного применения удобрений в зерново-свекловичном севообороте зоны лесостепи Украины на продуктивность свёклы сахарной / И.У. Марчук Л.А. Ященко // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 4. – С. 20–23.
6. *Минеев, В.Г.* Агрохимия : Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : МГУ; Колос, 2004. – 720 с.
7. *Пигорев, И.Я.* Удобрения и биохимические свойства корнеплодов сахарной свёклы / И.Я. Пигорев, А.А. Тарасов, О.В. Никитина // Аграрная наука – сельскому хозяйству. – АГАУ, 2017. – С. 238–239.
8. *Путилина, Л.Н.* Оценка влияния агротехнических факторов на продуктивность гибридов сахарной свёклы отечественной и зарубежной селекции / Л.Н. Путилина, А.В. Курындин // Сахарная свёкла. – 2018. – № 6. – С. 18–20.
9. *Смирнов, М.А.* Производство сахарной свёклы в России: состояние, проблемы, направления развития / М.А. Смирнов // Сахарная свёкла. – 2018. – № 7. – С. 2–7.
10. *Сычёв, В.Г.* Географическая сеть опытов с удобрениями (состояние, перспективы и современные вызовы) / В.Г. Сычёв, О.В. Рухович, М.В. Беличенко // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 гг. Матер. Всероссийского координационного совещания научных учреждений – участников Географической сети опытов с удобрениями. – М. : ВНИИА, 2018. С. 4–11.
11. *Сычёв, В.Г.* Российский рынок минеральных удобрений: проблемы и возможности решения / В.Г. Сычёв, А.И. Алтухов, Л.Б. Винничек // Плодородие почв России: состояние и возможности. Сб. статей (к 100-летию со дня рождения Т.Н. Кулаковской) / Под ред. В.Г. Сычёва. – М., 2019. – С. 8–21.
12. Условия формирования урожайности сахарной свёклы в условиях ЦЧР / С.И. Тютюнов, А.Н. Воронин, В.В. Никитин, В.Д. Соловиченко // Сахарная свёкла. – 2015. – № 6. – С. 9–14.
13. *Тютюнов, С.И.* Оценка эффективности применения удобрений и средств защиты растений в зернопаропропашном севообороте / С.И. Тютюнов, П.И. Солнцев, Н.К. Шаповалов // Сахарная свёкла. – 2018. – № 10. – С. 10–14.
14. *Шеуджен, А.Х.* Агрохимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. – Майкоп : Полиграф-Юг, 2013. – 569 с.
15. Эффективность применения удобрений [Электронный ресурс] // HELPICS.ORG. URL : <https://helpiks.org/6-35694.html> (дата обращения 07.02.21)
16. *Ярцев, М.В.* Продуктивность сахарной свёклы в зависимости от вносимых удобрений / М.В. Ярцев, Г.Г. Морковкин // Аграрная наука – сельскому хозяйству. Сб. ст. в 3 кн. – ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет». – 2016. – С. 288–290.

Аннотация. Увеличение длительности применения удобрений способствовало повышению продуктивности свекловичного агроценоза в условиях лесостепи ЦЧР. Улучшение эффективного плодородия почвы опыта от 1-й к 10-й ротации вследствие действия удобрений обеспечивало рост урожайности корнеплодов на 11,3–30,9 %, сбора сухого вещества корнеплодами и ботвой – на 20,3–38,3 %, доли корнеплодов в урожае культуры – на 45,5–50,8 %, окупаемости 1 кг NPK урожаем корнеплодов – в 3,01–9,60 раза, окупаемости 1 кг NPK сухим веществом урожая – в 4,14–6,65 раза, коэффициента энергетической эффективности – в 2,88–9,38 раза, но снижению урожайности ботвы на 36,6–53,2 %.

Ключевые слова: сахарная свёкла, удобрения, корнеплоды, ботва, сбор сухого вещества, коэффициент энергетической эффективности.

Summary. Increase of fertilizer application time promoted beet agrocenosis productivity increase under conditions of the Central Black-Earth Region forest-steppe. Improvement of the experiment soil efficient fertility from 1st to 10th rotation as a result of fertilizers' effect ensured gain in beet root yield by 11.3–30.9 %, dry matter yield in beer roots and tops by 20.3–38.3 %, present of beer roots in the crop yield by 45.5–50.8 %. Also, there were 3.01–9.60-fold increase of NPK return per 1 kg as for beet root yield, and 4.14–6.65-fold one as for dry matter yield. Coefficient of energy efficiency became 2.88–9.38 times greater, but beet tops yield reduced by 36.6–53.2 %.

Keywords: sugar beet, fertilizers, beet roots, beet tops, dry matter yield, coefficient of energy efficiency.