

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ В.Я ГОРИНА»

На правах рукописи

Ефимова Людмила Александровна

**ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ
ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО И ПРОДУКТИВНОСТИ
САХАРНОЙ СВЁКЛЫ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЦЧР**

Специальность 06.01.04 – агрохимия

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени кандидат
сельскохозяйственных наук**

**Научный руководитель –
доктор сельскохозяйственных наук, -
Лицуков С.Д.**

Брянск 2018

Работа выполнена на кафедре земледелия, агрохимии и экологии ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» на базе стационарного полевого опыта лаборатории плодородия почв и мониторинга ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» в 2012-2015 гг.

Научный руководитель: **Лицуков Сергей Дмитриевич**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, агрохимии и экологии ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»

Официальные оппоненты: **Долгополова Наталья Валерьевна**
Доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории севооборотов и защиты растений ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»

Исламгулов Дамир Рафаэлович
Кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой почвоведения, ботаники и селекции растений ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»

Защита состоится «01» марта 2019 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д. 220.005.01 при ФГБОУ ВО Брянский ГАУ по адресу: 243365, Брянская область, Выгоничский район, ул. Советская 2а, корпус 4, конференц-зал. E-mail: uchsovnet@bgsha.com. Тел. Факс: +7(48341)24-7-21

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Брянский ГАУ и на сайте организации по адресу <http://www.bgsha.com>.

Автореферат разослан «__» _____ 2019 и размещён на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации <http://vak.ed.gov.ru>.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор с.-х. наук

Дьяченко Владимир Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Производство сахара в мире и, в частности, в России неуклонно растет. Этот продукт является стратегическим, потому что изменения конъюнктуры на мировом рынке сахара влияют как на внешнюю, так и на внутреннюю политику страны.

Увеличение продуктивности и качества корнеплодов сахарной свёклы главным образом зависит от применения минеральных и органических удобрений. Однако систему питания сахарной свёклы нужно разрабатывать с учетом почвенных показателей плодородия, т.к. важнейшим условием рационального, экологически безопасного использования минеральных удобрений является интегрированное применение с биологическими факторами повышения плодородия почв, т.е. с органическими удобрениями.

Одним из источников загрязнения чернозема типичного тяжелыми металлами может являться длительное внесение минеральных и органических удобрений. Их влияние обусловлено не только наличием металлов в составе используемых удобрений, но и их влиянием на развитие почвенных процессов. Внесение удобрений приводит к различным взаимодействиям между химическими элементами в почве, при этом необходимые элементы для роста и развития растений переходят в труднодоступные формы, что усиливает мобилизацию тяжелых металлов в почве и их поглощение растениями.

Влияние удобрений на рост и развитие растений, а также на величину и качество урожая сельскохозяйственных культур детально изучено на протяжении многих десятков лет, однако изучение их влияния на содержание тяжелых металлов в почве и растениях недостаточно и является противоречивым. В связи с этим возникает необходимость детального изучения мобилизации тяжелых металлов в агроэкосистеме с интенсивным и длительным действием удобрений.

Цели и задачи исследований Целью исследований являлось изучение влияния применения удобрений на агроэкологическое состояние почвы, урожайность и качество корнеплодов сахарной свёклы.

В задачи исследований входило:

1. Изучить влияние длительного внесения минеральных и органических удобрений на изменение основных агрохимических показателей плодородия чернозема типичного.
2. Определить содержание валовых и подвижных форм кадмия в почве и его коэффициент подвижности.
3. Дать агрохимическое и экологическое обоснование применения минеральных и органических удобрений под сахарную свёклу.
4. Установить влияние минеральных и органических удобрений на накопление кадмия в сахарной свёкле.
5. Определить экономическую и энергетическую эффективность применения минеральных и органических удобрений под сахарную свёклу.

Научная новизна. Впервые на территории Юго-западной части Центрально-Черноземного региона дана сравнительная оценка действия различных доз минеральных и органических удобрений на накопление кадмия в почве, на урожайность и качество корнеплодов сахарной свёклы, а также на поступление кадмия в корнеплоды и ботву сахарной свёклы.

Установлено влияние минеральных и органических удобрений на основные агрохимические свойства почвы, урожайность и качество корнеплодов сахарной свёклы.

Определена зависимость поступления кадмия в корнеплоды и ботву сахарной свёклы при внесении минеральных и органических удобрений.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты проведенных исследований позволяют прогнозировать агрохимическое состояние чернозема типичного и могут быть использованы для разработки рекомендаций по воспроизводству плодородия

почв. Рассчитан вынос питательных элементов урожаем сахарной свёклы с учетом побочной продукции, что может быть использовано в практике при расчете доз удобрений.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Оценка изменения агрохимических показателей плодородия почвы при различных дозах минеральных и органических удобрений.
2. Уровень содержания валовых и подвижных форм кадмия в почве;
3. Продуктивность и качество корнеплодов сахарной свёклы при внесении различных доз минеральных и органических удобрений.
4. Анализ поступления кадмия в основную и побочную продукцию сахарной свёклы.
5. Экономическая и энергетическая оценка эффективности удобрений.

Апробация материалов исследований. Результаты проведенных исследований докладывались на международных научно-практических конференциях разного уровня (п. Майский, Белгородской области, 2013 – 2015 гг.), всероссийской научно-практической конференции «Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия» Белгородского научно-исследовательского института сельского хозяйства – 2015г., всероссийская научно-практическая конференция ГНУ ВНИИЗ и ЗПЭ РАСХН – Курск, 2013г.

Публикации результатов исследований. По итогам работы было опубликовано 8 статей из них 3 – в изданиях рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

Личный вклад автора. Все полевые работы и аналитические исследования были проделаны при непосредственном участии автора. Анализ и статистическая обработка экспериментальных данных, а также написание текста диссертации с выводами и предложениями производству, выполнены лично автором.

Структура и объем работы. Диссертационная работа написана на 157 страницах компьютерного текста. Состоит из 5 глав, выводов, рекомендаций производству и перспектив дальнейшей разработки темы, а также списка литературы, который включает 160 источников, из них 10 иностранных и 5 приложений. Работа содержит 20 таблиц и 13 рисунков.

Благодарности. Автор выражает огромную признательность научному руководителю, доктору сельскохозяйственных наук С.Д. Лицукову, а также сотрудникам кафедры земледелия, агрохимии и экологии за всестороннюю помощь в проведении диссертационного исследования и консультации при работе над диссертацией. Глубокую благодарность за предоставленную возможность в проведении полевых и лабораторных исследований, автор выражает директору ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» д.с.-х.н. С.И. Тютюнову и заведующему лабораторией плодородия почв и мониторинга д.с.-х.н. В.Д. Соловиченко.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В главе представлены материалы отечественной литературы по изучению влияния длительного применения удобрений на плодородие чернозема типичного, урожайность и качество сахарной свёклы и трансформацию кадмия в почве и растениях.

В первом разделе аналитического обзора литературы рассмотрено влияние удобрений на изменение плодородных свойств чернозема типичного. Вторая часть обзора посвящена изучению влияния минеральных и органических удобрений в различных дозах на урожайность и качество сахарной свёклы. В третьем разделе отражена роль различных видов и доз удобрений на поступление в почву кадмия, его распределение по почвенному

профилю, повышение подвижности металла и способности накапливаться в различных частях растений.

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная часть работы выполнена на базе стационарного полевого опыта лаборатории плодородия почв и мониторинга ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» Объектом исследований является почва. Почва опытного участка – чернозём типичный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Агрохимические показатели пахотного горизонта находятся в следующих пределах: гумус (по Тюрину) – 5,1-5,4 %; подвижный фосфор и обменный калий (по Чирикову) – 67-78 и 88-112 мг/кг почвы соответственно; pH_{KCl} – 5,8-6,3; степень насыщенности основаниями – около 90 %. В качестве опытной культуры выбрана сахарная свёкла (гибрид каскад), которая возделывается в плодосменном севообороте с чередованием культур: озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень + многолетние травы – многолетние травы 1 года пользования - многолетние травы 2 года пользования. Посевная площадь делянки 120 м², учётной - 100 м².

Схема опыта включает варианты с минеральными и органическими удобрениями, выглядит следующим образом:

1. Контроль (без удобрений); 2. N₉₀P₉₀K₉₀; 3. N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀; 4. Навоз 40 т/га; 5. N₉₀P₉₀K₉₀ + Навоз 40 т/га; 6. N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + Навоз 40 т/га; 7. Навоз 80 т/га; 8. N₉₀P₉₀K₉₀ + Навоз 80 т/га; 9. N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + Навоз 80 т/га.

В качестве минеральных удобрений использовали азофоску. Навоз вносили один раз за ротацию севооборота под сахарную свёклу. Одна доза навоза составляет 40 т/га, а две дозы - 80 т/га, рассчитанные соответственно на простое и расширенное воспроизводство органического вещества почвы. Минеральные удобрения вносили по делянкам вручную. Все удобрения внесены под основную обработку почвы.

Исследования проводились согласно общепринятым методикам. Содержание валовых и подвижных форм кадмия в почве, а также корнеплодах и ботве сахарной свёклы определены по ГОСТу 30178-96; легкогидролизуемый азот по методу Корнфилда в модификации ЦИНАО, подвижные фосфор и обменный калий по методу Чирикова (ГОСТ 26204 – 91), содержание общего гумуса по Тюрину, содержание нитратов в почве по методу ЦИНАО (ГОСТ 26951-86); реакцию почвы ($pH_{сол.}$) (ГОСТ 26483 – 85), гидrolитическую кислотность (H_T) (ГОСТ 26212 – 91). Анализ растений после уборки урожая: определение азота (ГОСТ 13496.4 – 93), фосфора (ГОСТ 26657 – 97) и калия (ГОСТ 30504 – 97) в ботве и корнеплодах сахарной свёклы по всем вариантам опыта; определение нитратов (ГОСТ 13496.19 – 93) в ботве и корнеплодах сахарной свёклы по всем вариантам опыта; определение в корнеплодах сахарной свёклы содержания сахара - методом горячего водного дигидрирования (ГОСТ 17421 - 82).

Математическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа.

Агрометеорологические условия в период наших исследований складывались по-разному, значительно варьировал температурный режим и количество осадков. Самым неблагоприятным годом для возделывания сахарной свёклы является 2013 год, который характеризуется жаркой и засушливой погодой в весенние месяцы. Температура воздуха в апреле и мае на 8,4 и 7,5⁰С выше средних значений. Причем аномальная жара с температурой воздуха выше 30⁰С наступила в третьей декаде апреля и продолжалась до второй декады мая, затем температура воздуха снизилась до 20⁰С. В этот же период наблюдается неравномерное количество осадков, в апреле они выпали в первой декаде месяца в количестве 5 мм и до второй декады мая отмечена продолжительная засуха. Погодные условия 2014-2015 гг. в целом соответствуют среднемноголетним значениям. Однако в этот период сохраняется тенденция дефицита осадков.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

3.1. Гумусное состояние чернозема типичного

Длительный период внесения минеральных и органических удобрений приводит к изменению содержания гумуса в черноземе типичном. На варианте без внесения удобрений в период с 2000 по 2015 г. его содержание в слое почвы 0-30 см снизилось с 5,17% до 4,99% или на 0,18%, с углублением почвенного профиля до слоя 30-50 см его значение снижается от 5,01 до 3,77 или на 1,24% (табл. 1). Данная закономерность обуславливается интенсивной минерализацией органического вещества за счет отвальной обработки почвы. Длительное внесение минеральных удобрений в дозе N₉₀P₉₀K₉₀ в слое 0-30 см снижают содержание гумуса с 5,12% до 4,76% или на 0,36%, в слое 30-50 см содержание гумуса снижается на 0,86%. Двойная доза минеральных удобрений в слое 0-30 см сохраняет тенденцию снижения гумуса с 5,12% до 4,78 % или на 0,34%, в слое 30-50 см содержание гумуса снижается на 1,13%.

Таблица 1 – Содержание гумуса в почве за 2000 – 2015гг., %

Вариант	Глубина, см	2000 г.	2007 г.	2015 г.
Контроль	0-30	5,17	5,15	4,99
	30-50	5,01	4,55	3,77
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0-30	5,12	5,08	4,76
	30-50	4,84	4,45	3,98
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0-30	5,12	4,91	4,78
	30-50	4,8	4,39	3,67
Навоз 40 т/га	0-30	5,31	5,43	5,66
	30-50	5,19	4,65	4,99
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + навоз 40 т/га	0-30	5,66	5,37	5,16
	30-50	5,16	4,71	4,19
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + навоз 40 т/га	0-30	5,67	5,40	5,19
	30-50	5,38	4,75	4,75
Навоз 80 т/га	0-30	5,48	5,38	5,83
	30-50	5,54	4,59	4,48
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + навоз 80 т/га	0-30	5,56	5,47	5,29
	30-50	5,54	4,75	4,22
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + навоз 80 т/га	0-30	5,46	5,53	5,57
	30-50	4,38	4,56	4,64

В варианте с внесением навоза в дозе 40 т/га наблюдается тенденция повышения содержания гумуса в слое 0-30 см с 5,31% в 2000 г. до 5,66% в 2015 г. или на 0,35%. Доза навоза, рассчитанная на расширенное воспроизводство почвенного плодородия повышает его значение с 5,48% до 5,83% или на 0,35%. Совместное внесение минеральных удобрений в одной и двух дозах с 40 т/га навоза с 2000 г. по 2015 г. снижают содержание гумуса в слое 0-30 см. На варианте N₉₀P₉₀K₉₀ + навоз 40 т/га его значение уменьшается с 5,66% до 5,16% или на 0,5%. В варианте N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + навоз 40 т/га содержание гумуса снижается с 5,67% до 5,19 или на 0,48%. Внесение минеральных удобрений в одинарной дозе на фоне 80 т/га навоза в слое 0-30 см снижает содержание гумуса с 5,56 до 5,29% или на 0,27%. В варианте N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + навоз 80 т/га отмечено повышение содержания гумуса с 5,46 до 5,57% или на 0,11%. В слое 30-50 см с 2000 г. по 2015 г. совместного применения минеральных и органических удобрений отмечено снижение гумуса, кроме варианта N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + навоз 80 т/га. Так, на делянках N₉₀P₉₀K₉₀ + навоз 40 т/га и N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + навоз 40 т/га его снижение составило 0,97 и 0,63% соответственно. Сочетание N₉₀P₉₀K₉₀ с

навозом 80 т/га также снижают содержание гумуса с 5,54 до 4,22% или на 1,32%, а на варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 80 т/га его значение возрастает с 4,38 до 4,64% или на 0,26%.

Таким образом, внесение органических удобрений повышают содержание гумуса в почве, наибольшее его содержание 5,83% отмечено на варианте с внесением двойной дозы навоза, рассчитанной на расширенное воспроизводство почвенного плодородия.

3.2. Азотный режим почв

Мы проанализировали содержание щелочно-гидролизуемого азота в период с 2000 г. по 2015 г. На варианте без внесения удобрений в слое 0-30 см содержание азота уменьшилось с 123,3 мг/кг до 111,6 мг/кг или на 11,7 мг/кг. В вариантах с внесением минеральных удобрений в слое 0-30 см содержание щелочно-гидролизуемого азота повышается. На варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ в слое почвы 0-30 см содержание азота увеличилось от 125,5 мг/кг до 146,3 мг/кг или на 20,8 мг/кг. Двойная доза минеральных удобрений повышает содержание азота от 140,9 мг/кг до 159,6 мг/кг или на 18,7 мг/кг.

Под действием навоза в дозе 40 т/га за 15 лет опыта содержание щелочно-гидролизуемого азота в слое 0-30 см возрастает от 130,6 мг/кг до 138,6 мг/кг или на 8 мг/кг. Накопление азота сохраняется при внесении двойной дозы навоза 80 т/га в течение пятнадцати лет в слое почвы 0-30 см от 126 мг/кг до 132,1 мг/кг.

Совместное внесение минеральных и органических удобрений также повышают содержание щелочногидролизуемого азота. На варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 40 т/га в слое 0-30 см содержание азота повышается от 133,9 мг/кг до 146,5 мг/кг или на 12,6 мг/кг. В меньшей степени азот увеличивается на варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 40 т/га с 132,5 до 141,4 мг/кг или на 8,9 мг/кг. Совместное внесение минеральных удобрений в одинарной и двойной дозе с навозом 80 т/га в течение 15 лет повышают содержание щелочногидролизуемого азота, на варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 80 т/га на 9,8 мг/кг и на 19,6 мг/кг на варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 80 т/га.

В слое 30-50 см содержание щелочногидролизуемого азота по всем вариантам опыта ниже значений слоя 0-30 см, однако, тенденция накопления азота в течение 15 лет внесения удобрений сохраняется.

Таким образом, внесение минеральных, органических удобрений и совместное внесение минеральных и органических удобрений способствуют увеличению щелочно-гидролизуемого азота в почве.

3.3. Изменение содержания подвижных форм фосфора и обменных форм калия

По результатам наших исследований выявлена закономерность изменения подвижных форм фосфора в зависимости от системы применяемых удобрений. Содержание подвижного фосфора на варианте без внесения удобрений в течение 15 лет ведения полевого опыта в слое 0-30 см увеличилось с 44 мг/кг до 67 мг/кг или на 52%. Такое увеличение фосфора на контрольном варианте обеспечивается за счет повышения кислотности почв, которая оказывает влияние на соединения фосфора связанные с кальцием и способствует переходу фосфора в доступную растениям форму.

На варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ его величина с 2000 г. по 2015 г. изменяется от 97 мг/кг до 187 мг/кг или на 93%. Значительному увеличению подвижного фосфора в слое почвы 0-30 см приводит внесение минеральных удобрений в двойной дозе $N_{180}P_{180}K_{180}$ с 134 мг/кг до 244 мг/кг или на 82%. Внесение навоза не оказало существенное влияние на изменение содержания подвижных форм фосфора в почве. В варианте навоз 40 т/га его содержание увеличилось с 56 мг/кг до 78 или на 39%, двойная доза навоза 80 т/га повышает содержание фосфора с 59 мг/кг до 82 мг/кг или на 39%. Совместное внесение одной и двух доз минеральных удобрений на фоне 40 т/га навоза оказывают положительный эффект на увеличение подвижных форм фосфора в почве в слое 0-30 см. Так в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 40 т/га содержание подвижных форм фосфора увеличилось на 13 мг/кг, а в варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 40 т/га отмечено еще более значительное повышение фосфора в почве с 197 до 225 мг/кг или на 14%. Увеличение подвижных форм фосфора отмечено также в результате совместного внесения минеральных и органических

удобрений в двойной дозе. Так, на варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 80 т/га его содержание повышается с 219 мг/кг в 2000 г. до 281 мг/кг в 2015 г. или на 28%.

Следовательно, содержание фосфора с 2000 по 2015 г. на варианте без внесения удобрений в слое 0-30 см повышается в 1,5 раза. Внесение удобрений приводит к увеличению содержания его в почве. Минеральная система удобрений имеет преимущество в увеличении подвижного фосфора по отношению к органической, а сочетание органических и минеральных удобрений увеличили содержание подвижного фосфора до максимального значения, особенно в двойных дозах.

Мы провели анализ изменения обменного калия за период 2000 – 2015 гг. На варианте без внесения удобрений содержание обменного калия в слое 0-30 см с 2000 г. по 2015 г. незначительно снизилось с 106 мг/кг до 101 мг/кг почвы. На вариантах с применением минеральных удобрений отмечается увеличение содержания обменного калия. В варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ содержание обменного калия в слое 0-30 увеличилось с 127 мг/кг до 144 мг/кг или на 13%, при внесении двойной дозы минеральных удобрений $N_{180}P_{180}K_{180}$ тенденция повышения калия сохраняется. Так, на данном варианте его значение повышается с 160 мг/кг до 193 мг/кг или на 21%. Длительное применение органических удобрений также обеспечивают рост обменного калия в почве, но повышает его содержание в почве ниже относительно применения только минеральных удобрений. Внесение навоза 40 т/га обеспечивает повышение обменного калия до 129 мг/кг, а двойная доза навоза повышает его содержание до 142 мг/кг почвы или на 26 и 26% соответственно.

Значительное увеличение обменного калия происходит за счет совместного внесения минеральных и органических удобрений. На варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 40 т/га с 2000 г. по 2015 г. в слое 0-30 см его содержание повышается от 120 до 138 мг/кг или на 15%, при внесении $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 40 т/га содержание обменного калия повышается от 139 до 177 мг/кг или на 27%. Внесение одной и двух доз минеральных удобрений совместно с двойной дозой навоза обеспечивает максимальное повышение обменного калия в почве. Внесение минеральных и органических удобрений $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 80 т/га в слое 0-30 см приводит к изменению данного показателя от 123 до 157 мг/кг или на 26%. На делянках совместного внесения минеральных и органических удобрений в двойной дозе $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 80 т/га обеспечивает увеличение обменного калия на 42% и содержание его составило 203 мг/кг почвы.

Таким образом, с 2000 г. по 2015 г. совместного внесения органических и минеральных удобрений достигается очень высокая обеспеченность почв обменным калием. Применение минеральных и органических удобрений в отдельности способствует увеличению данного показателя, но в меньшей мере относительно их совместных комбинаций. Причем преимущественно обменный калий увеличивается на вариантах с минеральными удобрениями. Следует отметить, что увеличение калия главным образом отмечается в слое 0-30 см, а в слое 30-50 см его значения стабильны и изменяются от среднего содержания до повышенного уровня.

3.4. Реакция почвенной среды

По результатам наших исследований мы выявили подкисление реакции почвенного раствора в период с 2000 г. по 2015 г. На контрольном варианте с 2000 г. по 2015 г. гидролитическая кислотность увеличилась с 1,80 мг.-экв./100г. почвы до 2,47 мг.-экв./100г. почвы или на 37%. Значительным образом гидролитическая кислотность увеличивается за счет длительного внесения минеральных удобрений. На варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ она изменяется от 2,48 мг.-экв./100г. почвы до 3,60 мг.-экв./100 г. почвы или на 45%, при двойной дозе минеральных удобрений повышение гидролитической кислотности от 3,71 мг.-экв./100 г. почвы до 4,64 мг.-экв./100 г. почвы. В варианте навоз 40 т/га гидролитическая кислотность увеличилась незначительно от 2,25 мг.-экв./100 г. почвы до 2,33 мг.-экв./100 г. почвы. Совместное внесение минеральных и органических удобрений также способствует росту гидролитической кислотности. На вариантах $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 40 т/га и $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 40 т/га она повышается на 20% и 14%

соответственно. Тенденция увеличения гидролитической кислотности с 2000 г. по 2015 г. сохраняется и на вариантах $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 80 т/га и $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 40 т/га, и составила 3,83 мг.-экв./100 г. почвы и 3,79 мг.-экв./100 г. почвы. соответственно.

Следовательно, длительное внесение минеральных удобрений приводит к росту гидролитической кислотности в разной степени. Наибольшие темпы ее повышения до среднекислой почвы отмечены при внесении только минеральных удобрений в двойной дозе $N_{180}P_{180}K_{180}$. Внесение навоза в дозе 40 т/га приводит к незначительному увеличению гидролитической кислотности, а в варианте с внесением навоза в дозе 80 т/га этот показатель снижается. Совместное применение органических и минеральных удобрений приводит к подкислению почвы до слабокислого уровня.

Мы проанализировали изменение обменной кислотности под влиянием минеральных и органических удобрений. В период с 2000 по 2015 г. величина обменной кислотности на варианте без внесения удобрений в слое 0-30 см уменьшилась с 6,23 до 5,66 или на 9%. При внесении минеральных удобрений в слое 0-30 см абсолютная величина обменной кислотности снижается с 5,75 до 5,18 или на 10% на варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ и на 11% на варианте с двойной дозой минеральных удобрений. Внесение навоза повышает абсолютную величину обменной кислотности в слое 0-30 см с 5,96 до 6,12 на варианте навоз 40 т/га и с 5,95 до 6,40 при дозе навоза, рассчитанной на расширенное воспроизводство почвенного плодородия, т.е. в варианте навоз 80 т/га, за период 2000 – 2015 гг. при совместном внесении минеральных удобрений в одинарной и двойной дозе в сочетании с навозом 40 т/га произошло незначительное снижение абсолютной величины обменной кислотности в слое 0-30 см на 0,29 единиц и 0,26 единиц. На вариантах совместного внесения минеральных удобрений с навозом 80 т/га в пахотном слое абсолютная величина обменной кислотности увеличилась на 0,33 единиц и 0,40 единиц и составила в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 80 т/га – 6,0 и в варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 80 т/га – 6,01.

Таким образом, длительное внесение минеральных удобрений подкисляют почвенный раствор, навоз в дозе 40 т/га и 80 т/га оказывает положительное влияние на изменение почв по степени кислотности, а абсолютная величина pH_{KCL} увеличивается до 6,12 ед. и 6,40 ед. соответственно, что соответствует нейтральной реакции почвенной среды. Совместное внесение минеральных удобрений с навозом – 80 т/га также улучшают данный показатель.

3.5. Содержание кадмия в почве

В наших исследованиях мы изучали накопление в почве и поступление в корнеплоды сахарной свёклы кадмия в зависимости от внесения минеральных удобрений и навоза на черноземе типичном. Данные представлены в таблице 2.

Анализ данных показывает, что содержание валовых форм кадмия по всем вариантам опыта ниже ОДК в 2 и более раза. Однако при внесении в почву минеральных и органических удобрений, а также их комбинаций прослеживается некоторая закономерность.

На абсолютном контроле в 2000 г. в слое 0-30 см содержание валовых форм кадмия в среднем составляет 0,21 мг/кг, с глубиной почвенного профиля до слоя 61-90 см данный показатель незначительно снижается до 0,20 мг/кг. В период с 2000 по 2015 г. на контроле при возделывании сахарной свеклы содержание кадмия повышается в слое 0-30 см на 0,05 мг/кг, в слоях 31-60 и 61-90 см изменений не произошло.

Внесение минеральных удобрений в одинарной и двойной дозе обеспечивает незначительное увеличение кадмия во всех слоях почвенного профиля. В 2000 г. на варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ содержание кадмия увеличивается в слое 0-30 см на 0,05 мг/кг, в слое 31-60 см на 0,02 мг/кг и в слое 61-90 на 0,03 мг/кг относительно контроля. В 2015 г. по отношению к 2000 г. содержание кадмия на варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ в слое 0-30 и 61-90 см увеличилось на 0,01-0,03 мг/кг, а в слое 31-60 см произошло незначительное его снижение на 0,01 мг/кг. На варианте с внесением двойной дозы минеральных удобрений в 2000 г.

содержание валовых форм кадмия повышается до 0,30 мг/кг или на 0,09 мг/кг по сравнению с контролем в слое 0-30 см, в слое 31-60 и 61-90 см его содержание увеличивается на 0,04 и 0,05 мг/кг относительно контроля до 0,27 и 0,25 мг/кг соответственно.

Таблица 2 – Содержание валовых форм кадмия в почве за 2000 – 2015 гг., мг/кг

Вариант	Глубина, см	2000 г.	2007 г.	2015 г.
Контроль	0-30	0,21	0,24	0,26
	31-60	0,23	0,23	0,23
	61-90	0,20	0,20	0,20
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0-30	0,26	0,27	0,27
	31-60	0,25	0,25	0,24
	61-90	0,23	0,25	0,26
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0-30	0,30	0,29	0,28
	31-60	0,27	0,26	0,25
	61-90	0,25	0,28	0,31
Навоз 40 т/га	0-30	0,23	0,29	0,35
	31-60	0,24	0,32	0,40
	61-90	0,21	0,31	0,40
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + навоз 40 т/га	0-30	0,20	0,34	0,38
	31-60	0,26	0,35	0,44
	61-90	0,23	0,33	0,37
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + навоз 40 т/га	0-30	0,32	0,36	0,40
	31-60	0,31	0,40	0,48
	61-90	0,31	0,33	0,44
Навоз 80 т/га	0-30	0,30	0,36	0,41
	31-60	0,34	0,36	0,38
	61-90	0,31	0,37	0,43
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + навоз 80 т/га	0-30	0,29	0,39	0,49
	31-60	0,23	0,37	0,41
	61-90	0,22	0,39	0,45
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + навоз 80 т/га	0-30	0,34	0,43	0,57
	31-60	0,33	0,38	0,44
	61-90	0,34	0,41	0,47
ОДК		1,0		

В период с 2000 по 2015 г. в варианте с внесением минеральных удобрений в двойной дозе незначительно снижается содержание валовых форм кадмия, на 0,02 мг/кг в слое 0-30 см и 31-60 см. Однако в слое 61-90 см произошло увеличение содержания валовых форм кадмия с 0,25 до 0,31 мг/кг или на 0,06 мг/кг.

В вариантах с внесением навоза в дозе 40 и 80 т/га содержание валовых форм кадмия незначительно увеличивается. В 2000 г. в вариантах с внесением навоза 80 т/га содержание валовых форм кадмия в слое 0-30 см составило 0,30 мг/кг, что на 0,09 мг/кг выше контроля, в слоях 31-60 см и 61-90 см содержание кадмия повышается до 0,34 и 0,31 мг/кг или на 0,11 мг/кг относительно контроля. Одинарная доза органических удобрений не оказывает существенного значения на изменение валового кадмия в почве. На варианте навоз 40 т/га содержание кадмия во всех слоях почвенного профиля на 0,01 мг/кг выше контроля. В период с 2000 по 2015 г. отмечается тенденция увеличения содержания валовых форм кадмия, однако содержание его ниже ОДК. В 2015 г. по сравнению с 2000 г. на варианте навоз 40 т/га в слое 0-30 см содержание кадмия увеличилось на 0,12 мг/кг и составило 0,35 мг/кг, в слое 31-60 и 61-90 см на 0,16 мг/кг и 0,19 мг/кг и составило 0,40 мг/кг. При внесении двойной дозы навоза тенденция увеличения содержания валового

кадмия сохраняется. В варианте навоз 80 т/га в 2015 г. по отношению к 2000 г. в слое 0-30 см содержание валовых форм кадмия увеличивается на 0,11 мг/кг и составило 0,41 мг/кг, в слое 31-60 см на 0,04 мг/кг и составило 0,38 мг/кг и на 0,12 мг/кг в слое 61-90 см и составило 0,43 мг/кг.

Повышение валовых форм кадмия в почве также обеспечивается за счет совместного применения минеральных и органических удобрений, особенно при сочетании двойных доз. В 2000 г. относительно контроля в варианте $N_{180}P_{180}K_{180} + 40$ т/га навоза содержание кадмия увеличивается на 0,11 мг/кг в слое 0-30 см, на 0,08 мг/кг в слое 31-60 см и на 0,11 мг/кг в слое 61-90 см. На варианте $N_{90}P_{90}K_{90} +$ навоз 40 т/га в 2000 г. по отношению к контролю содержание валовых форм кадмия незначительно увеличивается в среднем на 0,01-0,03 мг/кг. В период с 2000 г. по 2015 г. на вариантах с совместным внесением минеральных и органических удобрений содержание валовых форм кадмия увеличивается. В 2015 г. в варианте $N_{90}P_{90}K_{90} +$ навоз 40 т/га содержание валового кадмия по сравнению с 2000 г. увеличивается в слое 0-30 см на 0,18 мг/кг, в слое 31-60 см на 0,18 мг/кг и на 0,14 мг/кг в слое 61-90 см. В варианте $N_{180}P_{180}K_{180} +$ навоз 40 т/га в 2015 г. по сравнению с 2000 г. содержание валовых форм кадмия повышается в слое 0-30 см с 0,32 мг/кг до 0,40 мг/кг или на 0,08 мг/кг, в слое 31-60 см с 0,31 мг/кг до 0,48 мг/кг или на 0,17 мг/кг и в слое 61-90 см с 0,31 мг/кг до 0,44 мг/кг или на 0,13 мг/кг.

Наибольшему содержанию валовых форм кадмия способствует совместное внесение минеральных и органических удобрений в двойной дозе. В 2000 г. на варианте $N_{180}P_{180}K_{180} +$ навоз 80 т/га содержание кадмия относительно контроля повышается, в слое 0-30 см с 0,21 до 0,34 мг/кг или на 0,13 мг/кг, в слое 31-60 см с 0,23 мг/кг до 0,33 мг/кг или на 0,1 мг/кг и в слое 61-90 см с 0,20 мг/кг до 0,34 мг/кг или на 0,14 мг/кг. На данном варианте в 2015 г. по отношению к 2000 г. содержание валовых форм кадмия увеличивается в слое 0-30 см на 0,21 мг/кг, в слое 31-60 см на 0,11 мг/кг и в слое 61-90 см на 0,13 мг/кг. Несколько ниже содержание валовых форм кадмия на варианте $N_{90}P_{90}K_{90} +$ навоз 80 т/га, в 2000 г. его содержание в слое 0-30 см составляет 0,29 мг/кг, что выше контроля на 0,08 мг/кг, в слое 61-90 содержание кадмия составило 0,22 мг/кг, что выше контроля на 0,02 мг/кг, в слое 31-60 см содержание валовых форм металла составляет 0,23 мг/кг, что соответствует значению варианта без внесения удобрений. В период с 2000 по 2015 г. сохраняется тенденция увеличения содержания валовых форм кадмия на варианте $N_{90}P_{90}K_{90} +$ навоз 80 т/га. Так, в 2015 г. по сравнению с 2000 г. на данном варианте содержание кадмия в слое 0-30 см увеличилось с 0,29 до 0,49 мг/кг или на 0,20 мг/кг, в слое 31-60 см с 0,23 мг/кг до 0,41 мг/кг или на 0,18 мг/кг и в слое 61-90 см с 0,22 до 0,45 мг/кг или на 0,23 мг/кг.

Таким образом, применение удобрений в разных дозах не оказали существенного влияния на изменение содержания валовых форм кадмия, однако его незначительное повышение наблюдается на всех вариантах. На вариантах с применением только минеральных удобрений накопление валовых форм элемента незначительное. При внесении навоза и его совместном внесении с минеральными удобрениями происходит накопление валовых форм кадмия в почве, но эти показатели не превышают ОДК.

Для оценки вероятности загрязнения корнеплодов сахарной свеклы тяжелыми металлами мы определили содержание подвижных форм кадмия в почве нашего опытного участка. Данные содержания подвижных форм кадмия представлены в таблице 3.

В 2000 г. содержание подвижных форм кадмия на варианте без внесения удобрений в слое 0-30 и 31-60 см составляет 0,05 мг/кг, в слое 61-90 см – 0,07 мг/кг. С 2000 г. по 2015 г. на контроле эти значения увеличились для слоя 0-30 на 0,02 мг, а для слоев 31-60 и 61-90 см на 0,03 мг/кг и 0,02 мг/кг соответственно.

Увеличению подвижных форм кадмия способствует внесение минеральных удобрений, особенно в двойной дозе, что связано с изменением реакции почвенной среды. В 2000 г. на варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ в слое 0-30 см его значение относительно контроля

возрастает до 0,10 мг/кг или на 0,05 мг/кг, в слое 31-60 см содержание подвижного кадмия увеличивается на 0,03 мг/кг и в слое 61-90 см на 0,01 мг/кг по сравнению с контролем.

Таблица 3 – Содержание подвижных форм кадмия в почве за 2000 – 2015 гг., мг/кг

Вариант	Глубина, см	2000 г.	2007 г.	2015 г.
Контроль	0-30	0,05	0,06	0,07
	31-60	0,05	0,08	0,08
	61-90	0,07	0,10	0,09
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0-30	0,06	0,14	0,14
	31-60	0,05	0,08	0,08
	61-90	0,08	0,08	0,09
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0-30	0,10	0,15	0,18
	31-60	0,08	0,09	0,07
	61-90	0,08	0,08	0,07
Навоз 40 т/га	0-30	0,04	0,08	0,05
	31-60	0,04	0,06	0,06
	61-90	0,06	0,06	0,05
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + навоз 40 т/га	0-30	0,05	0,06	0,09
	31-60	0,06	0,08	0,09
	61-90	0,07	0,08	0,10
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + навоз 40 т/га	0-30	0,06	0,08	0,10
	31-60	0,07	0,08	0,11
	61-90	0,07	0,10	0,12
Навоз 80 т/га	0-30	0,03	0,08	0,04
	31-60	0,03	0,07	0,04
	61-90	0,05	0,09	0,06
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + навоз 80 т/га	0-30	0,06	0,10	0,10
	31-60	0,07	0,13	0,15
	61-90	0,07	0,13	0,12
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + навоз 80 т/га	0-30	0,05	0,12	0,15
	31-60	0,06	0,19	0,20
	61-90	0,07	0,13	0,17

В 2015 г. по отношению к 2000 г. содержание подвижных форм кадмия в варианте N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ в слое 0-30 см увеличивается на 0,08 мг/кг, в слоях почвы 31-60 см и 61-90 см на данном варианте произошло незначительное снижение содержания подвижного кадмия на 0,01 мг/кг. В варианте N₉₀P₉₀K₉₀ в 2000 г. содержание подвижных форм кадмия практически не изменилось по отношению к контролю, так в среднем его значение увеличилось на 0,01 мг/кг. Однако, на данном варианте в 2015 г. по сравнению с 2000 г. содержание кадмия увеличивается в слое 0-30 см на 0,08 мг/кг, в слое 31-60 см на 0,03 мг/кг и в слое 61-90 см на 0,01 мг/кг. Несущественное повышение содержания подвижных форм кадмия на вариантах с внесением минеральных удобрений обусловлено повышением кислотности почвенного раствора, которая способствует переходу кадмия из –валовой формы в подвижную.

Внесение навоза оказывает положительное действие на незначительное снижение содержания подвижных форм кадмия в почве. В 2000 г. на варианте навоз 40 т/га в слое 0-30 см его значение составило 0,04 мг/кг, в слое 31-60 и 61-90 см содержание кадмия составило 0,04 – 0,06 мг/кг, что на 0,01 мг/кг ниже по сравнению с контролем. В период с 2000 по 2015 г. на варианте навоз 40 т/га отмечено увеличение содержания подвижных форм кадмия, но его значения ниже относительно вариантов с внесением только минеральных удобрений. Так, в 2015 г. на варианте навоз 40 т/га в слое 0-30 и 31-60 см содержание подвижного кадмия увеличивается на 0,01 – 0,02 мг/кг, а в слое 61-90 см произошло незначительное его снижение на 0,01 мг/кг по сравнению с 2000 г. При

внесении двойной дозы навоза (80 т/га) сохраняется тенденция снижения содержания подвижного кадмия относительно контроля в 2000 г. Так, на данном варианте содержание подвижного кадмия во всех слоях почвенного профиля снижается на 0,02 мг/кг по сравнению с контролем. В 2015 г. относительно 2000 г. в варианте навоз 80 т/га содержание подвижных форм кадмия незначительно увеличивается на 0,02 мг/кг. Снижение содержания подвижных форм кадмия на вариантах с внесением органических удобрений в одинарной и двойной дозе в первую очередь связано с закреплением данных форм кадмия с органическим веществом почвы и образованием комплексных труднорастворимых соединений.

При совместном внесении минеральных и органических удобрений тенденция незначительного увеличения содержания подвижных форм кадмия относительно контроля в 2000 г. сохраняется. Так, на варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 40 т/га его значение практически не изменяется относительно контроля. В варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 40 т/га в 2000 г. по сравнению с контролем в слое 0-30 и 31-60 см содержание подвижного кадмия увеличивается на 0,01-0,02 мг/кг, в слое 61-90 см его содержание составило 0,07 мг/кг, что соответствует контролю.

В вариантах $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 80 т/га и $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 80 т/га содержание подвижных форм кадмия в 2000 г. относительно контроля изменяется незначительно, в среднем на 0,01-0,02 мг/кг. Однако, на данных вариантах в период с 2000 г. по 2015 г. содержание подвижного кадмия увеличивается до максимального значения. Так, в 2015 г. в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 80 т/га по сравнению с 2000 г. содержание подвижных форм кадмия увеличивается в слое 0-30 см с 0,06 до 0,10 мг/кг или на 0,04 мг/кг, в слое 31-60 с 0,07 мг/кг до 0,15 мг/кг или на 0,08 мг/кг и в слое 61-90 см с 0,07 до 0,12 мг/кг или на 0,05 мг/кг. При совместном внесении двойной дозы минеральных удобрений и двойной дозы навоза в 2015 г. относительно 2000 г. содержание подвижных форм кадмия увеличивается в слое 0-30 см с 0,05 мг/кг до 0,15 мг/кг или на 0,10 мг/кг, в слое 31-60 см с 0,06 до 0,20 мг/кг или на 0,14 мг/кг и в слое 61-90 см с 0,07 до 0,17 мг/кг или на 0,10 мг/кг.

Следует отметить, что в результате совместного внесения минеральных и органических удобрений увеличение подвижных форм кадмия усиливается с глубиной почвенного профиля, что свидетельствует о миграции данных форм кадмия с инфильтрационными водами вниз по почвенному профилю.

Таким образом, длительный период внесения минеральных и органических удобрений и их совместное внесение незначительно изменяют содержание подвижных форм кадмия в почве. Однако, внесение навоза в одинарной и двойной дозе снижают содержание подвижных форм кадмия, на делянках с внесением минеральных удобрений их содержание увеличивается, что связано с подкислением почвенного раствора.

Мы рассчитали коэффициент подвижности кадмия, который представлен в таблице 4. В 2000 г. на контроле коэффициент подвижности кадмия в слое почвы 0 – 30 и 31 – 60 см составляет 24 – 22% соответственно, с глубиной до 61-90 см коэффициент подвижности увеличивается до 35%. Длительный период выращивания сахарной свёклы приводит к повышению подвижности кадмия, особенно с глубиной почвенного профиля. В 2015 г. коэффициент подвижности кадмия возрастает в слое 0-30 см на 3%, в слое 31-60 см на 14 и на 20% в слое 61-90 см по сравнению с 2000 г.

Повышению подвижности кадмия в почве способствует внесение минеральных удобрений, особенно в двойной дозе. На варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ в слое 0-30 см коэффициент подвижности увеличился в 1,4 раза, в слое 31-60 см в 1,4 раза и в 1,1 раза в слое 61-90 см. С 2000 г. по 2015 г. применение удобрений способствует увеличению коэффициента подвижности в слое 0-30 см. Так, в 2015 г. в слое 0-30 см подвижность металла повысилась 2,2 раза по сравнению с 2000 г.

С глубиной почвенного профиля значение подвижности металла сохраняется на уровне 2000 г. Внесение одинарной дозы минеральных удобрений обеспечивает увеличение коэффициента подвижности по истечении 15 лет ведения полевого опыта. Следует

отметить, что данный показатель главным образом повышается в слое 0-30 см на 28,77% относительно первого года испытаний.

Таблица 4 – Коэффициент подвижности кадмия за 2000 – 2015 гг., %

Вариант	Глубина, см	2000 г.	2007 г.	2015 г.
Контроль	0-30	24	25	27
	31-60	22	35	36
	61-90	35	50	45
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0-30	23	52	52
	31-60	20	32	33
	61-90	35	32	35
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0-30	33	52	64
	31-60	30	35	28
	61-90	37	29	39
Навоз 40 т/га	0-30	17	28	20
	31-60	17	28	25
	61-90	29	35	30
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + навоз 40 т/га	0-30	25	18	24
	31-60	23	23	20
	61-90	30	24	27
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + навоз 40 т/га	0-30	29	22	23
	31-60	23	20	23
	61-90	23	30	27
Навоз 80 т/га	0-30	10	22	22
	31-60	12	39	24
	61-90	22	24	24
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + навоз 80 т/га	0-30	14	26	20
	31-60	30	35	37
	61-90	23	33	27
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + навоз 80 т/га	0-30	11	28	26
	31-60	19	50	45
	61-90	18	32	36

Применение органических удобрений обеспечивает снижение подвижности кадмия. На варианте навоз 40 т/га в 2000 г. его значения относительно контроля снизились в слое 0-30 см на 6%, в слое 31-60 см на 5% и в слое 61-90 на 6%. Двойная доза навоза оказывает максимальный на снижение подвижности кадмия в почве, в слое 0-30 см на 14%, в слое 31-60 на 12% и на 2% в слое 61-90. В течение длительного внесения органических удобрений наблюдается рост коэффициента подвижности, но в меньшей мере относительно вариантов с применением минеральных удобрений. В 2015 году в варианте навоз 40 т/га подвижность элемента в слое 0-30 см в варианте навоз 40 т/га увеличилась на 3%, в слое 31-60 см на 8%, а в слое 61-90 см на 1,% относительно 2000 г. Такая же тенденция сохраняется при внесении навоза 80 т/га, так в 2015 г. его увеличение составляет в слое 0-30 см – 12%, в слое 31-60 см – 7% и 2% в слое 61-90 см. Однако, в 2015 г. коэффициент подвижности в вариантах с внесением навоза 40 т/га и навоза 80 т/га составил 20 и 22%, что на 7% и 5% ниже по отношению к контролю.

Совместное внесение органических и минеральных удобрений в 2000 г. приводит к стабилизации значений подвижности кадмия на уровне варианта без внесения удобрений и их снижению в зависимости от дозы. На варианте N₉₀P₉₀K₉₀ + навоз 40 т/га существенных отклонений от контроля не отмечено, в слое 0-30 см подвижность увеличилась на 1%, в слое 31-60 см на 1%, а в слое 61-90 см произошло снижение на 5%.

Комбинация двойной дозы минеральных удобрений $N_{180}P_{180}K_{180}$ с навозом 40 т/га приводит к повышению данного показателя на 5% в слое 0-30 и на 1% в слое 31-60 см, в слое 61-90 см произошло его снижение на 12%. С 2000 по 2015 гг. внесение минеральных и органических удобрений приводит к уменьшению коэффициента подвижности кадмия на варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 40 т/га в слое 0-30 см, на 1%, в слое 31-60 см на 3%, в слое 61-90 см на 3%. В варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 40 т/га отмечено снижение подвижности в 2015 г. в слое 0-30 см на 6% и в слое 31-60 см коэффициент подвижности не изменился, а в слое 61-90 см данный показатель увеличился всего лишь на 4%.

Увеличение дозы органических удобрений до 80 т/га в сочетании с одинарной и двойной дозы минеральных удобрений обеспечивает снижение подвижности кадмия относительно контроля в 2000 году. На варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 80 т/га в слое 0-30 см значения уменьшились на 10%, в слое 61-90 см на 12%, а в слое 31-60 см коэффициент подвижности повысился на 8%. На делянках $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 80 т/га во всех слоях почвенного профиля отмечено уменьшение данного показателя по отношению к контролю, в слое 0-30 см на 13%, в слое 31-60 см на 3 % и в слое 61-90 см на 17%. В период с 2000 по 2015 г. коэффициент подвижности кадмия в варианте с двойной дозой минеральных и органических удобрений увеличился до 26%, в слое 0-30 см, 45% в слое 31-60 см и 36% - в слое 61-90 см.

Следовательно, коэффициент подвижности кадмия с 2000 г. по 2015 г. изменился в сторону увеличения в вариантах с внесением минеральных удобрений. Внесение органических удобрений и совместное внесение минеральных и органических удобрений не оказывали значительного влияния на увеличение коэффициента подвижности кадмия

4 ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ САХАРНОЙ СВЁКЛЫ

4.1. Урожайность и качество корнеплодов сахарной свёклы

Урожайность сахарной свёклы является основным интегральным показателем, характеризующим уровень плодородия почвы, условия произрастания, а также эффективность применения тех или иных приемов агротехники. Данные урожайности сахарной свёклы за период 2013-2015 гг. представлены в таблице 5.

В среднем за три года исследований урожайность сахарной свёклы на контроле составила 24,1 т/га. Внесение минеральных удобрений повышает урожайность корнеплодов сахарной свёклы на 14,8 т/га в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ и на 20,9 т/га в варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$. На делянках с органическими удобрениями прибавка урожайности сахарной свёклы составила 10,7 т/га в варианте навоз 40 т/га и 18,2 т/га в варианте навоз 80 т/га. Наибольший рост урожайности обеспечивается за счет совместного внесения минеральных и органических удобрений. На варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 40 т/га прибавка урожайности корнеплодов сахарной свёклы составила 18,9 т/га, а в варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 40 т/га прибавка составила соответственно 27,1 т/га. Наиболее эффективно внесение минеральных удобрений совместно с навоз 80 т/га. Так на варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 80 т/га прибавка урожайности корнеплодов сахарной свёклы составила 25,3 т/га, а в варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 80 т/га получена максимальная прибавка урожайности корнеплодов сахарной свёклы 34,2 т/га. Следовательно, внесение $N_{180}P_{180}K_{180}$ в сочетании с навозом 80 т/га обеспечивают максимальную прибавку урожая – 34,2 т/га и урожайность корнеплодов сахарной свёклы в среднем за три года составила 58,3 т/га.

Мы провели анализ изменения сахаристости и выхода сахара сахарной свёклы за три года исследований в зависимости от дозы вносимых органических и минеральных удобрений. В среднем за три года исследований на контрольном варианте сахаристость свёклы составила 17,76%, а выход сахара 4,18 т/га. Минеральные удобрения снижают сахаристость на 1,04% в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$ и 1,42% на варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$, но в тоже время увеличивают выход сахара на 2,16 – 3,65 т/га соответственно, за счет повышения

урожайности. Внесение навоза в дозе 40 т/га и 80 т/га незначительно снижают сахаристость корнеплодов сахарной свёклы на 0,23% и 0,14% соответственно.

Таблица 5 - Урожайность корнеплодов сахарной свёклы за 2013 – 2015 гг., т/га

Варианты опыта	2013 г.		2014 г.		2015 г.		В среднем за 3 года	
	Урожайность	Прибавка	Урожайность	Прибавка	Урожайность	Прибавка	Урожайность	Прибавка
Контроль	18,7	-	25,6	-	22,0	-	24,1	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	39,5	14,8	42,6	17,0	44,5	22,5	42,2	14,8
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	47,5	22,8	47,8	22,2	49,7	27,7	48,3	20,9
Навоз 40 т/га	31,9	7,2	40,2	14,6	32,2	10,2	34,8	10,7
Навоз 40 т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	37,4	12,7	49,8	24,2	41,7	19,7	43,0	18,9
Навоз 40 т/га + N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	50,1	25,4	55,7	30,1	46,9	24,9	50,9	27,1
Навоз 80 т/га	34,0	9,3	56,1	30,5	36,7	14,7	42,3	18,2
Навоз 80 т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	42,5	17,8	57,1	31,5	56,6	34,6	52,1	25,3
Навоз 80 т/га + N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	56,3	31,6	60,0	34,4	58,7	36,7	58,3	34,2
НСР _{0,05}	4,3		5,3		4,9			

Выход сахара на данных вариантах повышается относительно контроля на 1,85 – 3,55 т/га. Совместное внесение минеральных и органических удобрений также снижают сахаристость корнеплодов сахарной свёклы. На вариантах N₉₀P₉₀K₉₀ + навоз 40 т/га и N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + навоз 40 т/га сахаристость снижается на 0,69% и 0,97% соответственно. Совместное внесение минеральных удобрений в дозе N₉₀P₉₀K₉₀ и N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ с навозом 80 т/га также незначительно снижают сахаристость корнеплодов сахарной свёклы на 0,59 – 0,49% соответственно. Выход сахара на вариантах с совместным внесением минеральных и органических удобрений увеличивается. В вариантах N₉₀P₉₀K₉₀ + навоз 40 т/га и N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + навоз 40 т/га выход сахара увеличивается на 2,99 – 4,69 т/га соответственно по сравнению с контролем. На вариантах N₉₀P₉₀K₉₀ + навоз 80 т/га и N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + навоз 80 т/га выход сахара увеличивается в 2 и 2,4 раза относительно контроля.

Таким образом, внесение минеральных, органических удобрений, а также их совместное внесение незначительно снижают сахаристость корнеплодов сахарной свёклы относительно контроля, а выход сахара наоборот увеличивается за счет повышения урожайности. Наибольший выход сахара получен на варианте N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + навоз 80 т/га и составил 10,2 т/га.

Для оптимального роста и развития растений сахарной свёклы очень важно регулировать оптимальное соотношение питательных элементов, поэтому мы провели анализ содержания азота, фосфора и калия в корнеплодах и ботве сахарной свёклы.

В среднем за три года исследований азот главным образом накапливается в ботве сахарной свёклы, в корнеплодах накопление происходит менее активно. Максимальное его увеличение отмечено при внесении минеральных удобрений. Органические удобрения и их комбинации с минеральными удобрениями в меньшей степени повышают содержание азота. Наибольшее содержание фосфора отмечено в ботве сахарной свёклы.

Внесение удобрений изменяли его содержание в ботве и незначительно в корнеплодах. Максимальному накоплению фосфора в ботве способствовало внесение органики и их комбинации с минеральными удобрениями в двойной дозе. Содержание калия в корнеплодах сахарной свёклы главным образом повышается за счет внесения минеральных удобрений. Органические удобрения, а также их комбинации с минеральными удобрениями в меньшей степени увеличивает данный показатель. Следует отметить, что интенсивное накопление калия отмечается в ботве сахарной свёклы.

Анализ данных выноса азота, фосфора и калия показал, что в среднем за три года исследований наибольшее количество питательных элементов выносятся с нетоварной частью урожая. С корнеплодами сахарной свёклы в большей степени выносятся азот и калий, причем значительный их вынос отмечен при совместном внесении минеральных удобрений в двойной дозе с навозом в одинарной и двойной дозе.

4.2. Содержание нитратного азота в корнеплодах и ботве сахарной свёклы

В среднем за три года исследований наибольшее накопление нитратов отмечено в ботве сахарной свёклы и обуславливается внесением минеральных удобрений в одинарной и двойной дозе, а также их совместным внесением с навозом в двойной дозе. На вариантах $N_{90}P_{90}K_{90}$ и $N_{180}P_{180}K_{180}$ их значения повышаются на 6662 мг/кг и 7749 мг/кг, а при сочетании двойных доз минеральных и органических удобрений их увеличение составляет 3871 мг/кг. Внесение навоза сдерживает рост нитратов в ботве сахарной свёклы, сохраняя их значения на уровне варианта без внесения удобрений.

Следовательно, внесение минеральных удобрений повышают содержание нитратов как в основной, так и в побочной продукции. Внесение органических удобрений снижают интенсивность накопления нитратов в корнеплодах и ботве сахарной свёклы. Наиболее интенсивно нитраты накапливаются в ботве сахарной свёклы.

4.3. Содержание кадмия в основной и побочной продукции сахарной свёклы

В данной научной работе мы определили содержание кадмия в корнеплодах и ботве сахарной свёклы, данные представлены в таблице 6.

В 2013 г. содержание кадмия в корнеплодах сахарной свёклы на варианте без внесения удобрений составило 0,025 мг/кг, минеральные удобрения обеспечили его снижение на 0,006 мг/кг независимо от дозы. Органические удобрения в одинарной и двойной дозе способствуют снижению кадмия в корнеплодах свёклы на 0,03 и 0,05 мг/кг. Следует отметить, что наибольшее снижение кадмия наблюдается при совместном внесении минеральных удобрений в одинарной дозе $N_{90}P_{90}K_{90}$ с одной и двумя дозами навоза на 0,014 и 0,012 мг/кг. Сочетание двойной дозы минеральных удобрений на фоне навоза 40 и 80 т/га удерживают значения кадмия на уровне контрольного варианта.

В 2014 г. содержание кадмия возрастает на контрольном варианте относительно предыдущего года на 0,020 мг/кг. Внесение минеральных удобрений $N_{90}P_{90}K_{90}$ и $N_{180}P_{180}K_{180}$ привело к повышению кадмия, но незначительно на 0,005 – 0,010 мг/кг. Внесение навоза, а также его комбинации с минеральными удобрениями не привели к изменению кадмия относительно контроля.

В 2015 г. на контрольном варианте содержание кадмия в корнеплодах сахарной свёклы ниже по отношению к 2013 г. в 1,4 раза и по сравнению с 2014 г. в 1,3 раза и составляет 0,018 мг/кг. На делянках с минеральными удобрениями его значения остаются на уровне контроля. Накопление кадмия в 1,3 и 1,9 раза происходит в результате действия навоза в дозе 40 и 80 т/га. повышение кадмия в корнеплодах в 2 раза отмечается также на делянках с внесением навоза 80 т/га в сочетании с $N_{90}P_{90}K_{90}$ и $N_{180}P_{180}K_{180}$, однако эти значения ниже ПДК.

В среднем за три года исследований содержание кадмия в корнеплодах свёклы составило 0,029 мг/кг на контроле. Внесение минеральных и органических удобрений, а также их совместное внесение не оказали существенного влияния на изменений данного показателя.

Таблица 6 – Содержание кадмия в корнеплодах сахарной свёклы за 2013 – 2015 гг., мг/кг

Вариант	2013 г.	2014 г.	2015 г.	В среднем за 3 года
Контроль	0,025	0,045	0,018	0,029
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,019	0,05	0,017	0,029
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,019	0,055	0,016	0,030
Навоз 40 т/га	0,022	0,044	0,024	0,032
Навоз 40 т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,011	0,036	0,022	0,023
Навоз 40 т/га + N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,02	0,044	0,018	0,027
Навоз 80 т/га	0,02	0,044	0,035	0,033
Навоз 80 т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,013	0,04	0,034	0,033
Навоз 80 т/га + N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,025	0,037	0,036	0,027
ПДК	0,05			

Данные по содержанию кадмия в ботве сахарной свёклы в условиях нашего опыта представлены в таблице 7. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что в ботве сахарной свёклы процесс накопления кадмия происходит интенсивнее чем в корнеплодах. По всем вариантам опыта его содержание в 2 раза превышает концентрацию в корнеплодах.

Таблица 7 – Содержание кадмия в ботве сахарной свёклы за 2013 – 2015 гг., мг/кг

Вариант	2013 г.	2014 г.	2015 г.	В среднем за 3 года
Контроль	0,036	0,048	0,038	0,041
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,044	0,058	0,048	0,050
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,058	0,084	0,052	0,078
Навоз 40 т/га	0,033	0,055	0,048	0,049
Навоз 40 т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,025	0,048	0,053	0,042
Навоз 40 т/га + N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,032	0,056	0,058	0,049
Навоз 80 т/га	0,035	0,062	0,055	0,047
Навоз 80 т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,041	0,07	0,065	0,059
Навоз 80 т/га + N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,058	0,073	0,078	0,070

В первый год исследований содержание кадмия в ботве сахарной свёклы составило 0,036 мг/кг. Минеральные удобрения N₉₀P₉₀K₉₀ и N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ повысили данный показатель на 0,012 и 0,022 мг/кг по сравнению с контролем. Внесение навоза не оказало существенного влияния на изменения кадмия в ботве свёклы независимо от его дозы. На делянках совместного внесения удобрений содержание кадмия увеличилось в 1,6 раза только при внесении навоза 80 т/га с N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀, однако значения его были на уровне контроля.

Интенсивное накопление кадмия в ботве сахарной свёкле наблюдается в 2014 г. На контрольном варианте его значение выше на 0,012 мг/кг относительно 2013 г. Внесение минеральных удобрений увеличивает его содержание в 1,2 раза на варианте N₉₀P₉₀K₉₀ и в 1,8 раза на делянках с двумя дозами минеральных удобрений. Внесение навоза и его совместное внесение с минеральными удобрениями в меньшей степени повышают содержание кадмия в ботве сахарной свёклы. На вариантах навоз 40 и 80 т/га он увеличился на 0,007 – 0,014 мг/кг. Совместное внесение минеральных удобрений в одинарной и двойной дозе на фоне навоза 40 т/га не привели в существенному изменению кадмия в ботве сахарной свёклы, а сочетание двойных доз минеральных и органических удобрений повышает содержание кадмия в 1,5 раза.

В 2015 г. значение кадмия в ботве сахарной свёклы аналогично 2013 г. исследований. Внесение минеральных и органических удобрений не привели к существенному изменению его содержания.

В среднем за 3 года исследований содержание кадмия изменяется в пределах 0,041 – 0,078 мг/кг зависимости от вида применяемых удобрений. Минеральные удобрения, а также их совместное внесение с органическими удобрениями способствуют повышению содержания токсиканта. Внесение навоза не оказывает существенного влияния на изменение содержания кадмия в ботве сахарной свёклы относительно контрольного варианта.

Следовательно, внесение минеральных, органических и совместное внесение минеральных и органических удобрений не оказывают существенного влияния на накопление кадмия в корнеплодах сахарной свёклы. На всех вариантах опыта содержание кадмия ниже ПДК. Наиболее интенсивно кадмий накапливается в ботве сахарной свёклы.

Мы рассчитали коэффициент биологического поглощения и коэффициент накопления кадмия корнеплодами сахарной свёклы. Коэффициент биологического поглощения с внесением минеральных удобрений увеличился на 1-5% относительно контроля, что связано с кислой реакцией почвенной среды. В вариантах с внесением навоза и его совместным внесением с минеральными удобрениями снижают коэффициент биологического поглощения в среднем на 1 – 4% по сравнению с контролем.

Коэффициент накопления кадмия корнеплодами сахарной свёклы значительно изменялся в зависимости от дозы применяемых удобрений. На контроле его значение составило 41,4%. Внесение минеральных удобрений снижают Кн на 20,7 % (N₉₀P₉₀K₉₀) и на 24,7% (N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀) по сравнению с контролем. Внесение органических удобрений способствуют наибольшему увеличению коэффициента накопления на 22,6% на варианте навоз 40 т/га и на 41% на варианте навоз 80 т/га относительно контроля. Совместное внесение минеральных и органических удобрений снижают коэффициент накопления кадмия относительно контроля, но незначительно.

Биологический вынос элементов с основной и побочной продукцией определяется величиной урожая, содержанием металла в растении, а также биологическими особенностями возделываемой культуры. На контроле вынос кадмия корнеплодами сахарной свёклы составил 0,18 г/га. Внесение минеральных удобрений, навоза и внесение минеральных удобрений на фоне навоза способствовали увеличению выноса кадмия с корнеплодами сахарной свёклы. На варианте N₉₀P₉₀K₉₀ и N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ вынос увеличился на 0,11 г/га или на 35,3 % и 0,18 г/га или на 45 % соответственно. В вариантах с внесением навоза вынос также увеличивался, но несколько меньше. Внесение одной дозы минеральных удобрений на фоне 80 т/га навоза максимально повысило вынос кадмия корнеплодами сахарной свёклы и он составил 0,42 г/га, что на 0,23 г/га или 78 % превышает вынос в варианте без применения удобрений.

Совместное внесение минеральных удобрений, и навоза максимально увеличили вынос кадмия ботвой по сравнению с контролем. В варианте N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + навоз 80 т/га вынос кадмия с ботвой сахарной свёклы составил 0,53 г/га, что выше контроля на 0,4 г/га. Внесение минеральных удобрений также увеличивают вынос кадмия с ботвой, но в меньшей степени относительно совместного внесения минеральных и органических удобрений. Повышение выноса кадмия также прослеживается в вариантах с органическими удобрениями, однако эти значения ниже вариантов с внесением минеральных удобрений и их совместным внесением с органическими.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САХАРНОЙ СВЁКЛЫ

5.1. Экономическая эффективность возделывания сахарной свёклы

Анализ расчета экономической эффективности возделывания сахарной свёклы показал в первую очередь увеличение затрат в соответствии с дозой применяемых удобрений. На контроле в среднем за три года исследований производственные затраты составили 14365 руб./га. Затраты возрастают в большей степени на вариантах с

применением минеральных удобрений в 1,8 раза относительно контроля при внесении одинарной дозы и в 2,2 раза с внесением двойной дозы удобрений. Затраты возрастают и при совместном внесении минеральных и органических удобрений, особенно в двойной дозе. В условиях нашего опыта они увеличились в 1,9 раза на варианте навоз 40 т/га + N₉₀P₉₀K₉₀ и в 2,3 раза при увеличении дозы органо-минеральных удобрений до 80 т/га навоза в сочетании с N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀. Самые низкие затраты на возделывание сахарной свёклы составили при внесении органики, что обуславливается одноразовым внесением навоза за ротацию севооборота.

Несмотря на высокие затраты на возделывание сахарной свёклы данная культура является высоко рентабельной. В большей степени рост производственных затрат связан с приобретением минеральных удобрений, однако данные затраты покрываются хорошей прибавкой урожая. Внесение органики одноразово за ротацию севооборота положительно влияет на снижение объема затрат. Так, наибольшая экономическая эффективность отмечается на варианте N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ в сочетании с навозом 80 т/га, где чистая прибыль составляет 60453 руб./га, а уровень рентабельности 184 % соответственно.

5.2 . Энергетическая эффективность применения удобрений при возделывании сахарной свёклы

Наибольшему накоплению энергии в корнеплодах сахарной свёклы способствует органо-минеральная система удобрений в двойной дозе 87428 МДж. Внесение минеральных удобрений в дозе 90 кг/га действующего вещества НРК оказывает положительное влияние на накопление энергии урожаем сахарной свёклы относительно вариант с внесением навоза 40 т/га в 1,4 раза. Примечательно, что в варианте с двойной дозы минеральных удобрений накопленная энергия в урожае культуры ниже в 1,1 раза по сравнению с вариантом навоз 80 т/га.

В структуре затрат нашего опыта наиболее затратными являются минеральные удобрения и их комбинации с навозом в двойной дозе, главным образом это обуславливается их приобретением. Внесение органических удобрений в меньшей степени способствует увеличению затрат на накопление энергии. Так, внесение N₉₀P₉₀K₉₀ в 2,9 раза увеличивают затраты по сравнению с одинарной дозой органических удобрений. Двойная доза минеральных приводит к увеличению затрат на 9693 МДж по отношению к N₉₀P₉₀K₉₀ и в 2,9 раза выше чем на варианте навоз 80 т/га.

Анализ коэффициента энергетической эффективности показал, что на всех вариантах опыта накопленная энергия в урожае выше затрат на ее получение. Наибольшая энергетическая эффективность отмечается на варианте N₉₀P₉₀K₉₀ и энергетический коэффициент составил 2,7. Однако, во всех вариантах опыта энергетический коэффициент выше единицы и составил от 1,4 до 1,9 единиц.

Сопоставляя показатели экономической и биоэнергетической оценки возделывания сахарной свёклы наиболее эффективным является применение органических удобрений в двойной дозе в сочетании с минеральными удобрениями N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀, где энергетический коэффициент составил 1,4, а уровень рентабельности 184%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Минеральные удобрения привели к усилению процесса минерализации органического вещества. Внесение органических удобрений способствовали повышению содержания гумуса в почве. Максимальное содержание гумуса в почве – 5,83% отмечено в варианте с внесением двойной дозы навоза.

Внесение минеральных, органических удобрений и совместное их внесение способствуют увеличению содержания щелочно-гидролизуемого азота в почве.

2. Содержание подвижного фосфора с 2000 г. по 2015 г. на варианте без внесения удобрений в слое 0-30 см повышается в 1,5 раза. Внесение удобрений приводит

к увеличению содержания его в почве. Минеральная система удобрений имеет преимущество в увеличении подвижного фосфора по отношению к органической, а сочетание органических и минеральных удобрений, особенно в двойных дозах, оказывают наибольшее положительное влияние на повышение фосфора в почве в 5 раз в слое 0-30 см и в 2,6 раза в слое 30-50 см относительно контроля.

Высокая обеспеченность почв обменным калием с 2000 г. по 2015 г. достигается при совместном внесении органических и минеральных удобрений. Применение минеральных и органических удобрений в отдельности способствуют увеличению данного показателя, но в меньшей мере относительно их совместных комбинаций, причем преимущественно обменный калий увеличивается на вариантах с минеральными удобрениями. Следует отметить, что увеличение калия главным образом отмечается в слое 0-30 см, а в слое 30-50 см его значения стабильны и изменяются от среднего содержания до повышенного уровня.

3. Длительное внесение минеральных удобрений приводит к росту гидролитической кислотности в разной степени. Наибольшие темпы ее повышения до среднекислой почвы отмечены при внесении только минеральных удобрений в двойной дозе $N_{180}P_{180}K_{180}$. Внесение навоза в дозе 40 т/га приводит к незначительному увеличению гидролитической кислотности, а в варианте с внесением навоза в дозе 80 т/га этот показатель снижается. Совместное применение органических и минеральных удобрений приводит к подкислению почвы до слабокислого уровня.

В период с 2000 г. по 2015 г. внесение минеральных удобрений подкисляют почвенный раствор, навоз в дозе 40 т/га и 80 т/га оказывает положительное влияние на реакцию почвенной среды, абсолютная величина pH_{KCL} увеличивается до 6,12 ед. и 6,40 ед. соответственно, что соответствует нейтральной реакции почвенной среды. Совместное внесение минеральных удобрений с навозом – 80 т/га также улучшают данный показатель.

4. Применение удобрений в разных дозах не оказали существенного влияния на изменение содержания валовых форм кадмия, однако его незначительное повышение наблюдается на всех вариантах. Наибольшее содержание валовых форм кадмия отмечено на вариантах с внесением навоза. В вариантах с применением минеральных удобрений темпы накопления элемента незначительны. При совместном внесении минеральных и органических удобрений также происходит накопление валовых форм кадмия в почве, но эти показатели не превышают ОДК.

Внесение минеральных, органических удобрений и их совместное внесение с 2000 г. По 2015 г. изменяют содержание подвижных форм кадмия, в сторону увеличения.

Коэффициент подвижности кадмия изменяется в зависимости от дозы вносимых удобрений. Наибольшая подвижность элемента прослеживается при внесении минеральных удобрений. Внесение навоза оказывает положительное влияние на снижение коэффициента подвижности.

5. Урожайность сахарной свёклы изменялась в зависимости от погодных условий и внесения удобрений. Внесение минеральных удобрений приводит к увеличению урожайности на 14,8 – 20,9 т/га в зависимости от дозы. Наибольший рост урожайности обеспечивается за счет совместного внесения минеральных и органических удобрений в двойной дозе. Внесение $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 80 т/га обеспечивает максимальную прибавку урожая – 34,2 т/га при урожайности корнеплодов сахарной свёклы 58,3 т/га.

6. Минеральные удобрения снижают сахаристость свёклы на 1,04 – 1,42%, но в тоже время увеличивают выход сахара на 2,16 – 3,65 т/га, за счет повышения урожайности. Органические удобрения стабилизируют показатели сахаристости свёклы на уровне контрольного варианта, а выход сахара повышается относительно контроля на 1,85 – 3,55 т/га. Наибольший выход сахара отмечен на варианте $N_{180}P_{180}K_{180}$ + навоз 80 т/га и составил 10,2 т/га.

7. Химический состав корнеплодов сахарной свёклы главным образом зависит от применения минеральных удобрений. С корнеплодами сахарной свёклы больше всего выносятся из почвы азот и калий и в меньшей степени калия. Вынос азота составляет 21,05 мг/кг, фосфора – 2,65 и калия – 19,84 мг/кг. Наибольшее количество питательных элементов выносятся за счет применения органо-минеральной системы удобрений в двойной дозе ($N_{180}P_{180}K_{180} + 80$ т/га), так вынос азота увеличивается в 2,7 раза; фосфора – 2,6 раза и калия в 2,5 раза.

В среднем за три года исследований наибольшее количество азота, фосфора и калия выносятся с нетоварной частью урожая. С корнеплодами сахарной свёклы в большей степени выносятся азот и калий, причем значительный их вынос отмечен при совместном внесении минеральных удобрений в двойной дозе с навозом в одинарной и двойной дозе.

Нитратный азот интенсивнее накапливается в ботве сахарной свёклы. Минеральная система удобрений в дозе (NPK)₉₀ и (NPK)₁₈₀ способствует максимальному накоплению нитратов однако их содержание ниже ОДК.

8. Содержание кадмия в корнеплодах сахарной свёклы составило от 0,029 мг/кг на контроле до 0,033 мг/кг в вариантах навоз 80 т/га и навоз 80 т/га + $N_{90}P_{90}K_{90}$, однако это ниже ПДК на 0,021 и 0,033 мг/кг. Минимальное содержание кадмия в корнеплодах сахарной свёклы составило 0,027 мг/кг в варианте навоз 80 т/га + $N_{180}P_{180}K_{180}$.

9. В ботве сахарной свёклы процесс накопления кадмия происходит интенсивнее чем в корнеплодах. По всем вариантам опыта его содержание в 2 раза превышает концентрацию в корнеплодах. Преимущественно содержание кадмия в ботве сахарной свёклы увеличивается при внесении только минеральных удобрений, особенно в двойной дозе.

10. Внесение минеральных удобрений увеличили коэффициент биологического поглощения в среднем на 1-5%, что связано с кислой реакцией почвенной среды. Внесение навоза и его совместное внесение с минеральными удобрениями снижают коэффициент биологического поглощения в среднем на 1 – 4% по сравнению с контролем.

11. Коэффициент накопления кадмия корнеплодами сахарной свёклы значительно изменялся в зависимости от дозы применяемых удобрений. на контроле его значение составило 41,4%. Внесение минеральных удобрений снижают Кн на 20,7 % ($N_{90}P_{90}K_{90}$) и на 24,7 ($N_{180}P_{180}K_{180}$) по сравнению с контролем. Внесение навоза увеличивает коэффициент накопления на 22,6% на варианте навоз 40 т/га и на 41% на варианте навоз 80 т/га относительно контроля. Совместное внесение минеральных и органических удобрений незначительно снижают коэффициент накопления кадмия.

12. Вынос с основной и побочной продукцией возрастает с ростом уровня применения удобрений. Применение двойной дозы минеральных удобрений увеличивало вынос кадмия корнеплодами сахарной свёклы на 42,7 % относительно контроля и на 17,7% относительно одинарной дозы. Наибольший суммарный вынос кадмия основной и побочной продукцией – 1,20 кг/га, составил в варианте с внесением двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствия 80т/га навоза.

13. Энергетическая эффективность применения удобрений при возделывании сахарной свёклы во всех вариантах опыта более 1,0. При возделывании сахарной свёклы наибольший уровень рентабельности составил 184% в варианте навоз 80 т/га + $N_{180}P_{180}K_{180}$.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для получения стабильных урожаев корнеплодов сахарной свёклы с сохранением плодородия почвы в условиях ЮГО-Западной части Центрально-Черноземного региона рекомендуем внесение навоз 80 т/га + $N_{180}P_{180}K_{180}$.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В дальнейшем планируется продолжение изучения данной темы: влияние средств химизации на экологическое и агрохимическое состояние чернозема типичного, а также продуктивность основных сельскохозяйственных культур. Составление математических моделей по регулированию основных показателей плодородия почв, повышению урожайности и качества сельскохозяйственных культур, а также разработка мероприятий по улучшению экологического состояния чернозема типичного

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Морозова, Т.С. Влияние минерального питания на накопление подвижного кадмия в почве и озимой пшенице / Т. С. Морозова, С. Д. Лицуков, **Л. А. Путятин** // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 9. – С. 52-54.
2. Морозова, Т.С. Содержание подвижного кадмия в почве при длительном применении удобрений / Т.С. Морозова, **Л.А. Путятин**, С.Д. Лицуков // Сахарная свекла: научно-практический журнал. – 2016. – № 1. – С. 33-35.
3. **Ефимова, Л.А.** Экологические аспекты применения удобрений в чернозёме типичном юго-западной части Центрально-Черноземного региона / Л.А. Ефимова, Т.С. Морозова, С.Д. Лицуков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2017. – № 1 (13). – С. 81-88.

Статьи, опубликованные в других научных изданиях

4. Тютюнов, С.И., Соловиченко, В.Д., Уваров, Г.И., Самыкин, В.Н., Логвинов, И.В., **Путятин, Л.А.** Загрязнение почв Белгородской области и технологические приемы их восстановления. – Белгород, «Отчий край», 2012. – 40с.
5. Тютюнов, С.И., Соловиченко, В.Д., Самыкин, В.Н., Логвинов, И.В., **Путятин Л.А.** Плодородие черноземов и ресурсосберегающие приемы возделывания сахарной свеклы в юго-западной части Центрально-Черноземного региона. – Белгород: «Отчий край», 2012. – 28с.
6. Тютюнов, С.И., Соловиченко, В.Д., Самыкин, В.Н., Логвинов, И.В., **Путятин Л.А.** Плодородие черноземов и ресурсосберегающие приемы возделывания озимой пшеницы в юго-западной части Центрально-Черноземного региона. – Белгород: «Отчий край», 2012. – 31с.
7. **Путятин, Л.А.** изменение содержания обменного калия в плодосменном севообороте в зависимости от способов обработки почвы и внесения удобрений юго-западной части ЦЧР / Л.А. Путятин // Исследования молодых ученых – аграрному производству: материалы онлайн-конференции, посвященной Дню российской науки, 4 февраля 2015 г. / Ассоциация аграрных вузов Центрального федерального округа. – Майский: Изд-во Белгородского ГАУ, 2015. – С. 61-64.
8. **Путятин, Л.А.** Действие удобрений на экологическое состояние чернозема типичного юго-западной части ЦЧР / Л.А. Путятин, С.Д. Лицуков // Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия: Материалы Всероссийской научно-практической конференции Белгородского научно-исследовательского института сельского хозяйства 14-17 июля 2015 г. Белгород: «Отчий край», 2015. – С. 338-342.