

На правах рукописи



Кожокина Анна Николаевна

**КАЛИЙНЫЙ И КАЛЬЦИЕВЫЙ РЕЖИМЫ ЧЕРНОЗЕМА
ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПОД САХАРНОЙ СВЕКЛОЙ ПРИ
МНОГОЛЕТНЕМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТЕ**

Специальность 06.01.04 – Агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Воронеж – 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» на кафедре агрохимии и почвоведения

Научный руководитель доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Мязин Николай Георгиевич

Официальные оппоненты: **Ступаков Алексей Григорьевич** – доктор сельскохозяйственных наук, кафедра земледелия, агрохимии и экологии ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», профессор

Минакова Ольга Александровна – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова», заведующая лабораторией агрохимии и агротехники возделывания культур в севообороте

Ведущая организация: ФГБУ «Государственный Центр Агрохимической Службы «Воронежский»

Защита состоится «27» сентября 2018 года в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 220.010.07 на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1; тел./факс (4732)53-86-51, e-mail: olga.koltsova.52@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» и на сайте www.ds.vsau.ru, с авторефератом – на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ www.vak3ed.gov.ru и ВГАУ www.ds.vsau.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2018 года

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью организации, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Кольцова Ольга Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Мобилизация и иммобилизация разных элементов питания в разных почвах имеет свои особенности. В отношении калия в многочисленных исследованиях на черноземных почвах не наблюдалось значительного снижения его содержания при многолетнем использовании почвы без внесения калийных удобрений. Это обусловлено тем, что черноземы имеют высокие валовые запасы данного элемента. Кроме того, калий способен к необменной фиксации, а затем, при наступлении благоприятных условий, снова переходить в почвенный раствор или в обменное состояние.

В связи с этим некоторые ученые отмечают, что определение только обменной формы калия, которое проводится в настоящее время агрохимической службой, не дает полного представления об обеспеченности почв калием.

Сахарная свекла относится к калиелюбивым культурам, а поскольку наиболее распространенные калийные удобрения – хлористый калий и калийная соль – являются хлорсодержащими, то при их внесении анион хлора образует с основаниями почвенного поглощающего комплекса растворимые соединения, что способствует вымыванию калия, а также кальция атмосферными осадками в нижележащие слои почвы. С этой точки зрения применения калийных удобрений должно сочетаться с известкованием почвы.

Известкование почв, хотя и несколько увеличивает содержание этого элемента в почвенном растворе, однако существенного улучшения калийного питания часто не обеспечивает, так как калий и кальций являются ионами-антагонистами. При средних уровнях обеспеченности калием, кальций проявляет себя антагонистом этого элемента, т.е. препятствует поступлению его в растения. Наиболее отчетливо это проявляется у сахарной свеклы и других культур, потребляющих много и калия, и кальция.

Степень разработанности темы. Изучением калийного режима почв занимались многие ученые. У истоков знаний о поведении калия в почве стояли К.К. Гедройц (1935), А.Л. Маслова (1938), В.Ф. Чириков (1956), И.Г. Важенин (1965), В.У. Пчелкин (1966), О.Г. Ониани (1981). Ими же разрабатывались и первые методы определения различных форм калия в почве, некоторые из которых актуальны до сих пор.

Проблеме влияния минеральных и органических удобрений на содержание различных форм калия в почве в последние десятилетия уделяли внимание Л.В. Никитина (1994), В.Г. Минеев (1999), В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин (2000), В.Г. Прижукова (2003), К.В. Павлов (2009), В.В. Носов (2013) и другие ученые. Проводились исследования и по изучению кальциевого режима почвы (Н.С. Авдонин и др., 1976, И.А. Шильников, Л.А. Лебедева, 1987, Е.М. Митрофанова, 2011, К.Е. Стекольников, 2011 и др.).

Однако большинство исследователей обращали внимание на калийный режим дерново-подзолистых и серых лесных почв. При изучении черноземов проблеме калия уделялось мало внимания. До конца не изученной остается и

проблема взаимовлияние калия и кальция при известковании кислых почв, особенно при выращивании калиелюбивых культур.

В связи с этим **целью данной работы** являлось изучение влияния многолетнего применения минеральных, органических удобрений и мелиоранта на калийный и кальциевый режимы чернозема выщелоченного лесостепи ЦЧР, урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы, выращиваемой в парозернопропашном севообороте.

В задачи исследований входило:

1. Установить влияние удобрений и мелиоранта на изменение агрохимических свойств чернозема выщелоченного.
2. Изучить изменение кальциевого режима чернозема выщелоченного при внесении удобрений и мелиоранта.
3. Определить влияние многолетнего применения удобрений на калийный режим чернозема выщелоченного.
4. Выявить взаимовлияние калийного и кальциевого режимов чернозема выщелоченного.
5. Оценить влияние удобрений и дефеката на урожайность корнеплодов сахарной свеклы и вынос элементов питания с урожаем.
6. Определить экономическую эффективность применения удобрений под сахарную свеклу на черноземе выщелоченном.

Научная новизна. Впервые в условиях многолетнего стационарного опыта на черноземе выщелоченном лесостепи ЦЧР дана комплексная оценка действия удобрений и мелиоранта на взаимовлияние кальция и калия в почве. Установлены закономерности изменения показателей кальциевого (содержание обменного кальция, активность ионов Ca^{2+} в почвенном растворе, известковый потенциал) и калийного (содержание различных форм калия и калийный потенциал) режимов чернозема выщелоченного под влияние удобрений и мелиоранта.

Теоретическая и практическая значимость работы. На основании проведенных исследований обосновано ухудшение калийного режима чернозема выщелоченного при известковании почвы, выявлено взаимовлияние кальция и калия в почве, установлено соотношение между различными формами калия. Полученные результаты могут быть использованы государственной агрохимической службой при агрохимическом обследовании почв и рекомендованы производству при выращивании сахарной свеклы по внесению под нее калийных удобрений и кальцийсодержащих мелиорантов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Совместное внесение минеральных, органических удобрений и дефеката стабилизирует кальциевый режим чернозема выщелоченного.
2. Определение обменной формы калия по методу Чирикова не дает полного представления обеспеченности им почвы. Определение содержания обменного калия лучше проводить по методу Масловой, а в случае известкования почвы, дополнять определением калийного потенциала.

3. Применение минеральных удобрений на фоне последействия только органических усиливает обменное поглощение калия, а совместно с известкованием почвы – необменную фиксацию этого элемента.

4. Наиболее эффективным вариантом в опыте следует считать вариант с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза и доеката. Для стабилизации калийного режима дозу калийных удобрений следует увеличить на 20–30%.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на международной научно-практических конференциях молодых ученых и специалистов Воронежского ГАУ в 2014–2016 гг., на конференции «Экология и биология почв» в ЮФУ, г. Ростов-на-Дону в 2014 г., на ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава Воронежского ГАУ в 2014–2017 гг. Результаты исследований представлялись на внутривузовский конкурс Воронежского ГАУ на лучшую научную работу молодых ученых в 2014 и 2016 гг., на втором и третьем этапах Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России в 2013 г. в номинации «Сельскохозяйственные науки».

Публикации. Результаты научных исследований изложены в 23 публикациях, 3 из которых входят в перечень рецензируемых журналов ВАК Министерства образования и науки РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения и предложений производству. Она изложена на 218 страницах машинописного текста, включает 26 таблиц, 13 рисунков, 29 приложений. Список литературы состоит из 318 источников, в том числе 22 иностранных.

Личный вклад автора. В работе использовались материалы, полученные лично автором в ходе проведенных исследований. Автор принимал непосредственное участие в разработке программы исследований, лично проводил полевые исследования, выполнял аналитические работы. Обработка полученных данных, их обобщение и выводы сделаны автором самостоятельно.

Диссертационные исследования проводились в соответствии с программой НИР кафедры агрохимии и почвоведения Воронежского ГАУ на 2011–2015 гг. «Агроэкологический мониторинг при длительном применении агрохимических средств в севооборотах лесостепи ЦЧЗ».

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук, профессору Мязину Николаю Георгиевичу за ценные советы и замечания на всех этапах выполнения диссертационной работы. Автор признателен доценту Брехову Петру Тимофеевичу, доценту Столповскому Юрию Ивановичу, агрохимику Ходуновой Таисии Владимировне за помощь и советы при проведении исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Проведен аналитический обзор научной литературы по изучаемой теме. Рассмотрено влияние многолетнего внесения удобрений и мелиорантов на изменение агрохимических свойств почв, а также на содержание кальция в почвах и их калийного режима. Представлены данные по изучению действия удобрений и мелиорантов на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы.

2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по данной теме проводились в 2012–2014 гг. на территории УНТЦ «Агротехнология» в стационарном полевом опыте кафедры агрохимии и почвоведения Воронежского ГАУ, заложенном в 1986 году.

Сахарная свекла размещалась в полевом шестипольном севообороте: чистый пар – озимая пшеница – сахарная свекла – вико-овсяная смесь на зеленый корм – озимая пшеница – ячмень. К моменту окончания настоящих исследований шла пятая ротация севооборота.

Схема опыта включает 15 вариантов. Наши исследования проводились на семи: 1. Без удобрений – контроль. 2. 40 т/га навоза – фон. 3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$. 5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$. 12. Фон + дефекат (последействие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$. 13. Фон + дефекат (последействие). 15. $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последействие). Повторность опыта четырехкратная, размещение повторений двухъярусное, расположение делянок систематическое шахматное. Общая площадь опытной делянки 191,7 м² (35,5 м×5,4 м), учетная площадь – 50 м². Почва опытного участка представлена черноземом выщелоченным малогумусным среднемогучным тяжелосуглинистым на покровных суглинках.

Доза удобрений $N_{120}P_{120}K_{120}$ принята как оптимальная, рекомендованная для внесения под сахарную свеклу на черноземе выщелоченном ЦЧЗ по результатам полевых опытов.

В опыте использовались следующие минеральные удобрения: аммиачная селитра (34,5 %), суперфосфат простой (20%), хлористый калий (60%). Они вносились под сахарную свеклу вручную осенью под вспашку. Навоз и мелиорант внесены в черный пар под озимую пшеницу и сахарная свекла использует их последействие. Мелиорант в пятой ротации севооборота не вносили, то есть культура испытывала 8 год его последействия.

При возделывании сахарной свеклы применялась общепринятая для ЦЧР агротехника.

В период вегетации растений отбирались образцы почвы на глубину до 100 см, послойно через каждые 20 см с двух несмежных повторений в четырехкратной повторности в три срока: весной перед посевом, в середине вегетации (начало июля) и осенью перед уборкой.

В отобранных образцах определялись следующие показатели: влажность почвы (весовым методом, ГОСТ 5180); содержание аммонийного азота (фотометрическим методом, ГОСТ 26489); содержание нитратного азота (потенциометрическим методом, ГОСТ 26488); содержание подвижных форм фосфора (по Чирикову в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26204–91); pH_{KCl} (потенциометрическим методом в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26483–85); гидролитическая кислотность (по Каппену ГОСТ, 26212–91); содержание обменного кальция и магния (комплексометрическим методом, ГОСТ 26487–85); гумус (по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213–91). Содержание различных форм калия в почве определяли по следующим методам: легкодоступной – по методу Голубевой (метод лаборатории агропочвоведения ВИУА), обменной – по методам Чирикова (ГОСТ 26204–91) и Масловой (ГОСТ 26210–91); легкогидролизуемой необменная – по методу Пчелкина (авторское свидетельство № 1220684/30–15); калийный и кальциевые потенциалы почвы – потенциометрическим методом с использованием ионселективных электродов.

Перед уборкой урожая были отобраны растительные образцы, в которых определялось: содержание сахарозы в корнеплодах (поляриметрическим методом, ГОСТ 30305.2–95), содержание элементов питания в основной и побочной продукции после мокрого озоления (азота (ГОСТ 13496–93) и фосфора (ГОСТ 26657–97) – колориметрическим методом, калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504–97); кальция и магния – трилонометрическим методом. Вынос элементов питания определяли расчетным методом.

Химические анализы проводились в лаборатории кафедры агрохимии и почвоведения Воронежского ГАУ и ГЦАС «Воронежский».

Учет урожая проводился сплошным методом, с учетной площади 50 м², вручную. Урожайные и аналитические данные были обработаны методами однофакторного дисперсионного и корреляционного анализов с помощью программы Statistica и пакета «Анализ данных» Microsoft Excel.

Результаты анализа метеоусловий за 2012–2014 гг. свидетельствуют о том, что урожайность по годам проведения исследований ограничивалась в основном неравномерным выпадением осадков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТА НА ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

3.1 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание гумуса в черноземе выщелоченном

По всем вариантам опыта в среднем за 2012–2014 гг. почва по содержанию гумуса оценивалась как малогумусная. Минимальным оно было на

контрольном варианте – 3,70%. Последствие органических удобрений способствовало увеличению содержания гумуса на 0,28%. Внесение на этом фоне минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ повышало этот показатель еще на 0,12 и 0,19%, соответственно.

Использование оптимальной дозы минеральных удобрений на фоне последствия дефеката (вариант 15) обеспечивало примерно такое же содержание гумуса, как и внесение этой дозы на фоне последствия навоза (вариант 3) – 4,14 и 4,11%, соответственно.

Наибольшее увеличение содержания гумуса относительного контрольного варианта наблюдалось при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последствия навоза и дефеката (вариант 12).

3.2 Влияние удобрений и мелиоранта на физико-химические свойства чернозема выщелоченного

Сельскохозяйственное использование чернозема выщелоченного приводило к изменению его физико-химических свойств. Так, перед посевом сахарной свеклы на варианте без внесения удобрений (контроль) почва в слое 0–40 см по степени кислотности оценивалась как слабокислая. При внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последствия навоза отмечалась тенденция к подкислению – почва из класса слабокислой на контрольном и фоновом вариантах переходила в класс среднекислой.

Использование минеральных удобрений в оптимальной дозе на фоне совместного последствия навоза и дефеката (вариант 12) и одного дефеката (вариант 15) приводило к повышению pH_{KCl} на 0,6–0,7 ед. по отношению к вариантам с минеральными удобрениями, внесенными на фоне последствия только органических. Гидролитическая кислотность при этом снижалась на 1,6–2,1 мг-экв./100 г почвы, соответственно. Однако оптимальные для сахарной свеклы показатели почвенной кислотности были получены только при совместном использовании навоза и дефеката без внесения минеральных удобрений (вариант 13).

Вместе с изменением почвенной кислотности изменялась и сумма обменных оснований. Так, внесение минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последствия органических уменьшало ее на 0,6 и 1,0 мг-экв./100 г почвы по сравнению с контролем и на 0,9 и 1,3 мг-экв./100 г почвы по сравнению с фоном.

Известкование, даже на восьмой год своего последствия, способствовало повышению суммы обменных оснований на 2,3–5,0 мг-экв./100 г почвы по отношению к неизвесткованным вариантам. Наиболее сильно это было выражено на варианте с совместным последствием навоза и дефеката.

Степень насыщенности почвы основаниями изменялась от повышенной на вариантах без внесения мелиоранта до высокой на известкованных вариантах опыта, с емкостью поглощения 31,9–32,0 мг-экв./100 г почвы в первом случае и 33,5–34,3 мг-экв./100 г почвы – во втором.

Все указанные показатели изменялись в процессе роста сахарной свеклы, и к концу ее вегетации наблюдалось подкисление почвы. При этом величина pH_{KCl} снижалась на 0,1–0,3 ед., с одновременным увеличением N_g на 0,3–0,7 мг-экв./100 г почвы и снижением суммы обменных оснований на 0,1–1,1 мг-экв./100 г почвы. Однако степень кислотности изменялась только на варианте с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза (класс кислотности снижался до слабокислого).

3.3 Влияние удобрений и мелиоранта на динамику содержания и запасов минерального азота в черноземе выщелоченном

Динамика форм минерального азота в период вегетации сахарной свеклы имела свои особенности. Так, максимальное количество нитратного азота накапливалось перед посевом культуры и в течение роста растений уменьшалось до минимального уровня к уборке урожая. Содержание в почве аммонийного азота минимальным было перед посевом культуры, к середине вегетации оно заметно возрастало, а к уборке наблюдалось некоторое его уменьшение.

Перед посевом сахарной свеклы и в середине вегетации содержание нитратной формы азота были выше, чем аммонийной. В конце вегетации в слое почвы 0–20 см преобладала аммонийная форма азота, а в нижележащих слоях соотношение $N-NO_3^- : N-NH_4^+$ изменялось от 0,7 до 2,2.

Общее количество запасов минерального азота в среднем за 2012–2014 гг. в метровом слое чернозема выщелоченного (рисунок 1) перед посевом сахарной свеклы минимальным было на контрольном варианте – 96,4 кг/га. Внесение минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последствия навоза увеличивало его более чем в 2 раза или на 117,5 и 185,4 кг/га, соответственно.

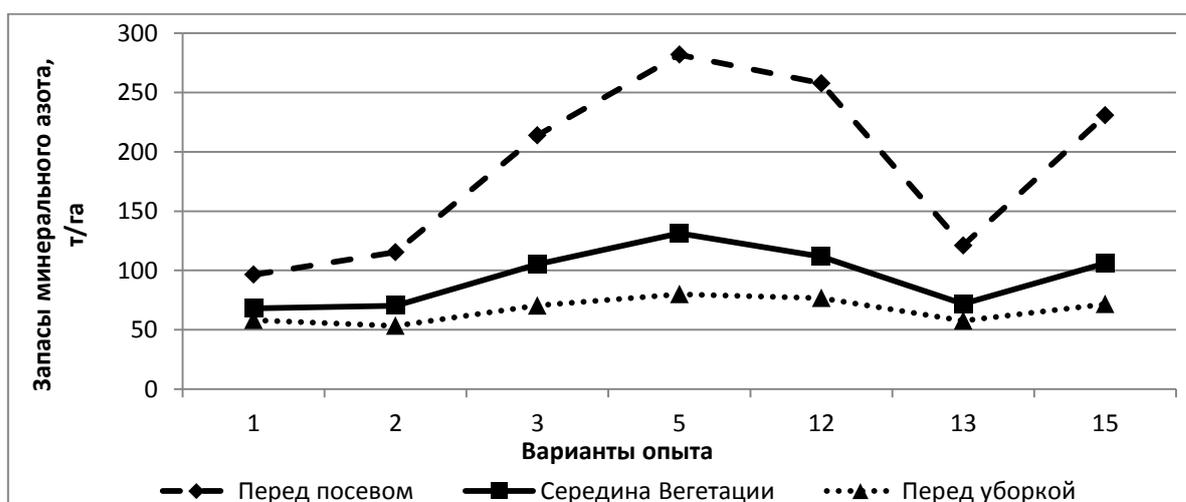


Рисунок 1. Динамика запасов минерального азота в метровом слое чернозема выщелоченного в период вегетации сахарной свеклы, кг/га, (среднее за 2012–2014 гг.)

На варианте с совместным последствием навоза и дефеката запасы минерального азота от фонового варианта отличались незначительно. Добавление к ним минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ увеличивало запасы минерального азота в 2,2 раза или на 136,7 кг/га почвы.

Наиболее активно растения потребляли азот в первой половине вегетации. К середине июля его запасы в почве снижались в 1,4–2,3 раза, причем больше всего – на вариантах опыта с внесением минеральных удобрений. К концу вегетации растений происходило дальнейшее снижение запасов минерального азота в почве.

Основное количество минерального азота было сосредоточено в слое почвы 0–60 см – 70–79% перед посевом культуры, 65–67% – в середине вегетации и 72–79% – перед уборкой от суммы в слое 0–100 см. В слое почвы 0–40 см накапливалось соответственно 48–57, 45–48 и 38–50% от суммы запасов в метровом слое.

3.4 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание подвижных форм фосфора в черноземе выщелоченном

Результаты наших исследований по изучению влияния удобрений и дефеката на содержание подвижных форм фосфора представлены на рисунке 2.

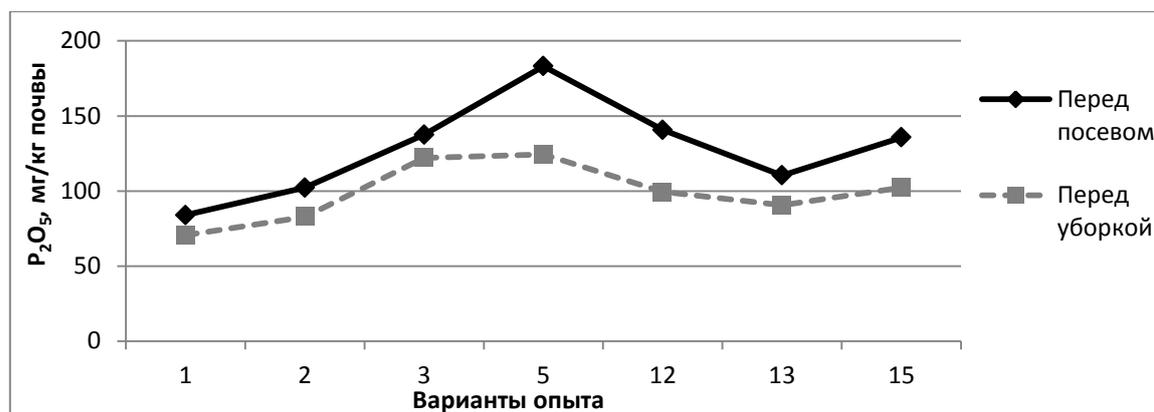


Рисунок 2. Влияние удобрений и дефеката на содержание подвижного фосфора в черноземе выщелоченном в период вегетации сахарной свеклы, слой почвы 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.

Из представленных данных видно, что в среднем за 2012–2014 гг. наибольшее содержание подвижных форм фосфора в слое почвы 0–40 см перед посевом культуры обеспечивало внесение минеральных удобрений в двойной дозе ($N_{240}P_{240}K_{240}$) на фоне последствия органических – класс высокой обеспеченности.

Применение минеральных удобрений в оптимальной дозе ($N_{120}P_{120}K_{120}$) на различных фонах, в том числе и с дефекатом, создавало условия для примерно одинакового содержания фосфора в почве – 135,7–140,7 мг/кг почвы – класс повышенной обеспеченности.

К концу вегетации сахарной свеклы содержание подвижного фосфора уменьшалось в 1,1–1,5 раза или на 13,4–58,8 мг/кг почвы.

4 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТА НА КАЛЬЦИЕВЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

4.1 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание обменного кальция в черноземе выщелоченном

Результаты изучения кальциевого режима чернозема выщелоченного (рисунок 3) показали, что последствие навоза благоприятно влияло на содержание обменного кальция, увеличивая его на 0,7 мг-экв./100 г почвы относительно контрольного варианта. Добавление к нему минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ приводило к снижению содержания обменного кальция по сравнению с фоновым вариантом, а во втором случае оно уменьшалось и по отношению к контролю.

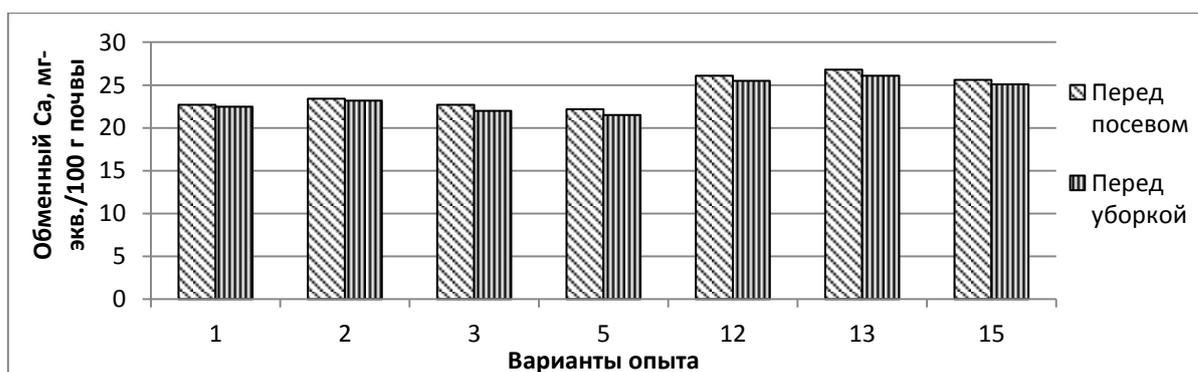


Рисунок 3. Влияние удобрений и мелиоранта на содержание обменного кальция в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, мг-экв./100 г почвы, слой 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.

Большее накопление обменного кальция в почве обеспечивали варианты с последствием известкования. Максимальное его количество наблюдалось в случае совместного последствия навоза и дефеката – 26,8 и 26,1 мг-экв./100 г почвы, соответственно перед посевом и перед уборкой культуры. Использование минеральных удобрений в оптимальной дозе ($N_{120}P_{120}K_{120}$) на фоне совместного последствия навоза и дефеката и одного дефеката обеспечивало несколько меньшее содержание обменного кальция – 25,6–26,1 и 25,1–25,5 мг-экв./100 г почвы, соответственно.

На вариантах без последствия дефеката большее количество обменного кальция наблюдалось в слое почвы 20–40 см, а на мелиорируемых – в слое 0–20 см.

Корреляционный анализ данных подтвердил, что на содержание обменного кальция в почве оказывали влияние как доза внесенных удобрений ($r = (-0,595) - (-0,821)$), так и величина почвенной кислотности ($r = 0,704 - 0,886$).

Расчет частного коэффициента корреляции с исключением влияния дозы удобрений показал, что содержание в почве обменного кальция все равно зависело от обменной кислотности, что наиболее ярко проявлялось перед посевом культуры ($r = 0,572-0,780$).

4.2 Влияние удобрений и мелиоранта на известковый потенциал чернозема выщелоченного

Наименьшая активность ионов кальция в почве, характеризующаяся величиной pCa , наблюдалась при внесении двойной дозы минеральных удобрений ($N_{240}P_{240}K_{240}$) на фоне последствия навоза (таблица 1). При этом почва испытывала сильную потребность в кальции. Не изменялась она и при внесении оптимальной дозы минеральных удобрений ($N_{120}P_{120}K_{120}$) на том же фоне (вариант 3).

Таблица 1. Влияние удобрений и мелиоранта на активность ионов кальция (pCa) и известковый потенциал чернозема выщелоченного, слой почвы 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.

Вариант	$pH_{вод.}$		pCa		0,5 pCa		Известковый потенциал	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	5,85	5,68	3,14	3,23	1,57	1,62	4,28	4,06
2. 40 т/га навоза (последствие) – фон	5,90	5,77	3,04	3,11	1,52	1,56	4,38	4,21
3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$	5,72	5,51	3,13	3,19	1,57	1,60	4,16	3,92
5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$	5,47	5,21	3,21	3,28	1,61	1,64	3,87	3,57
12. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последствие)	6,11	6,03	2,66	2,73	1,33	1,37	4,78	4,66
13. Фон + дефекат (последствие)	6,37	6,15	2,57	2,67	1,29	1,34	5,08	4,81
15. $N_{120}P_{120}K_{120}$ + Дефекат (последствие)	6,18	5,99	2,66	2,76	1,33	1,38	4,85	4,61

1* – перед посевом культуры; 2** – перед уборкой урожая

Известкование почвы существенно повышало активность ионов кальция, а величина pCa снижалась на 0,47–0,56 ед. перед посевом культуры и на 0,43–0,52 перед ее уборкой. Потребность почвы в кальции при этом оценивалась как средняя.

Известковый потенциал почвы, также как и величина pCa , наиболее благоприятные значения имел на вариантах с последствием дефеката. Он более точно отражал величину дефицита кальция в почве. Так, на варианте с последствием навоза и дефеката (вариант 13) потребность почвы в кальции характеризовалась как слабая перед посевом сахарной свеклы и как средняя перед ее уборкой. Внесение $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последствия навоза и дефеката и только дефеката уменьшало известковый потенциал почвы

по сравнению с 13 вариантом, а ее потребность в этом элементе увеличивалась до средней во все периоды развития.

Меньшей величиной известкового потенциала характеризовались контрольный, фоновый варианты и вариант с применением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия только навоза – 4,16–4,38 ед. перед посевом и 3,92–4,21 перед уборкой. Внесение минеральных удобрений в двойной дозе ($N_{240}P_{240}K_{240}$) обеспечивало минимальную величину известкового потенциала, и почва данного варианта испытывала сильный дефицит кальция.

Способность ионов кальция переходить в почвенный раствор на вариантах опыта без внесения дефеката в слое почвы 20–40 см была выше, чем в верхнем слое. Известкование почвы создавало условия для увеличения активности ионов кальция в верхнем слое почвы.

Корреляционный анализ данных показал, что и активность ионов кальция, и известковый потенциал почвы зависели от почвенной кислотности. Причем большую зависимость они имели от актуальной кислотности – парные коэффициенты корреляции составляли соответственно (–0,723) – (–0,772) и 0,974 – 0,996.

5. ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТА НА КАЛИЙНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

5.1 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание в почве легкодоступного калия

Содержание легкодоступной формы калия зависело от доз применяемых удобрений, $r = 0,808–0,960$ (рисунок 4). Самым высоким перед посевом сахарной свеклы оно было при внесении минеральных удобрений в максимальной дозе ($N_{240}P_{240}K_{240}$) на фоне последействия 40 т/га навоза – 7,2 мг/кг почвы (в среднем за 2012–2014 гг.). При внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на том же фоне количество легкодоступного калия было меньше почти в 2,5 раза. К концу вегетации разница в содержании легкодоступного калия между вариантами несколько сглаживалась.

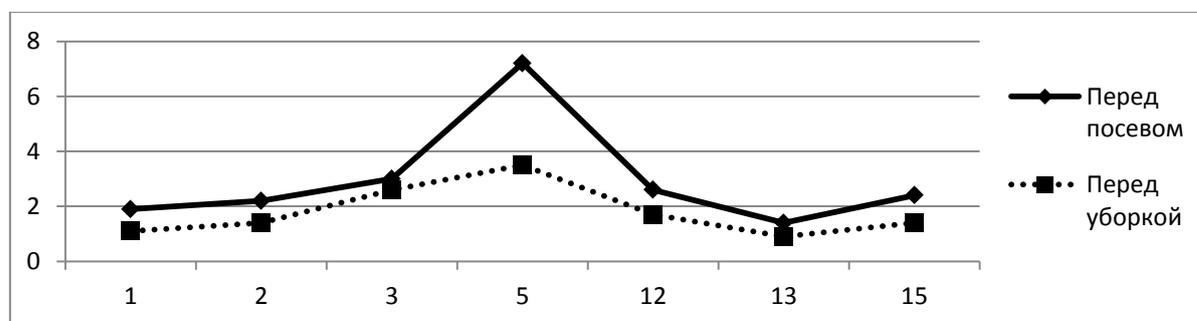


Рисунок 4. Влияние удобрений и дефеката на содержание легкодоступного калия в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, мг/кг почвы, слой 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг. (по методу Голубевой)

Минимальное содержание легкодоступного калия в опыте наблюдалось при совместном последствии навоза и дѣфеката. Внесение на этом фоне минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ несколько стабилизировало величину показателя, увеличивая перед посевом культуры в 1,9 раза (или на 1,2 мг/кг почвы). Однако в этом случае содержание легкодоступного калия было на 0,4 мг/кг почвы ниже, чем при использовании $N_{120}P_{120}K_{120}$ без мелиоранта (вариант 3). Применение $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия одного дѣфеката (вариант 15) приводило к снижению содержания легкодоступного калия по отношению к 3 варианту на 0,6 мг/кг почвы перед посевом и на 1,2 мг/кг почвы перед уборкой.

Такое действие дѣфеката, скорее всего, можно объяснить содержанием в нем кальция, который, попадая в почвенный раствор, а затем в ППК способствует уменьшению содержания обменного и легкоподвижного калия, увеличивая его необменную фиксацию почвой.

В условиях достаточного увлажнения калий активнее переходил в почвенный раствор, и содержание его легкодоступной для растений формы было выше, чем в засушливых условиях.

5.2 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание в почве обменного калия

При определении содержания обменного калия как по методу Чирикова, так и по методу Масловой обнаруживались практически одинаковые тенденции его изменения по вариантам опыта (рисунок 5). Однако использование метода Масловой обеспечивало более полное вытеснение калия из обменных позиций почвенных коллоидов, чем метод Чирикова.

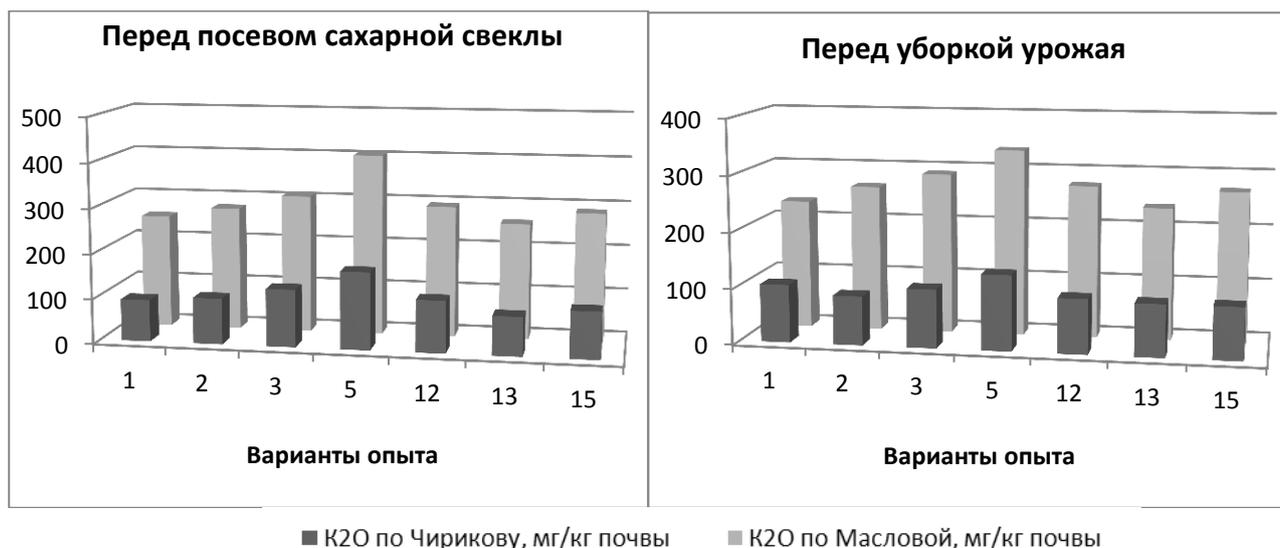


Рисунок 5. Влияние удобрений и дѣфеката на содержание обменного калия в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, мг/кг почвы, слой 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.

Кроме того, определение обменного калия по методу Масловой обеспечивало более точную оценку обеспеченности почвы этим элементом. Так, при определении обменного калия по методу Чирикова перед посевом сахарной свеклы обеспеченность почвы на контрольном, фоновом вариантах, при совместном последствии навоза и донфекаата и при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последствия навоза и донфекаата и одного донфекаата (варианты 1, 2, 13, 12 и 15) оценивалась как повышенная, а на вариантах с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последствия навоза (варианты 3 и 5) как высокая. При определении содержания обменного калия по методу Масловой обеспеченность почвы этих вариантов находилась на уровне высокой и очень высокой, соответственно.

Внесение минеральных удобрений на фоне последствия органических перед посевом сахарной свеклы приводило к накоплению обменной формы калия, увеличивая обеспеченность почвы этой формой элемента на один класс по сравнению с неудобренным вариантом. В случае известкования почвы данный процесс был выражен меньше – обеспеченность почвы обменным калием оставалось на уровне контроля. В наибольшей степени указанные закономерности обнаруживались при определении содержания обменного калия по методу Масловой.

К концу вегетации сахарной свеклы содержание обменного калия, определяемое как по методу Масловой, так и по методу Чирикова в слое почвы 0–40 см снижалось почти по всем вариантам опыта.

Содержание в почве обменной формы калия достаточно сильно зависело от дозы вносимых удобрений ($r = 0,808-0,963$). Была установлена и его высокая зависимость от величины почвенной кислотности ($r = (-0,813) - (-0,908)$). Однако исключение влияния на оба показателя дозы удобрений показало, что в этом случае теснота связи $K_2O - pH_{KCl}$ средняя ($r = (-0,310) - (-0,472)$).

5.3 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание в почве легкогидролизуемого необменного калия

При внесении минеральных удобрений на фоне последствия органических (варианты 3 и 5) содержание легкогидролизуемой необменной формы калия увеличивалось на 11–37 мг/кг почвы относительно неудобренного варианта (рисунок 6). При этом использование оптимальной дозы минеральных удобрений ($N_{120}P_{120}K_{120}$, вариант 3) обеспечивало на 26 мг/кг почвы большее содержание необменного калия, чем внесение двойной дозы ($N_{240}P_{240}K_{240}$, вариант 5).

Применение минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последствия навоза и донфекаата и одного донфекаата (варианты 12 и 15) приводило к накоплению примерно одинакового количества необменного калия (642 и 643 мг/кг почвы, соответственно). И оно было несколько выше варианта с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза (вариант 3).

Наибольшее содержание обменного калия обеспечивало совместное последствие навоза и донфекаата – 649 мг/кг почвы. При этом оно было выше варианта с последствием только навоза – на 26 мг/кг почвы и варианта с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза и донфекаата – на 7 мг/кг почвы.

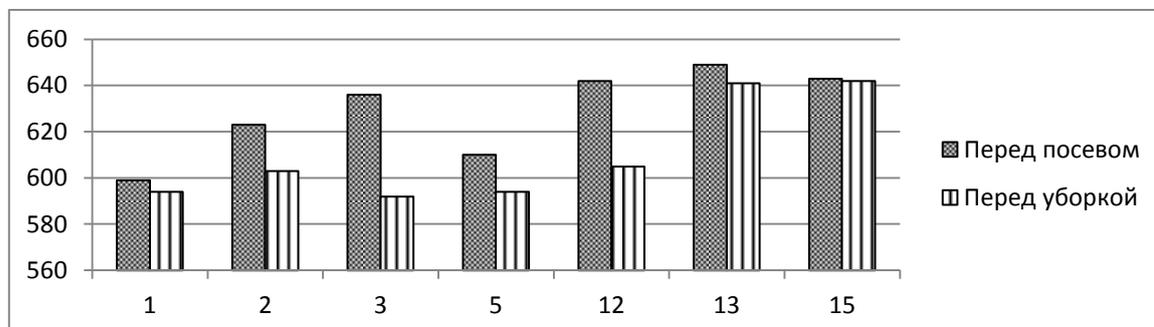


Рисунок 6. Влияние удобрений и донфекаата на содержание легкогидролизуемого обменного калия в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, мг/кг почвы, слой 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг. (по методу Пчелкина)

К концу вегетации содержание обменной формы калия в той или иной степени снижалось по всем вариантам опыта. Однако в 2013 году в условиях избыточного увлажнения было установлено его увеличение относительно периода до посева культуры.

5.4 Влияние удобрений и мелиоранта на соотношение содержания различных форм калия в почве

Общее содержание всех изучаемых форм калия перед посевом сахарной свеклы в слое почвы 0–40 см (таблица 2) максимальным было на варианте с двойной дозой удобрений, внесенной на фоне последствия навоза – 1014 мг/кг почвы. При использовании $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза содержание калия снижалось по сравнению с вариантом 5 – на 70 мг/кг почвы. Внесение $N_{120}P_{120}K_{120}$ при совместном последствии навоза и донфекаата обеспечивало на 11 мг/кг почвы меньшее содержание калия, а при последствии только донфекаата – на 24 мг/кг почвы, чем использование этой же дозы минеральных удобрений, но на фоне последствия навоза.

Минимальное содержание калия обнаруживалось при совместном последствии навоза и донфекаата без внесения минеральных удобрений.

Наименьшую долю от общего содержания калия имела легкодоступная форма элемента. Она изменялась от 0,2 до 0,7% перед посевом сахарной свеклы и от 0,1 до 0,4% перед ее уборкой.

Содержание обменной формы калия в почве было выше, чем обменной. Минимальное преобладание обменного калия над обменным перед посевом культуры наблюдалось на варианте с двойной дозой минеральных удобрений,

внесенной на фоне последействия навоза – 1,5. На остальных вариантах опыта оно было выше и изменялось от 2,1 при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза до 2,5 при совместном последействии навоза и дефеката.

Таблица 2. Влияние удобрений и дефеката на содержание различных форм калия в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, мг/кг почвы, среднее за 2012–2014 гг., слой почвы 0–40 см

Вариант	Легкодоступный калий (по методу Голубевой)		Обменный калий (по методу Чирикова)		Обменный калий (по методу Масловой)		Необменный легкогидролизуемый калий (по методу Пчелкина)		Общее содержание (легкодоступный + обменный + необменный)	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	1,9	1,1	93	104	254	233	599	594	853	827
2. Фон	2,2	1,4	102	88	276	263	623	603	899	866
3. Фон $N_{120}P_{120}K_{120}$ +	3,0	2,6	128	105	308	289	636	592	944	881
5. Фон $N_{240}P_{240}K_{240}$ +	7,2	3,5	172	135	404	335	610	594	1014	929
12. Фон $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последействие) +	2,6	1,7	116	98	293	274	642	605	935	879
13. Фон + дефекат (последействие)	1,4	0,9	87	94	259	238	649	641	908	879
15. Дефекат (последействие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$	2,4	1,4	105	94	287	270	643	642	930	912

1* – перед посевом культуры; 2** – перед уборкой урожая

К концу развития растений преобладание необменного калия над обменным увеличивалось. Но не во всех случаях. Исключение составлял вариант с использованием $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза.

5.5 Влияние удобрений и мелиоранта на калийный потенциал чернозема выщелоченного

Калийный потенциал почвы в среднем за 2012–2014 гг. перед посевом сахарной свеклы в слое 0–40 см изменялся в пределах 1,65–3,13 ед. (таблица 3). При этом оптимальным условиям питания сельскохозяйственных культур калием он соответствовал только на вариантах с внесением минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последействия навоза.

Известкование почвы приводило к увеличению величины калийного потенциала чернозема выщелоченного относительно контроля (на 0,62–0,78 ед.) и удобренных вариантов опыта (на 0,86–1,48). В наибольшей степени это наблюдалось при совместном последействии навоза и дефеката (вариант 13).

Таблица 3. Влияние удобрений и мелиоранта на калийный потенциал (КП) чернозема выщелоченного, слой почвы 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.

Вариант	pK		pCa		0,5 pCa		КП	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	3,95	3,96	3,14	3,23	1,57	1,62	2,35	2,38
2. Фон	3,80	3,92	3,04	3,11	1,52	1,56	2,28	2,37
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	3,67	3,74	3,13	3,19	1,57	1,60	2,11	2,15
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	3,25	3,32	3,21	3,28	1,61	1,64	1,65	1,68
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последействие)	4,30	4,42	2,66	2,73	1,33	1,37	2,97	3,05
13. Фон + дефекат (последействие)	4,42	4,51	2,57	2,67	1,29	1,34	3,13	3,17
15. Дефекат (последействие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	4,37	4,48	2,66	2,76	1,33	1,38	3,04	3,11

1* – перед посевом культуры; 2** – перед уборкой урожая

К концу вегетации растений происходило увеличение величины калийного потенциала почвы на 0,02–0,09 ед., то есть условия калийного питания растений ухудшались. Однако характер изменения этого показателя по вариантам опыта оставался такими же, как и перед посевом культуры.

6 ВЗАИМОВЛИЯНИЕ КАЛИЙНОГО И КАЛЬЦИЕВОГО РЕЖИМОВ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

Содержание обменного калия на не известкованных вариантах опыта увеличивалось от первого к пятому варианту с одновременным снижением содержания обменного кальция в почве. На известкованных вариантах наблюдалась тенденция к снижению содержания обменного калия и к повышению содержания обменного кальция. При этом расчет коэффициента корреляции показал, что связь между данными показателями оценивалась как средняя отрицательная.

При анализе содержания в почве необменной формы калия и обменного кальция, наблюдалось увеличение необменной фиксации калия с увеличением содержания обменного кальция практически по всем вариантам опыта. Исключение составлял вариант 5, где при самом низком содержании обменного кальция в опыте отмечалось и низкое содержание необменного калия. Скорее всего, здесь в наибольшей степени сказывалось влияние высокой дозы минеральных удобрений, внесение которой способствовало накоплению калия преимущественно в обменной форме.

Повышение активности ионов кальция в почве приводило к снижению активности ионов калия. Взаимовлияние данных показателей усиливалось при внесении в почву кальцийсодержащих мелиорантов. При этом коэффициент корреляции между величиной pCa и калийным потенциалом почвы на вариантах без известкования составлял – (–0,675) перед посевом сахарной свеклы и (–0,684) перед уборкой урожая, а на мелиорируемых вариантах (–0,814) и (–0,500), соответственно.

Наиболее ярко антагонистическое действие в почве между ионами кальция и калия обнаруживалось при сравнении известкового и калийного потенциалов. Коэффициент корреляции между ними перед посевом культуры составлял 0,960–0,970, а перед уборкой урожая – 0,636–0,966.

7 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТА НА УРОЖАЙНОСТЬ КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ С УРОЖАЕМ

7.1 Влияние удобрений и мелиоранта на урожайность и содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы

В среднем за 2012–2014 гг. была получена достаточно высокая урожайность корнеплодов сахарной свеклы (таблица 4).

Таблица 4. Влияние удобрений и дефеката на урожайность и содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы

Варианты опыта	Урожайность, т/га				Прибавка урожайности		Содержание сахара в корнеплодах, %, среднее за 2012–2014 гг.	Сбор сахара, т/га, среднее за 2012–2014 гг.
	2012 год	2013 год	2014 год	Среднее за 2012–2014 гг.	т/га	%		
1. Контроль	25,9	51,3	49,4	42,2	–	–	18,3	7,7
2. 40 т/га навоза (последействие) – фон	34,8	67,8	54,8	52,5	10,3	24,3	18,4	9,6
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	40,3	73,3	60,9	58,2	16,0	37,8	18,0	10,5
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	40,1	74,5	64,4	59,7	17,5	41,4	16,6	9,9
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последействие)	38,9	73,4	68,8	60,4	18,2	43,0	18,4	11,1
13. Фон + дефекат (последействие)	36,7	74,3	56,8	55,9	13,7	32,5	18,0	10,0
15. N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последействие)	42,1	73,2	61,4	58,9	16,7	39,6	18,5	10,9
НСР _{0,95} , т/га	3,80	2,53	3,91	–	–	–	–	–
Sx, %	3,45	1,26	2,34	–	–	–	–	–

На контрольном варианте опыта она составляла 42,2 т/га. Последействие одного навоза и совместное последействие навоза и дефеката увеличивало ее до 52,5 и 55,9 т/га, соответственно. А при внесении минеральных удобрений в дозе N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ в различных сочетаниях с органическими и мелиорантом она

составляла 58,2–60,4 т/га. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{240}P_{240}K_{240}$ обеспечивало урожайность корнеплодов в размере 59,7 т/га, то есть видимого преимущества перед вариантами с оптимальной дозой удобрений не давало.

Наибольшая прибавка урожая в опыте была получена при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза и дефеката – 18,2 т/га.

Говоря об изменении урожайности корнеплодов по годам проведения исследований, необходимо отметить, что наибольшая ее величина была получена в 2013 году – 51,3–74,5 т/га. При этом прибавки урожая изменялись от 21,9 до 23,2 т/га. Однако различия в прибавках урожая между удобренными вариантами опыта математически доказуемы не были.

В 2014 году получена меньшая урожайность корнеплодов сахарной свеклы. Она изменялась от 49,4 до 68,8 т/га. В условиях этого года прибавки урожая были достоверны как по отношению к контрольному варианту опыта, так и между удобренными вариантами. При этом наибольшей эффективностью отличался вариант с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последействия навоза и дефеката.

Значительно меньшей, чем в 2013 и 2014 гг., урожайность сахарной свеклы была в 2012 году и изменялась в пределах 25,9–42,1 т/га. Прибавки урожая были математически достоверны к контролю, но между собой варианты, как и в 2013 году, практически не отличались.

В среднем за 2012–2014 гг. на контрольном и фоновом вариантах содержание сахара составляло 18,3 и 18,4%, соответственно. Внесение минеральных удобрений на фоне последействия органических в оптимальной дозе (вариант 3) снижало его на 0,3 %, а в двойной (вариант 5) – на 1,7 % по сравнению с контролем.

Применение удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза и дефеката и $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия только дефеката создавало условия для практически одинакового накопления сахара в корнеплодах – 18,4–18,5 %.

Сбор сахара на удобренных вариантах опыта варьировал в пределах 9,6–11,1 т/га, в то время как на контроле он составлял – 7,7 т/га. Максимальную его величину в опыте обеспечивало внесение $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза и дефеката – 11,1 т/га, а минимальную – внесение двойной дозы минеральных удобрений – 9,9 т/га.

7.2 Влияние удобрений и мелиоранта на вынос элементов питания корнеплодами сахарной свеклы

Проведенные нами исследования показали, что внесение минеральных удобрений увеличивало содержание азота в корнеплодах на 0,12–0,22% по отношению к контролю. При этом использование минеральных удобрений в оптимальной дозе на различных фонах (варианты 3,12 и 15) создавало условия

для примерно одинакового содержания азота в корнеплодах – 0,52–0,53%, а при внесении двойной дозы (вариант 5) оно увеличивалось до 0,63%.

В листьях содержание азота было выше, чем в корнеплодах – в среднем в 4,7 раза. При этом наибольшим оно было при внесении двойной дозы минеральных удобрений, а наименьшим на контрольном варианте – 2,70 и 2,13%, соответственно.

Содержание фосфора в корнеплодах и листьях, как и в случае азота, зависело от дозы минеральных удобрений и изменялось в пределах 0,14–0,28 и 0,32–0,61%, соответственно.

Содержание калия на контрольном и фоновом вариантах составляло 0,52 и 0,59%, соответственно, а при внесении минеральных удобрений на фоне последствия только органических изменялось от 0,59 до 0,67%. При этом на вариантах с последствием дефеката наблюдалось некоторое снижение содержания калия в корнеплодах по сравнению с не известкованными вариантами опыта – на 0,05–0,08%.

Такие же тенденции распределения содержания калия наблюдались и в листьях – при известковании почвы оно было на 0,7–0,9% ниже, чем на не известкованных вариантах опыта.

Содержание кальция, наоборот, было выше на вариантах с последствием известкования – на 0,03–0,09% в корнеплодах и на 0,07–0,1% в листьях.

Вынос элементов питания с урожаем сахарной свеклы (таблица 5) зависел как от их содержания в растениях, так и от урожайности культуры. Среди изучаемых элементов питания больше всего сахарная свекла выносила калия – 193,5–341,3 кг/га. Достаточно высоким был и вынос азота – 168,5–319,3 кг/га. Величина выноса фосфора и кальция была значительно ниже и изменялась в пределах 34,1–93,2 и 35,5–71,4 кг/га, соответственно.

Вынос азота и фосфора, как и их содержание, увеличивался с повышением дозы внесенных элементов питания. От известкования почвы он зависел только косвенным образом. В отношении калия и кальция наблюдались иные закономерности. Так, на не известкованных вариантах опыта вынос калия увеличивался с увеличением дозы удобрений.

Таблица 5. Вынос элементов питания с урожаем сахарной свеклы, среднее за 2012–2014 гг.

Вариант	Корнеплоды, кг/га				Листья, кг/га				Общий вынос, кг/га			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1	44,7	15,8	57,6	12,1	123,7	18,4	135,9	23,4	168,5	34,1	193,5	35,5
2	65,8	23,3	80,4	15,5	162,7	25,7	173,8	30,0	228,5	49,0	254,1	45,5
3	79,5	38,3	101,7	21,6	197,9	34,4	208,0	35,2	277,4	72,7	309,7	56,8
5	98,2	42,9	114,2	21,2	221,1	50,3	227,1	35,0	319,3	93,2	341,3	56,2
12	82,2	39,8	97,3	29,8	207,8	33,2	210,0	40,9	289,9	73,0	307,3	70,8
13	70,1	26,6	75,4	26,6	174,0	25,9	185,8	39,8	244,1	52,5	261,2	66,4
15	81,6	36,7	90,8	30,6	201,4	32,7	202,8	40,8	283,0	69,4	293,6	71,4

Внесение минеральных удобрений приводило и к росту выноса кальция – он повышался по сравнению с контрольным вариантом на 20,7–21,3 кг/га, а по сравнению с фоном – на 10,7–11,3 кг/га. Но это увеличение происходило главным образом за счет повышения общей массы урожая.

На производственных вариантах опыта наблюдалось снижение выноса калия на 2,4–16,1 кг/га и увеличение выноса кальция на 14,0–20,9 кг/га по сравнению с не производственными вариантами. В этом случае проявлялось влияние различного содержания калия и кальция в основной и побочной продукции.

Расчет выноса 1 т основной продукции с учетом соответствующего количества побочной показал, что на вариантах опыта с внесением минеральных удобрений этот показатель по азоту был несколько выше, чем средние данные для ЦЧР, а по фосфору, калию и кальцию ниже.

8 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД САХАРНУЮ СВЕКЛУ

При внесении минеральных удобрений на фоне последствия навоза и дефеката, повышалась не только урожайность корнеплодов сахарной свеклы, но и значительно (на 20–30%) возрастала стоимость продукции. Самая высокая стоимость, в сравнении с контролем, отмечалась на варианте, где применялись минеральные удобрения в оптимальной дозе ($N_{120}P_{120}K_{120}$) на фоне последствия навоза и дефеката – 132880 руб.

Себестоимость 1 т продукции изменялась от 861,95 руб. на варианте с совместным последствием навоза и дефеката до 1351,36 руб. на варианте с двойной дозой минеральных удобрений.

На всех вариантах опыта был получен условно–чистый доход. Также, в сравнение с контролем, практически по всем вариантам опыта был получен и дополнительный доход. Исключение составлял вариант с двойной дозой минеральных удобрений (вариант 5).

Применение удобрений в оптимальной дозе ($N_{120}P_{120}K_{120}$) на различных фонах обеспечивало практически одинаковую рентабельность производства – 49,5–51,9%, с некоторым преимуществом варианта с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия дефеката. Существенно ниже она была на варианте с двойной дозой удобрений – 38,6%. Следует отметить и высокую рентабельность вариантов без внесения минеральных удобрений (вариант 2 и 13). Однако в этом случае неизбежна деградация почвенного плодородия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных нами в 2012–2014 гг. исследований в полевом стационарном опыте на черноземе выщелоченном при выращивании сахарной свеклы можно сделать следующие выводы:

1. Внесение удобрений и мелиоранта оказывало существенное влияние на физико-химические свойства почвы. В среднем за три года минимальное содержание гумуса наблюдалось в почве контрольного варианта. Последствие 40 т/га навоза увеличивало его на 0,28%, а внесение на этом фоне минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ соответственно на 0,41 и 0,48% относительно контроля. Максимальное содержание гумуса в почве (4,26%) было отмечено при совместном внесении минеральных, органических удобрений и мелиоранта ($N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза и дефеката).

Систематическое внесение минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последствия навоза без известкования почвы приводило к ее подкислению, переводя из класса слабокислой на контрольном и фоновом вариантах в класс среднекислой. Последствие навоза и дефеката обеспечивало снижение почвенной кислотности.

2. Максимальные запасы минерального азота в черноземе выщелоченном отмечались на варианте с двойной дозой удобрений, внесенной на фоне последствия навоза. При этом основное количество минерального азота было сосредоточено в слое почвы 0–60 см.

Среди минеральных форм азота перед посевом сахарной свеклы преобладала нитратная, а перед уборкой урожая, наоборот, запасы аммонийной формы азота были выше, чем нитратной.

Внесение минеральных удобрений на различных фонах создавало условия для увеличения содержания подвижного фосфора в почве – с класса средней обеспеченности на контроле до повышенной при использовании оптимальной дозы минеральных удобрений и высокой на варианте с двойной их дозой.

3. Внесение минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последствия органических приводило к снижению содержания обменного кальция по сравнению с фоновым вариантом на 0,7–1,2 мг-экв./100 г почвы.

Максимальное содержание обменного кальция в опыте наблюдалось в случае совместного последствия навоза и дефеката без внесения минеральных удобрений – 26,8 и 26,1 мг-экв./100 г почвы, соответственно перед посевом и перед уборкой культуры.

Корреляционный анализ показал, что на содержание обменного кальция в почве оказывали влияние как доза внесенных удобрений ($r = (-0,595) - (-0,821)$), так и величина почвенной кислотности ($r = 0,704 - 0,886$).

Известкование почвы существенно повышало активность ионов кальция (величина pCa снижалась на 0,47–0,56 ед. перед посевом культуры и на 0,43–0,52 перед уборкой).

Определение известкового потенциала почвы показало, что на контрольном, фоновом вариантах и при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза потребность в кальции оценивалась как средняя, а на варианте с двойной дозой минеральных удобрений, внесенной на фоне

последствия органических была сильной. Слабая потребность почвы в кальции наблюдалась только на варианте с совместным последствием навоза и дефеката перед посевом сахарной свеклы.

Активность ионов кальция и известковый потенциал почвы зависели от почвенной кислотности. Причем большую зависимость они имели от актуальной кислотности – парные коэффициенты корреляции составляли соответственно $(-0,723) - (-0,772)$ и $0,974 - 0,996$.

4. Максимальное содержание изучаемых форм калия наблюдалось при внесении $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последствия навоза – 1014 и 929 мг/кг почвы соответственно перед посевом культуры и перед уборкой урожая. Минимальное содержание калия обнаруживалось при совместном последствии навоза и дефеката без внесения минеральных удобрений.

Среди форм калия наименьшую долю от общего его содержания имела легкодоступная – от 0,2% до 0,7% перед посевом сахарной свеклы и от 0,1 до 0,4% перед ее уборкой. Содержание легкодоступной формы калия сильно зависело от доз применяемых удобрений ($r = 0,808-0,960$) и снижалось под влиянием последствия известкования чернозема выщелоченного.

Внесение минеральных удобрений в различных дозах и на различных фонах увеличивало содержание обменного калия в почве. При этом оно сильно зависело от дозы вносимых удобрений ($r = 0,808-0,963$) и от величины почвенной кислотности ($r = (-0,813) - (-0,908)$).

Использование уксуснокислого аммония (метод Масловой) обеспечивало более полное вытеснение калия из обменных позиций почвенных коллоидов, чем приготовление почвенной вытяжки с уксусной кислотой (метод Чирикова). Содержание обменного калия, определяемое по методу Масловой, было в 2–3, а иногда даже 5 раз выше, чем по методу Чирикова.

Содержание легкогидролизуемой необменной формы калия в почве было в 1,5–2,5 раза выше, чем обменной.

Внесение минеральных удобрений на фоне последствия органических способствовало увеличению обменного поглощения калия, причем в наибольшей степени при использовании их высоких доз ($N_{240}P_{240}K_{240}$). А внесение минеральных удобрений на произвесткованной почве увеличивало необменную фиксацию этого элемента.

Определение величины калийного потенциала почвы показало, что при практически одинаковом содержании обменного калия, его способность переходить в почвенный раствор, а, следовательно, и служить источником для питания растений, существенно различается. Внесение $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия только навоза обеспечивало оптимальные условия питания культуры калием.

5. Поведение калия и кальция как в растворе, так и в обменно-поглощенном состоянии было взаимосвязано. Повышение активности ионов кальция в почве приводило к снижению активности ионов калия. Взаимовлияние данных показателей усиливалось при внесении в почву кальцийсодержащих мелиорантов. При этом коэффициент корреляции между

величиной p_{Ca} и калийным потенциалом почвы на вариантах без известкования составлял – (–0,675) перед посевом сахарной свеклы и (–0,684) перед уборкой урожая, а на мелиорируемых вариантах (–0,814) и (–0,500), соответственно.

Наиболее ярко антагонистическое действие в почве между ионами кальция и калия обнаруживалось при сравнении известкового и калийного потенциалов. Коэффициент корреляции между ними перед посевом культуры составлял 0,960–0,970, а перед уборкой урожая – 0,636–0,966.

6. Внесение минеральных удобрений на различных фонах способствовало увеличению урожайности культуры в среднем за 2012–2014 гг. на 16,0–18,2 т/га по сравнению с неудобренным вариантом опыта. Наибольшую эффективность среди изучаемых вариантов опыта показал вариант с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствий навоза и дефеката (урожайность составляла 60,4 т/га).

Сахаристость корнеплодов под влиянием минеральных удобрений, внесенных на фоне последствий органических, уменьшалась по сравнению с неудобренным вариантом опыта на 0,3–1,7%. Использование оптимальной дозы минеральных удобрений совместно с внесением органических удобрений и известкованием почвы обеспечивало сахаристость корнеплодов на уровне контроля или на 0,1–0,2% выше и максимальный сбор сахара – 11,1 т/га.

7. Внесение минеральных удобрений приводило к увеличению содержания элементов питания как в корнеплодах, так и в листьях. При этом известкование почвы способствовало уменьшению содержания калия и увеличению содержания кальция в растениях.

Вынос элементов питания зависел как от их содержания в растениях, так и от урожайности сахарной свеклы. Наибольшую величину в опыте в отношении азота, фосфора и калия он имел на варианте с двойной дозой удобрений (319,3, 93,2 и 341,3 кг/га, соответственно), а в отношении кальция – при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствий дефеката (71,4 кг/га).

8. Применение минеральных удобрений на различных фонах экономически оправдано. Наибольшую экономическую эффективность показали варианты с оптимальной дозой минеральных удобрений ($N_{120}P_{120}K_{120}$). Уровень рентабельности при этом составлял 49,5–51,9%. Существенно ниже он был на варианте с двойной дозой удобрений – 38,6%. Высокая рентабельность была получена и на вариантах без внесения минеральных удобрений (варианты 2 и 13). Однако в этом случае неизбежна деградация почвенного плодородия.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

На основании проведенных исследований агрохимической службе страны можно рекомендовать:

1. При проведении агрохимического обследования для получения более точной и полной информации о содержании обменного калия в почве при его определении следует использовать метод Масловой (приготовление почвенной вытяжки из 1 н раствора уксуснокислого аммония). Периодически (1 раз в 7–10 лет) определять содержание легкогидролизуемого обменного калия (по

методу Пчелкина), как ближайшего источника пополнения его обменной формы.

2. При выращивании в севообороте чувствительных к кислотности и в то же время калиелюбивых культур (например, сахарная свекла) в случае проведения известкования определение содержания в почве обменной формы калия дополнять определением ее калийного потенциала.

Сельскохозяйственным предприятиям при выращивании сахарной свеклы на черноземе выщелоченном рекомендуется под ее предшественник внесение органических удобрений с одновременным известкованием почвы. Если показатели почвенной кислотности благоприятные и известкование не требуется, ограничиться внесением оптимальной дозы минеральных удобрений $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия органических. При проведении известкования почвы необходимо увеличить дозу калийных удобрений на 20–30%.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Мязин Н.Г. Влияние удобрений на изменение содержания элементов питания в почве, продуктивность и качество корнеплодов сахарной свеклы / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3. – С. 15–21.

2. Мязин Н.Г. Калийный режим и агрохимические свойства чернозема выщелоченного при многолетнем применении удобрений под сахарную свеклу / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4–2 (47). – С. 26–33.

3. Мязин Н.Г. Пищевой режим чернозема выщелоченного под свеклой сахарной в зависимости от доз минеральных удобрений / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина, Ю.И. Столповский, П.И. Подрезов // Аграрная наука. – 2017. – № 9–10. – С. 14–16.

В аналитических сборниках и материалах конференций

1. Кожокина А.Н. Влияние длительного применения удобрений и мелиоранта на калийный режим чернозема выщелоченного / А.Н. Кожокина, Н.Г. Мязин // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2014. – С. 213–219.

2. Кожокина А.Н. Влияние удобрений и мелиоранта на кальциевый режим чернозема выщелоченного / А.Н. Кожокина, Н.Г. Мязин // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2016. – С. 46–51.

3. Кожокина А.Н. Изменение физико-химических свойств чернозема выщелоченного под влиянием многолетнего применения удобрений и

мелиоранта / А.Н. Кожокина, Н.Г. Мязин // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И. С. Косенко. – Краснодар: Изд-во Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. – С. 29–30.

4. Кожокина А.Н. Калийный и кальциевый режимы чернозема выщелоченного при многолетнем применении удобрений и мелиоранта под сахарную свеклу / А.Н. Кожокина, Н.Г. Мязин // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2015. – С. 76–81.

5. Мязин Н.Г. Агрохимические свойства почвы и урожайность сахарной свеклы при использовании дефеката / Н.Г. Мязин, П.Т. Брехов, А.Н. Кожокина // Агропромышленный комплекс на рубеже веков: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию агроинженерного факультета. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2015. – С. 277–284.

6. Мязин Н.Г. Агрохимическое обоснование доз удобрений, установленных различными методами, под сахарную свеклу на черноземе выщелоченном в условиях лесостепи ЦЧЗ / Н.Г. Мязин, Ю.И. Столповский, А.Н. Кожокина // Актуальные проблемы агротехнологий XXI века и концепции их устойчивого развития: материалы национальной заочной научно-практической конференции. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2016. – С. 30–34.

7. Мязин Н.Г. Оптимизация калийного состояния чернозема выщелоченного при многолетнем применении удобрений и мелиоранта под сахарную свеклу в условиях лесостепи ЦЧЗ / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина, П.Т. Брехов // Экология и биология почв: материалы конференции, к 100-летию южного федерального университета, к 80-летию академии биологии и биотехнологии. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южный федеральный университет, 2014. - С. 440–443.

8. Мязин Н.Г. Урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы при внесении удобрений и мелиоранта на черноземе выщелоченном / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина // Агроэкологический вестник. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2016. – С. 151–158.

9. Кожокина А.Н. Влияние доз удобрений, установленных различными методами, на урожайность и сахаристость корнеплодов сахарной свеклы в условиях чернозема выщелоченного лесостепи ЦЧЗ / А.Н. Кожокина, Ю.И. Столповский // Вестник студенческого научного общества. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГАУ, 2012. – С. 123–125.

10. Кожокина А.Н. Влияние доз удобрений, установленных различными методами, на чернозем выщелоченный при выращивании сахарной свеклы / А.Н. Кожокина // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2011. – С. 265–268.

11. Мязин Н.Г. Изменение содержания элементов питания в почве под сахарной свеклой при различных дозах удобрений на черноземе выщелоченном / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина // Глинковские чтения: материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2013. – С. 140–144.
12. Бачурин А.А. Влияние многолетнего применения удобрений на фосфорно-калийный режим чернозема выщелоченного и продуктивность сахарной свеклы / А.А. Бачурин, А.Н. Кожокина, Ю.И. Столповский // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 65-й научной студенческой конференции. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2014. – С. 34–39.
13. Мязин Н.Г. Влияние дефеката на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и урожайность сахарной свеклы / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: материалы IV Международной научной экологической конференции. – Краснодар: Изд-во Кубанский ГАУ, 2015. – С. 302–307.
14. Мязин Н.Г. Основные параметры калийного состояния чернозема выщелоченного при многолетнем применении удобрений под сахарную свеклу / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина // Научный вклад молодых исследователей в сохранение традиций и развитие АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГАУ, 2015. – С. 21–23.
15. Кожокина А.Н. Влияние многолетнего применения удобрений и мелиоранта на кислотно-основное состояние чернозема выщелоченного при выращивании сахарной свеклы / А.Н. Кожокина // Наука и молодежь: новые идеи и решения: материалы IX Международной научно-практической конференции молодых исследователей. – Волгоград: Изд-во Волгоградский ГАУ, 2015. – С. 180–182.
16. Кожокина А.Н. Влияние многолетнего применения удобрений и мелиоранта на пищевой режим чернозема выщелоченного под сахарной свеклой / А.Н. Кожокина // Деградация почв и продовольственная безопасность России: материалы международной научной конференции XVIII Докучаевских молодежных чтений. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2015. – С. 111–113.
17. Мязин Н.Г. Влияние многолетнего применения различных систем удобрения на урожай и качество корнеплодов сахарной свеклы / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина // Коняевские чтения: V Юбилейная международная научно-практическая конференция. – Екатеринбург: ООО «Альфа Принт», 2016. – С. 343–346.
18. Мязин Н.Г. Взаимовлияние калия и кальция в питании сахарной свеклы / Н.Г. Мязин, П.И. Подрезов, А.Н. Кожокина // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов: материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2016. – С. 50–58.

19. Мязин Н.Г. Изменение показателей плодородия чернозема выщелоченного при многолетнем применении удобрений / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина // Агротехнологии XXI века: материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2017. – С. 14–22.

20. Кожокина А.Н. Калийный режим чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений и мелиоранта / А.Н. Кожокина, Н.Г. Мязин // Вестник студенческого научного общества. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГАУ, 2014. – С. 35–36.