

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I»

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

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель - доктор
сельскохозяйственных наук,
профессор Мязин Николай Георгиевич

Воронеж – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	9
1.1 Влияние удобрений и мелиорантов на агрохимические свойства почвы.....	9
1.2 Влияние удобрений и мелиорантов на калийный режим почвы	22
1.3 Влияние удобрений и мелиорантов на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы.....	33
2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	40
2.1 Почвенно-климатические условия проведения исследований.....	40
2.2 Методы исследований.....	47
3 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТА НА ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО..	54
3.1 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание гумуса в черноземе выщелоченном.....	54
3.2 Влияние удобрений и мелиоранта на физико-химические свойства чернозема выщелоченного.....	56
3.3 Влияние удобрений и мелиоранта на динамику содержания и запасов минерального азота в черноземе выщелоченном.....	61
3.4 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание подвижных форм фосфора в черноземе выщелоченном.....	70
4 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТА НА КАЛЬЦИЕВЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО.....	74
4.1 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание обменного кальция в черноземе выщелоченном.....	76
4.2 Влияние удобрений и мелиорантов на известковый потенциал чернозема выщелоченного.....	82
5 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТА НА КАЛИЙНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО.....	91

5.1 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание в почве легкодоступного калия.....	92
5.2 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание в почве обменного калия.....	98
5.3 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание в почве легкогидролизуемого необменного калия.....	109
5.4 Влияние удобрений и мелиоранта на соотношение содержания различных форм калия в почве.....	113
5.5 Влияние удобрений и мелиоранта на калийный потенциал чернозема выщелоченного.....	117
6 ВЗАИМОВЛИЯНИЕ КАЛИЙНОГО И КАЛЬЦИЕВОГО РЕЖИМОВ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО.....	123
7 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТА НА УРОЖАЙНОСТЬ КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ И ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ С УРОЖАЕМ.....	130
7.1 Влияние удобрений и мелиоранта на урожайность и содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы.....	130
7.2 Влияние удобрений и мелиоранта на вынос элементов питания корнеплодами сахарной свеклы.....	135
8 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД САХАРНУЮ СВЕКЛУ.....	141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	146
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ.....	151
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	152
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	189

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Черноземные почвы – одно из главных богатств нашей страны. Однако в связи с активной производственной деятельностью человека почвы черноземной зоны утрачивают свое естественное плодородие.

В настоящее время проблема рационального сельскохозяйственного использования почвенных ресурсов стоит особо остро. Использование новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, дающих высокие урожаи при благоприятных климатических условиях, создает иллюзию, что возможно резкое ограничение и даже отказ от внесения удобрений. Но следует помнить, что не компенсируемый вынос элементов питания из почвы неизбежно приведет к ее истощению.

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 по данным В.В. Прокошева и И.П. Дерюгина определение только обменной формы калия, которое проводится в настоящее время агрохимической службой, не дает полного представления об обеспеченности почв калием [212].

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 почве, 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, А.Л. Маслова, В.Ф. Чириков, И.Г. Важенин, В.У. Пчелкин, О.Г. Ониани. Ими же разрабатывались и первые методы определения различных форм калия в почве, некоторые из которых актуальны до сих пор [22, 38, 120, 197, 222, 268].

Проблеме влияния минеральных и органических удобрений на содержание различных форм калия в почве в последние десятилетия уделяли внимание Л.В. Никитина, В.Г. Минеев, В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин, В.Г. Прижукова, К.В. Павлов, В.В. Носов и другие ученые [148, 182, 191, 200, 209, 212]. Проводились исследования и по изучению кальциевого режима почвы [72, 154, 235, 276].

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 взаимовлияния 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 ЦЧЗ, 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 ЦЧЗ 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 почве, 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 последствий 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 последствий навоза и дефеката. 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 государственного аграрного университета им. императора Петра I на 2011–2015 гг. «Агроэкологический мониторинг при длительном применении агрохимических средств в севооборотах лесостепи ЦЧЗ».

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю доктору с.-х. наук, профессору Мязину Н.Г. и коллективу кафедры агрохимии и почвоведения за помощь в проведении исследований.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Влияние удобрений и мелиорантов на агрохимические свойства почвы

Агрохимические свойства почв характеризуют уровень почвенного плодородия. Они могут изменяться под действием различных факторов, среди которых главным является применение удобрений [75, 208].

Удобрения неоднозначно влияют на свойства почвы. Многолетнее внесение органических удобрений увеличивает содержание гумуса, емкость поглощения почв, степень их насыщенности основаниями. В то же время снижается обменная и гидролитическая кислотность почвы [257].

От длительного применения минеральных удобрений кислотность почвы возрастает, и некоторые ее свойства ухудшаются [3, 47, 82, 171, 188, 250]. При этом показатель суммы поглощенных оснований может оставаться на высоком уровне [167]. Однако внесение минеральных удобрений на фоне навоза или известкования, не только не увеличивает почвенную кислотность, но и способствует ее стабилизации на уровне близкой к нейтральной [2, 51, 52].

В исследованиях В.А. Королева и Л.Д. Стахурловой с сахарной свеклой на черноземе выщелоченном при внесении минеральных удобрений даже в относительно невысоких дозах $N_{45}P_{60}K_{45}$ и $N_{90}P_{120}K_{90}$ на фоне 25 т/га навоза наблюдалось подкисление почвы. При увеличении доз минеральных удобрений до $N_{190}P_{190}K_{190}$ величина гидролитической кислотности достигала максимума. При этом сумма кальция и магния в ППК снижалась на 10% по сравнению с контролем [89].

Внесение удобрений под сахарную свеклу в дозах $N_{150-160}P_{170-180}K_{150-160}$ также способствовало подкислению почвы. При этом актуальная кислотность снижалась на меньшую величину, чем обменная. Величина суммы поглощенных оснований в пахотном слое в ходе опыта увеличилась на 0,2–

2,7 мг-экв./100 г почвы по сравнению с исходным показателем, причем особенно сильно – при внесении навоза без минеральных удобрений [187]. Такие же закономерности получены и в другом опыте на черноземе выщелоченном [228].

За 39-летний период исследований Ю.И. Гречишкиной и др. показатель рН чернозема выщелоченного максимально изменялся на вариантах с дозой удобрений $N_{180}P_{180}K_{180}$. Ежегодное подкисление составляло 0,015 ед. Многолетнее внесение удобрений в дозе $N_{62,5}P_{62,5}K_{62,5} + 8,2$ т/га навоза поддерживало реакцию почвенного раствора на уровне контроля с небольшим различием в конечном результате – 0,2 ед. Многолетнее внесение навоза улучшало физико-химические свойства почвы [41].

Аналогичные закономерности обнаружены в опыте А.Н. Воронина и др. на черноземе типичном [28].

Минаковой О.А., Александровой Л.В. и Тамбовцевой Л.В. установлено, что наибольший рост гидролитической кислотности к 8-й ротации зернопаропропашного севооборота на черноземе выщелоченном произошел в вариантах $N_{90}P_{120}K_{90} +$ навоз 25 т/га в пару и $N_{135}P_{180}K_{135} +$ навоз 25 т/га в пару. Количество обменно-поглощенных оснований уменьшалось во всех вариантах опыта на 8,5–10,4 мг-экв./100 г почвы в верхнем двадцатисантиметровом слое и на 7,6–11,1 мг-экв./100 г почвы в нижележащем. На вариантах с высокими дозами удобрений $N_{90-135}P_{120-180}K_{90-135} +$ навоз 25 т/га в пару наблюдалось значительное снижение степени насыщенности почвы основаниями. Менее подверженным изменениям этот показатель был на неудобренном варианте, а также при внесении $N_{45}P_{60}K_{45} +$ навоз 25 т/га. При использовании минеральных удобрений проявлялась тенденция к повышению актуальной и обменной кислотности почвы [127].

Л.А. Ефимова и др. на черноземе типичном установили, что минеральные удобрения способствовали снижению величины рН_{KCl} в среднем на 1,3–1,5 единиц, а органические – повышению данной величины на 1,13 ед. При этом степень кислотности почвы характеризовалась как

близкая к нейтральной. Наибольший положительный эффект от удобрений наблюдался при внесении в почву навоза в дозе 80 т/га и его сочетании с $N_{180}P_{180}K_{180}$ [58].

В многочисленных исследованиях доказано, что внесение химических мелиорантов положительно влияет на физико-химические свойства почвы [113, 164, 176, 263, 275]. Так, на черноземе типичном показатель $pH_{\text{сол.}}$ при использовании половинной и одинарной (по гидролитической кислотности) нормы дефеката увеличивался на 0,18–1,62 ед. [66]. На черноземе обыкновенном при использовании 5 т/га карбоната кальция или 5 т/га дефеката на органоминеральных фонах количество Ca^{2+} в ППК повышалось на 6,5–7,7 %, а обменная кислотность снижалась на 1,6 % [158, 159].

Исследования, проведенные В.Г. Небытовым, показали, что систематическое применение повышенных $N_{120}P_{120}K_{120}$ и высоких $N_{180}P_{180}K_{180}$ доз минеральных удобрений в течение четырех ротаций севооборота усиливало процессы подкисления почвенного раствора в пахотном слое чернозема выщелоченного. Одинарная и двойная по гидролитической кислотности доза доломитизированного известняка в течение 14 лет устойчиво нейтрализовала подкисляющее действие удобрений. Гидролитическая кислотность снижалась по фону $N_{120}P_{120}K_{120}$ с 5,89 до 5,39–5,32 и по фону $N_{180}P_{180}K_{180}$ – с 6,15 до 6,00–5,85 мг-экв./100 г почвы [172].

М.И. Кудашкин и др. наблюдали почти втрое больший сдвиг кислотности чернозема выщелоченного: с pH_{KCl} 4,6 до pH_{KCl} 5,0 при половинной норме извести и до pH_{KCl} 5,5 при полной норме извести [95].

Е.И. Ломако и др. на черноземе выщелоченном установили, что внесение дозы извести из расчета 0,5 г.к. (4,4 т/га $CaCO_3$ под культивацию) без удобрений было достаточным, чтобы уже в первый год действия достигнуть реакцию близкую к нейтральной в слоях почвы 0–10 и 10–20 см, а на фоне с удобрениями ($N_{90}P_{60}K_{60}$) – только в слое 0–10 см. Наибольшее влияние на снижение почвенной кислотности проявлялось при дозах мелиоранта 1,0 и 1,5 г.к., или соответственно 8,8 и 13,2 т/га $CaCO_3$ [109].

Некоторые ученые отмечают, что на черноземах выщелоченных, оподзоленных и типичных, влияние известкования на урожайность возделываемых культур может быть невысоким. Это связано с низким содержанием подвижных форм алюминия, железа и марганца в почве, которые обладают токсичным действием на растения [25, 42, 196].

Так, при тридцатилетнем сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного на долю известкования в повышении продуктивности севооборота приходилось от 7 до 18%, а на долю удобрений – от 82 до 93%. Слабое влияние извести на продуктивность севооборота исследователи связали с отсутствием в черноземах подвижных форм Al, Fe и Mn в токсичных для растений концентрациях. При этом на фоне минеральных удобрений известь в дозе 0,5 г.к. прекращала свое нейтрализующее действие не ранее, чем через 9–10, а в дозе по 1 г.к. – через 11–12 лет [71].

В Российской Федерации кислые почвы занимают 32% обследованной пашни, в Центральном Федеральном округе - 53,7%, в Воронежской области – 26,2% [265]. В лесостепной зоне, где высока доля черноземов выщелоченных и оподзоленных, на протяжении 1976–2009 гг. намечалась тенденция снижения величины pH_{KCl} (на 0,1–0,5), и существенного повышения гидролитической кислотности (на 0,7–1,8 ммоль/100 г почвы) [112].

Основная причина повышения кислотности почв – процесс декальцирования, то есть удаление из почвы поглощенного кальция, магния и их солей. Декальцирование почв является своеобразным «пусковым механизмом» их деградации [119, 155].

Внесение в почву кальцийсодержащих мелиорантов способствует устранению избыточной почвенной кислотности, повышает содержание в почве доступных для растений форм азота и фосфора и благоприятно влияет на ее физические свойства. Являясь важнейшим фактором урожайности, за ротацию 6–8-польного севооборота 1 тонна $CaCO_3$ обеспечивает прибавки

урожая сельскохозяйственных культур 6–8 ц/га зерновых единиц. Кроме того, известкование снижает отрицательное действие засухи на продуктивность растений в 2–3 раза [296].

Научно-исследовательскими институтами ЦЧЗ установлено, что 1 тонна извести изменяет pH_{KCl} в пахотном слое тяжелосуглинистых почв на 0,1 единицы, легких почв – на 0,2 единицы [112]. Коэффициенты использования извести в пахотном слое почвы во многих полевых опытах изменялись от 0,4 до 0,51 [10, 72, 195, 202].

В результате исследований А.С. Заришняк и А.А. Сыпко была установлена зависимость между содержанием обменного кальция, магния и нормой, сроками внесения мелиоранта. По сравнению с контрольным вариантом (без дефеката и NPK) внесение минеральных удобрений снижало содержание подвижного кальция на 6,2 мг-экв./кг почвы. И, наоборот, наибольшее количество обменного кальция определено при полной дозе дефеката по 1 гидролитической кислотности – 186,5 мг-экв./кг почвы. При использовании половинных норм дефеката содержание обменного кальция составляло 171,0–178,7 мг-экв./кг почвы [66].

Результаты исследований, полученные в серии вегетационных опытов с радиоизотопом ^{45}Ca , подтвердили обнаруженную ранее в полевых условиях закономерность подкисления типичного чернозема при внесении минеральных удобрений, особенно азотных и калийных. При этом под влиянием известкования увеличивалось содержание подвижных форм кальция – водорастворимой и обменной. В результате на вариантах без внесения удобрений гидролитическая кислотность уменьшалась почти в 3 раза, а на удобренных вариантах – в 1,3–1,5 раза. Установлено, что 80–90% кальция извести (доза рассчитана по 0,75 Нг) переходит в обменную форму и 5–10% в водорастворимую.

Стоит отметить, что здесь, в отличие от опыта А.С. Заришняк и А.А. Сыпко, минеральные удобрения способствовали вытеснению кальция из почвенного поглощающего комплекса в раствор, увеличивая его

подвижность. Так, при внесении максимальной дозы $N_{350}K_{250}$ на известкованной почве содержание водорастворимого кальция увеличивалось в 2–3 раза [157].

В опыте О.И. Антоновой и Л.В. Дымова на черноземе выщелоченном по вариантам известкования дефекатом $pH_{\text{сол.}}$ через 4 года повысился с 5 единиц в контроле до 5,2–5,8 ед. в зависимости от дозы дефеката. Наибольший сдвиг произошел по дозе дефеката, рассчитанной по полной гидролитической кислотности – $pH_{\text{сол.}}$ изменился с 5,0 до 5,8 ед. По фону с внесением минерального удобрения и по вариантам внесения минерального удобрения и дефеката сдвиг $pH_{\text{сол.}}$ произошел в меньшей степени. Аналогичные изменения отмечены и по гидролитической кислотности [14].

Оценивая действие изучаемых вариантов на свойства почвы через 4 года действия дефеката, исследователи заключили, что при внесении высоких доз минеральных удобрений необходимо вносить дефекат в дозе не менее 0,75 Нг с периодичностью 4 года.

В условиях периодически промывного типа водного режима ученые отмечали потери оснований из корнеобитаемого слоя почвы в результате их вымывания в нижележащие слои с атмосферными осадками. Величина этих потерь увеличивалась при внесении повышенных доз извести [276].

В опыте В.Г. Небытова наблюдалось увеличение содержания валового и обменного кальция и магния в почве с увеличением доз извести. При добавлении минеральных удобрений к извести в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{180}P_{180}K_{180}$ содержание кальция и магния снижалось. При этом содержание кальция в инфильтрационных водах повышалось с увеличением доз минеральных удобрений с 140 до 230–250 мг/л, а магния – с 25 до 54–73 мг/л [172].

Стоит отметить, что экспериментальные данные по влиянию известкования на потери кальция, и особенно магния, из почвы не многочисленны и противоречивы. Так, в лизиметрических опытах Т.Н. Кулаковской и В.Ю. Агееца потери кальция с инфильтрационными водами

при известковании увеличивались почти в 3 раза [96]. В исследованиях В.П. Эжеринскас потери кальция в среднем за 4 года составляли: без извести – 120 кг/га; при дозе извести, рассчитанной по половинной дозе гидролитической кислотности – 138,0 кг/га, по полной Нг – 140,0 кг/га, по двойной Нг – 175,0 кг/га [281]. Н.И. Аканова и др. отмечали, что внесение карбоната кальция в дозе, рассчитанной по полной гидролитической кислотности, увеличивало потери кальция с инфильтрационными водами на 15% по сравнению с неизвесткованной почвой [9].

Таким образом, анализ литературных данных показал, что проведенные ранее исследования доказывают подкисление почвы, снижение суммы поглощенных оснований и степени насыщенности почв основаниями при длительном использовании минеральных удобрений. Ослабление или полное исключение отрицательного влияния минеральных удобрений на физико-химические свойства почвы достигается внесением органических удобрений и кальцийсодержащих мелиорантов [36, 83, 170].

Почвенное плодородие в значительной степени определяется гумусным состоянием [80, 173, 267]. Различными исследованиями установлено, что содержание общего гумуса повышается вследствие длительного применения минеральных, органических удобрений и кальцийсодержащих мелиорантов [63, 173, 186].

Еще Цуриков А.Т. отмечал, что длительное использование черноземов без достаточного применения органических и кальцийсодержащих удобрений приводит к существенному снижению в них количества гумуса, ухудшению его качества и обеднению пахотного горизонта питательными веществами [262]. Гуревич С.М. говорил, что внесение минеральных туков приводит к увеличению содержания гумуса (на 0,19–0,22%) за счет увеличения массы корневых и стерневых остатков [44].

По данным П.А. Чекмарева и С.В. Лукина в Воронежской области за период 1964–2010 гг. не происходило снижения средневзвешенного

содержания органического вещества в пахотных почвах. Данный показатель находится в пределах 5,6–5,7% [266].

В своих исследованиях А.И. Громовик установил, что распашка чернозема выщелоченного и типичного приводит к тому, что из метровой толщи теряется 20 и 66 т/га гумуса, соответственно. Наблюдается трансформация фракционно-группового состава, которая сопровождается расширением гуматно-фульватного соотношения [43].

Уваров Г.И. и Карабутов А.П. за 20 лет проведения опыта на черноземе типичном Белгородского НИИСХ, обнаружили, что содержание гумуса в пахотном слое на варианте без удобрений снижалось на 0,26%, а в нижележащих слоях – на 0,22%. Внесение минеральных и органических удобрений совместно в наибольшей степени повышало содержание гумуса. При внесении удобрений в дозах NPK по 60 кг/га и NPK по 120 кг/га при последствии органических удобрений содержание гумуса увеличивалось на 0,21 и 0,33%, соответственно, а при внесении этих же доз на фоне последствия 80 т/га навоза – на 0,40 и 0,45%, соответственно [252].

В другом многолетнем опыте в случае отсутствия растительных остатков в почве (пар) количество гумуса в ней снижалось более чем на 0,6% в слое 0–20 см. Возделывание культур в севообороте без удобрений также приводило к снижению содержания гумуса на 0,48% по сравнению с исходным показателем. Внесение минеральных удобрений сдерживало потери гумуса, а увеличение дозы азотного компонента в 2 раза сохраняло количество гумуса на исходном уровне [234].

В исследованиях ученых Всероссийского НИИ сахарной свеклы и сахара в многолетнем опыте на черноземе выщелоченном установлено, что наибольшие потери гумуса были в первые десятилетия после его закладки, особенно на неудобренном фоне. В дальнейшем содержание органического вещества в почве стабилизировалось.

Длительное применение $N_{45-120}P_{45-120}K_{45-120} + 50$ т/га навоза в пару способствовало улучшению гумусного состояния чернозема, что

подтверждалось увеличением общего количества гумуса в почве и увеличением в нем отношения $C_{ГК}:C_{ФК}$. Однако на фоне минеральной системы питания, из-за подкисляющего действия удобрений, увеличивалось образование фульвокислот в составе гумуса [128, 144]. Указанные закономерности подтвердили и исследования других ученых [35, 94, 275].

Уменьшение потерь гумуса в зерносвекловичных севооборотах наблюдали только при внесении повышенных доз навоза. Внесение минеральных удобрений совместно с 25 т/га навоза снижало темпы потерь гумуса, но в меньшей степени, чем при внесении навоза в дозе 50 т/га [127].

Мухина С.В. и др. отмечали, что главным приемом сохранения и увеличения содержания гумуса в черноземе обыкновенном является внесение 40 т навоза совместно с 5 т кальцийсодержащих мелиорантов на 1 гектар пашни. Это способствовало увеличению накопления гумуса на 6% по сравнению с минеральным фоном [159].

В исследованиях Е.С. Гасановой и др. установлено, что при внесении только минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ происходило снижение содержания гумуса по сравнению с контролем на 0,93%. Использование минеральных удобрений на фоне известкования увеличивало содержание гумуса на 0,38% к контролю и на 1,29% к варианту с $N_{120}P_{120}K_{120}$. При этом для всех вариантов содержание фракций фульвокислот было выше, чем гуминовых кислот [37].

Дедов А.В. и др. пришли к выводу, что бездефицитный баланс гумуса в севообороте с 25% сахарной свеклы и 25% черного пара возможен при насыщенности 1 га севооборотной площади как минимум 10 т навоза и $N_{37}P_{37}K_{37}$ [49].

Таким образом, результаты многочисленных исследований показали, что длительное сельскохозяйственное использование почв без внесения удобрений приводит к снижению содержания гумуса. Внесение удобрений и мелиорантов благоприятно влияет на этот показатель, вызывая и

трансформацию фракционно-группового состава гумуса. Особенно ярко содержание гумуса растет с увеличением доз органических удобрений.

Получение высоких и относительно устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур с высоким качеством конечной продукции возможно лишь при наличии достаточных запасов усвояемых питательных веществ в почве, что обеспечивается систематическим применением удобрений в севообороте [224].

Важной составляющей почвенного плодородия является содержание общего и доступного для растений азота. Подвижность азотистых соединений характеризует степень их доступности растениям. Наиболее доступен минеральный азот, несколько менее доступен – легкогидролизуемый [13, 278].

Черноземы характеризуются высоким содержанием общего азота. Например, содержание валового азота в черноземе типичном составляет 0,2–0,3% и увеличивается при применении удобрений. При этом содержание нитратного азота в 7,3–14,3 раза больше, чем аммонийного [259]. Систематическое внесение удобрений приводит к увеличению содержания нитратного и аммонийного азота в почве в начале вегетации, но только в течение одного вегетационного периода после их применения [249].

Содержание общего азота в почве положительно коррелирует с дозой минеральных удобрений. Так, максимальное количество азота в черноземе выщелоченном (0,286%), превысившее показатель на контроле на 17,5%, выявлено на фоне $N_{190}P_{190}K_{190}$ [130]. Однако при возделывании сахарной свеклы, потребность которой в минеральном азоте очень высока, может возникнуть его дефицит даже и на таких плодородных почвах [77, 219].

Систематическая оценка показателей азотного состояния чернозема выщелоченного, проводимая О.А. Минаковой и др., показала, что применение удобрений ($N_{45-190}P_{45-190}K_{45-190}$) приводит к увеличению содержания нитратного азота в слое почвы 0–40 см в начале вегетации сахарной свеклы на 42–111% и аммонийного – на 55–119%. В 1-й половине

вегетации растения сахарной свеклы наиболее активно потребляют из почвы нитратный азот, во 2-й половине – аммонийный. Применение удобрений способствует усилению данных процессов.

Длительно вносимые удобрения влияют и на подвижность азотистых соединений, что выражается в увеличении содержания легкогидролизуемых форм на 78–90 %, трудногидролизуемых – на 36–49 % и в снижении содержания негидролизуемого азота в составе общего [131].

В опыте Уварова Г.И. и Карабутова А.П. наибольшее накопление общего азота в черноземе типичном наблюдалось при совместном применении минеральных и органических удобрений, особенно в случае применения двойных доз (N – 120 кг/га, РК – по 124 кг/га + 16 т/га навоза) [251].

Благоприятно на азотный режим чернозема выщелоченного влияло и применение нитроаммофоски в качестве почвенной подкормки по основным фонам $N_{50}P_{50}K_{50}$ и $N_{100}P_{100}K_{100}$. При этом содержание нитратного азота в почве в верхнем слое увеличивалось на 51,5–94,8%, в нижележащем слое (20–40 см) – на 34,3–71,3%, а аммонийного азота – соответственно на 20,9–49,9% и 16,3–44,4% [137].

Известкование почвы также оказывало положительное действие на содержание азота в почве. Например, В.Т. Рымарь и др., изучая влияние известкования на питательный фон почвы, установили, что использование кальцийсодержащих материалов с минеральными туками приводит к мобилизации нитратного азота, увеличивая его содержание на 11,6–27,0 %. Внесение 5 т/га карбоната кальция увеличивает нитратную форму азота на 23,6 % относительно варианта с применением минеральных туков. При комплексном использовании органоминеральных удобрений и карбоната кальция содержание $N-NO_3$ в почве под сахарной свеклой увеличивается на 20,2–23,1 % [224].

Использование мелиорантов увеличивает и содержание щелочногидролизуемого азота [248]. Например, в опыте на черноземе

типичном на вариантах с известкованием в разных нормах и сроках оно составляло 124,4–136,2 мг/кг почвы, а на не удобренном варианте 123,9 мг/кг почвы [66].

При стабилизации азотного режима почвы следует помнить, что высокие дозы азотных удобрений вызывают негативные экологоагрогеохимические изменения в почве. При этом резко снижаются технологические качества корнеплодов сахарной свеклы и выход чистого сахара [48, 115, 175].

Наблюдения Е.П. Проценко и др. за динамикой содержания азота в почве под сахарной свеклой показали, что от наиболее высоких значений в начале июня он доходит до минимальных в сентябре [218].

Исследователи предполагают, что наилучшими показателем азотного режима чернозема выщелоченного в парозернопропашном севообороте является содержание гумуса в размере 5,1–6,1 %, общего азота – 0,280–284 %. Перед посевом культур содержание нитратного азота в почве должно изменяться от 10,0 до 13,0 мг/кг почвы, а аммонийного азота от 16,0 до 21,0 мг/кг почвы [113].

Таким образом, обобщив литературные данные, можно сказать, что внесение минеральных, органических удобрений и мелиорантов способствует улучшению азотного режима почвы. Многочисленными исследованиями установлено, что в условиях ЦЧЗ оптимальной дозой азота для сахарной свеклы следует считать 120–150 кг/га д.в., которая положительно влияет на процессы гумусообразования, изменение содержания элементов питания в почве, в частности нитратного и аммонийного азота [6, 30, 237].

Наряду с азотом, одним из важнейших элементов в питании растений является фосфор. Этот элемент, поступая с удобрениями, быстро поглощается почвой, поэтому растения используют фосфаты не удобрений, а соединений, которые образовались при их взаимодействии с почвой.

Фосфатный режим определяется растворимостью фосфатных соединений почвы и внесенных удобрений [97, 307, 311].

При систематическом научно-обоснованном внесении минеральных и органических удобрений в севообороте могут достигаться высокие уровни фосфорного питания растений, что способствует получению наивысшей продуктивности сельскохозяйственных культур. Так, систематическое применение фосфорных удобрений на черноземе выщелоченном в течение 3-х ротаций севооборота приводило к увеличению запасов подвижного фосфора в почве на 108–198 кг/га по сравнению с его исходным содержанием [31].

В исследованиях Рымарь В.Т. и др. за счет применения только минеральных удобрений содержание подвижного фосфора увеличивалось на 11,0 %, за счет подстилочного навоза и минеральных удобрений – на 15,5 %, за счет карбоната кальция и дефеката (5 т/га в паровое поле на минеральном фоне) – на 22,3 и 17,3 %, соответственно [224]. При внесении мелиоранта в опытах других ученых содержание подвижного фосфора повышалось до 164,0–172,5 мг/кг почвы и на 19–25% превышало содержание P_2O_5 на контроле [159].

При внесении $N_{90-135}P_{90-135}K_{90-135}$ + навоз 25 т/га содержание подвижного фосфора в черноземе выщелоченном увеличивалось на 9–69%, это приводило к увеличению урожайности основной культуры севооборота – сахарной свеклы – на 55–80%. Наибольшее увеличение содержания подвижных форм фосфора в верхнем слое составляло 83–109% от не удобренного варианта и достигалось при внесении повышенных и высоких доз минеральных удобрений на фоне последействия навоза (25–50 т/га) [134, 146]. Полученные результаты подтверждаются и в исследованиях других ученых [65, 174, 189].

На основании обобщения материалов длительных полевых опытов и собственных исследований ученые пришли к выводу, что повышение содержания доступных форм фосфора в почве возможно при внесении

фосфорных удобрений в дозах превышающих вынос фосфора сельскохозяйственными культурами [16].

Таким образом, большинство авторов сходятся во мнении, что внесение органических и минеральных удобрений не только повышает количество валового фосфора в почве, но и увеличивает содержание доступных для растений фосфатов. Благоприятно на фосфорный режим влияет и химическая мелиорация почв. При прекращении внесения фосфорных удобрений происходит мобилизация ранее поглощенных почвой фосфатов.

В целом можно сказать, что проведено большое количество исследований по изучению влияния удобрений и мелиорантов на физико-химические свойства почв и их пищевой режим. Установлены общие закономерности изменения свойств почвы под влиянием названных факторов. Однако остается актуальным выявление степени проявления этих закономерностей в конкретных почвенно-климатических условиях.

1.2 Влияние удобрений и мелиорантов на калийный режим почвы

Фундаментальные исследования последних десятилетий значительно расширили наши представления о многофункциональной роли калия в жизни растений и позволяют еще с большей определенностью сказать, что систематическое и научно-обоснованное применение калийных удобрений – это неизбежная реальность современного высокопродуктивного сельскохозяйственного производства [122, 181, 213, 290].

Сельскохозяйственные культуры выносят большое количество калия, по сравнению с другими питательными веществами [212].

На основе обобщения исследований, проведенных в Центрально-черноземных областях Российской Федерации (ЦЧО) и Украине, установлены оптимальные уровни концентраций подвижного калия (по Чирикову) в пахотных почвах. Так, для оподзоленного чернозема ЦЧО он

составляет 100–140 мг/кг почвы, для выщелоченного – 120–150 мг/кг почвы, для типичного – 140–160 мг/кг почвы [11].

Валовое содержание калия в почве существенно превышает содержание азота и фосфора. Оно в значительной мере зависит от характера материнской и подстилающей пород, гранулометрического состава почвы, длительности применения удобрений в севообороте и их доз, и может изменяться от 0,6 до 2,5% [148]. Наиболее бедны валовым калием торфяные (0,1–0,4%) и дерново-подзолистые песчаные почвы (0,6–1,4%), наиболее богаты – суглинистые разновидности (1,8–2,5%) [85, 86, 104, 124, 222, 231].

Однако, по мнению В.В. Прокошева и И.П. Дерюгина, общее содержание калия в почве не может характеризовать обеспеченность им сельскохозяйственных культур, так как из валовых запасов элемента растениям доступно менее 1% [212].

По вопросу о формах калия в почвах проведено значительное количество исследований [23, 121, 203, 222, 294, 314].

Академик В.Г. Минеев выделил следующие формы калия: 1) калий минералов почвы и алюмосиликатов; 2) необменно-поглощенный (фиксированный) калий; 3) обменно-поглощенный калий; 4) водорастворимый калий; 5) калий, входящий в состав протоплазмы мигроорганизмов. В своих исследованиях мы придерживались классификации, приведенной в трудах В.Г. Минеева [148].

Водорастворимый калий в почве представлен солями. Содержание этой формы незначительно и составляет 1/5–1/10 часть от количества K_2O , находящегося в обменном состоянии. Главный источник калийного питания растений – обменно-поглощенный калий [111, 245].

Сычев В.Г. выделяет две формы необменно-поглощенного калия, являющиеся ближайшим резервом пополнения обменного калия. Первая (легкогидролизуемая) диагностируется с использованием вытяжки в 2 н HCl (метод Пчелкина), вторая (трудногидролизуемая) – в 10%-ной HCl (метода

Гедройца) [241]. Участие необменного калия в питании растений подтверждено в работах многих ученых [293, 301].

Все формы соединений почвенного калия по доступности растениям некоторые авторы располагают в такой ряд: водорастворимый калий > обменный калий > необменный калий, и считают, что между этими формами существует динамическое равновесие [22, 241].

При этом калий обладает неодинаковой интенсивностью перехода из прочнофиксированных соединений в формы, более подвижные и доступные для растений, и, наоборот, из легкоподвижных – в труднодоступные. Она зависит от почвенных условий, времени года, увлаженности, степени потребности сельскохозяйственных культур и т.д. [303].

Академик В.Г. Сычев полагает, что растениям доступны все формы калия, так как при расходовании более доступных форм элемента (водорастворимый и обменный калий) происходит их пополнение за счет менее доступных форм (необменно-поглощенный калий) [241]. Такого же мнения придерживаются и другие авторы [16, 59, 150, 191, 199, 200].

Данное предположение доказывается тем, что при резко отрицательном балансе калия в почве содержание его подвижных форм в пахотном слое черноземов на протяжении длительного времени почти не изменяется. Даже без внесения калийных удобрений происходит постоянное пополнение количества подвижного калия за счет его мобилизации из необменных форм. Концентрация подвижного калия может длительное время сохраняться на неизменном уровне. В этом случае, после начала внесения удобрений, калий преобразуется в обменную форму, и содержание его подвижных форм увеличивается незначительно [204].

Проведенные В.Н. Якименко исследования показали эффективность и важное эколого-агрохимическое значение оптимизации калийного режима в агроценозах. Длительный дефицитный баланс калия в агроценозе вызывает: снижение интенсивности продукционного процесса выращиваемых культур; уменьшение эффективности использования других элементов питания;

снижение содержания форм калия в почве, прежде всего, обменного, до устойчивого «минимального» уровня, лимитирующего питание растений; нарушение способности почвы восстанавливать концентрацию калия в почвенном растворе; изменение кристаллохимического состава и свойств мелкозема почв; ухудшение в целом эколого-агрохимического состояния агроценоза [291].

Многолетнее внесение минеральных и органических удобрений как отдельно, так и вместе приводит к накоплению обменной формы калия в пахотном и в подпахотном слоях почвы [46, 81, 103, 182, 214, 287, 288]. При этом ученые подчеркивают, что оценивать калийное состояние только по содержанию обменного калия в пахотном слое недостаточно. Для более полной характеристики калийного режима различных почв, помимо обменной формы калия, рекомендуется проводить определение содержания необменного калия и калийного потенциала почвы. Также некоторыми исследователями отмечается необходимость установления показателя буферной способности почвы в отношении калия [152, 165, 181, 201, 209, 270].

Как отмечает В.Г. Сычев, длительное применение удобрений в почвах лесостепи увеличивает и степень подвижности калия (калийный потенциал) [242].

Н.В. Пухальская и др. в своих опытах доказали, что низкие дозы калийных удобрений неэффективны вследствие высокой фиксации калия почвами. Для обеспечения систематического роста урожаев и поддержания плодородия почв необходимо возвращать в почву калий как минимум на 80% от выноса культурами [221].

Изучая влияние длительности применения удобрений на содержание калия в почве, ученые установили, что при положительном хозяйственном балансе содержание доступных растениям форм элемента в пахотном слое почв в первых ротациях севооборотов, как правило, возрастает, затем или стабилизируется, или даже снижается [16].

Другие результаты получены Л.М. Жуковой: при первоначальном применении удобрений более интенсивно протекала фиксации калия, а в последующем – закрепление калия в необменной форме сокращалось [59].

Большинство исследователей единодушны в том, что длительное возделывание сельскохозяйственных культур без внесения калийных удобрений приводит к снижению запасов и подвижности калия в почве [20, 78, 98, 216, 226].

Так, С.М. Лукин пишет, что в дерново-подзолистой почве содержание легкоподвижной формы калия в зернопропашном севообороте без внесения удобрений снижалось на 24–49 %, обменной – на 27–34 %, необменной – на 10–20 %. Отмечалась тенденция снижения содержания валового калия, включая калий минерального скелета почвы. Применение калийных удобрений способствовало повышению содержания общего, обменного и необменного калия в почве, степени его подвижности, увеличению калийного потенциала. При дефиците калия использование его из необменной формы возрастало, сравнительно к вариантам с положительным балансом элемента. Затраты калия на увеличение его содержания на 1 мг/100 г почвы составляли в среднем 41 кг/га [114].

Лямцева Е.Г. и Иванов А.И. наблюдали ухудшение практически всех показателей калийного режима дерново-подзолистой почвы на фоне калийдефицитной системы удобрения за три ротации севооборота. В случае многолетнего выращивания сельскохозяйственных культур без калийных удобрений дефицит калия составлял 2550 кг/га. Внесение азотных удобрений, за счет некоторого роста урожайности, обостряло его еще на 38% (3440 кг/га). При использовании калийных удобрений в дозе 60 кг д.в. K_2O на гектар дефицит баланса калия был на уровне контрольного варианта – 2447 кг/га.

Ученые пришли к выводу, что внесение калия в дозе 60 кг/га способствовало небольшому уменьшению деградации калийного состояния почвы. Однако для достижения бездефицитного баланса калия в севообороте

необходимо увеличение доз калийных удобрений под выращиваемые культуры.

В процессе вегетации растения использовали не только обменные, но и необменные формы калия. При этом возможно использование калия и из подпахотного слоя. Культуры зернопропашного севооборота в среднем использовали необменный калий (% от общего выноса): на 55–73% – в контроле, на 65–79% – в варианте N_{90} под зерновые и N_{120} под пропашные и на 68–82% с полным минеральным удобрением $N_{90-120}P_{60}K_{60}$. Во II ротации севооборота культуры лучше использовали подвижные соединения, и роль необменных форм калия в их питании сокращалась [117].

В опыте В.Г. Минеева и др. на дерново-подзолистой почве применение минеральных удобрений (N – 90–100 кг/га д.в., P – 60–100 кг/га д.в., K – 60–100 кг/га д.в.) в сочетании с известью (20–24 т/га) и навозом (90 т/га) способствовало изменению калийного режима почвы. Под влиянием известкования происходило снижение содержания обменного калия в почве при одновременном повышении необменно-гидролизуемой и необменной его форм. Возрастала потенциальная буферная способность в отношении калия, снижался калийный потенциал [150].

Изучению калийного режима дерново-подзолистых почв посвящено много работ [61, 68, 69, 271]. Показано, что его состояние тесно связано с интенсивностью баланса калия и генетическими особенностями почв [17, 105, 106, 265]. При этом без внесения удобрений достоверное снижение калия в почве и закономерное его накопление при длительном применении удобрений отмечены не во всех случаях [123, 260].

Устойчивость в течение длительного времени содержания в почве обменного калия при его общем дефицитном балансе в почве обеспечивается дополнительным высвобождением этого элемента из необменных форм. Например, в исследованиях Л.В. Никитиной показано, что в сумме за семь ротаций севооборота из необменно-фиксированного состояния в обменно-поглощенное перешло 1120 кг K_2O кг/га, или 40,5 кг K_2O /га в год. При этом

уменьшалось и количество трудногидролизуемого необменного калия, которое определялось по методу Гедройца [178].

Этими же учеными изучено влияния органического вещества на показатели калийного режима дерново-подзолистых почв. В контрольных вариантах снижение уровня гумусированности приводило к увеличению содержания обменного калия. Повышение уровня гумусированности при применении органоминеральных удобрений способствовало существенному увеличению содержания $K_2O_{\text{обм.}}$ и усилению необменного поглощения калия.

При минеральной системе удобрения с меньшим уровнем гумуса в почве по сравнению с органоминеральной системой наблюдалось снижение накопления в почве как обменного калия, так и необменного [179].

Разброс в содержании различных форм калия в дерново-подзолистых почвах составляет: необменного – 72–300 мг/кг почвы (и даже 400 мг/кг почвы), обменного калия 12–210 мг/кг почвы, легкоподвижного калия (в том числе водорастворимого) 5–39 мг/кг почвы [18, 194, 211]. Доля легкоподвижного калия в обменном составляет 18–55% [192, 193]. Количество необменно-поглощенного калия в почвах во много раз превышает содержание в них обменно-поглощенного калия [308, 309]. Другие результаты получили З.С. Артемьева, А.С. Фрид и Е.Г. Тюрникова: содержание обменного калия было выше, чем необменного. Однако объяснение данному факту авторы не нашли [15].

Детальному изучению калийного режима черноземов посвящено гораздо меньше внимания, по сравнению с дерново-подзолистыми почвами. Это объясняется, главным образом, высокими валовыми запасами калия в черноземных почвах, поэтому к калию сложилось отношение как к менее важному элементу, чем азот и фосфор [148]. Все же многие авторы отмечают необходимость изучения калийного режима черноземов.

Минакова О.А. и др. исследовали влияние удобрений на содержание подвижных форм калия в черноземе выщелоченном в период вегетации сахарной свеклы. Ими установлено, что, при внесении минеральных

удобрений в различных дозах, в середине вегетации содержание обменного калия в почве повышалось, а к уборке – снижалось. Отмечено перераспределение содержания различных форм K_2O в составе почвы, выраженное в росте обменного и водорастворимого, и снижении необменного K_2O , при одновременном росте валового калия. Наибольшие изменения произошли в слое 20–40 см почвы.

При этом краткосрочное применение удобрений быстро повышало содержание обменного K_2O в почве. При среднем сроке применения удобрений происходило накопление K_2O в необменном состоянии, и его содержание в доступной растениям форме увеличивалось слабо. Длительное использование удобрений способствовало накоплению малодоступных для растений форм элемента [129].

Как и в случае дерново-подзолистых почв, для черноземов выщелоченных было обнаружено, что без внесения калийных удобрений, несмотря на дефицитный баланс элемента, уменьшения степени обеспеченности им почвы практически не происходило. Данный факт ученые опять-таки связали с перераспределением почвенного калия между различными группами, в результате которого постоянное пополнение доступных форм обеспечивается за счет обеднения калийного фонда в целом [245].

В исследованиях Д.И. Еремина за 20 лет использования чернозема выщелоченного при отсутствии минеральных удобрений потери K_2O составили 245 кг/га или 12 кг/га в год. При внесении азотно-фосфорных удобрений на фоне заделки соломы запасы калия уменьшились на 33–60 % относительно первоначального уровня. Ежегодное потребление калия культурами составляло 12–23 кг/га [56].

На черноземе типичном при длительном отсутствии удобрений в системе минерального питания сахарной свеклы происходило интенсивное закрепление почвой свежевнесенного калия удобрений. Для достижения равновесного состояния в почве между почвенным поглощающим

комплексом и количеством калия в почвенном растворе требовалось внесение калийных удобрений в дозе около 200 кг д.в./га.

Затраты калийных удобрений на изменение содержания обменного калия в почве на 1 мг/кг под сахарной свеклой составляли – при вспашке 15,0 кг, при безотвальной обработке почвы – 2,2 кг [6].

В исследованиях Е.П. Шустиковой и Н.Н. Шаповаловой ежегодное внесение на черноземе обыкновенном K_2O от 30 до 90 кг/га сопровождалось увеличением относительно контроля подвижных форм элемента в слое 0–40 см на 43–45%, при внесении 120–150 кг/га – на 53–60%. Причем их доля в слое 0–40 см составляла 63–78% от общего запаса в метровом слое [280].

Р.Н. Ушаков и Н.А. Головина отмечали, что наилучшими параметрами калийного состояния обладают почвы с высоким содержанием обменного калия в сочетании с высокими показателями потенциальной буферной способности, что позволяет им долгое время поддерживать стабильный уровень калийного питания. Например, в серых лесных почвах для достижения оптимальной активности калия содержание гумуса должно быть не ниже 3,0 %, обменного калия 20 мг/100 г почвы. При превышении этих показателей плодородие почвы в отношении калия повышается [257].

Следует отметить, что дискуссионным остается вопрос о степени участия подпахотных горизонтов в снабжении калием выращиваемых культур. Одни авторы отводят этим горизонтам важную роль [296], другие считают их вклад незначительным [298].

Весьма актуальна, но мало изучена проблема установления влияния известкования на изменение калийного режима почвы.

Так, Н.А. Корченкина и Р.Н. Махалов при внесении минеральных удобрений и различных доз извести совместно наблюдали снижение содержания обменного калия с увеличением доз мелиоранта. Особенно ярко эта закономерность проявлялась при внесении $CaCO_3$ в дозах по 2,0 и 2,5 г.к. При этом внесение минеральных удобрений способствовало накоплению

данного элемента в почве, причем наблюдаемые изменения находятся практически в прямой зависимости от дозы внесения NPK [92].

Минеев В.Г. отмечал, что при средней обеспеченности почв подвижным калием на известкованном фоне не наблюдается существенного улучшения калийного питания растений, вследствие наличия антагонизма между ионами кальция и калия. В этом случае известкование может даже снижать содержание калия в растении. Особенно это проявляется у культур с повышенным потреблением калия при формировании урожая [148].

Козловский Е.В. и др. рекомендовали на известкованных почвах увеличивать нормы внесения калийных удобрений под калиелюбивые культуры [87].

В различных почвенно-климатических условиях отмечено и последствие калийных удобрений. Так, исследования О.Г. Ониани показали, что калий переходит в разряд первого минимума через 8–10 лет после прекращения внесения удобрений [197]. В.В. Прокошев и И.П. Дерюгин отмечали, что последствие калия наблюдается в течение 2–4 лет [212].

В исследованиях на серой лесной почве после прекращения внесения калийных удобрений, наибольшее падение содержания обменного калия наблюдалось в первые два года. Через 5 лет после прекращения внесения калийных удобрений уровень обменного калия снизился в 2,5–3,5 раза [285].

Никитишен В.И. и др. установили, что доступность калия, внесенного с удобрениями и закрепившегося в почве, не уступает их прямому действию [185], тогда как в исследованиях Л.М. Жуковой остаточный калий на черноземах использовался слабо – при его высоком содержании в почве внесение калийных удобрений существенно повышало урожай [60].

В пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы на варианте без удобрений происходило уменьшение обменного калия до определенного уровня, при этом снижение от первоначального его количества в почве достигало 25 %. Основные потери наблюдались в первые 8 лет, в

последующие годы достигнутый уровень содержания $K_2O_{\text{обм.}}$ практически не изменялся, несмотря на продолжавшийся вынос его растениями [180, 183].

Якименко В.Н. и Нечаева Т.В., обобщив результаты собственных длительных исследований и литературные данные пришли к выводу, что эффект от внесения калийных удобрений проявляется при следующих обстоятельствах: низком исходном содержании калия в почве; достаточном обеспечении культур азотом и фосфором; длительном сельскохозяйственном использовании почвы; выращивании калиелюбивых культур [284].

В связи с переоценкой запасов калия в почве, балансу этого элемента уделяется недостаточно внимания. Для поддержания исходного уровня калия необходимо вносить 100% от его выноса, а для увеличения содержания калия в почве коэффициент возврата должен быть более 100% [300].

Таким образом, внесение удобрений по-разному действует на калийный режим почв. В одних случаях происходит увеличение обменных форм калия, в других активно протекает необменная фиксация элемента. Велико влияние на эти процессы почвенно-климатических условий. До конца не определено изменение калийного режима почв под влиянием известкования.

Проанализировав литературные данные, можно сказать, что внесение удобрений точно повысит общее содержание калия, а направленность действия мелиоранта предположительно будет зависеть от исходного содержания K_2O в почве. Для того чтобы сделать прогноз на какую форму калия подействуют удобрения и мелиоранты в большей степени, необходимо проведение многолетних исследований в конкретных почвенно-климатических условиях.

1.3 Влияние удобрений и мелиорантов на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы

Сахарная свекла отличается высокой чувствительностью к условиям минерального питания [138, 272]. По сравнению с другими культурами, для образования единицы продукции она использует больше питательных веществ. На формирование 10 т корнеплодов и соответствующего количества листьев из почвы выносятся 15–60 кг азота, 8–20 кг фосфора, 20–70 кг калия [228, 279].

При благоприятных почвенно-климатических условиях и высоком уровне агротехники эта культура способна давать урожай от 70 до 100 и даже 150 тонн с гектара, при этом выход сахара с 1 га может достигать до 10 тонн. За 2011 – 2015 гг. средняя урожайность сахарной свеклы в свеклосеющих регионах Российской Федерации была в 2–3 раза ниже и составляла только 40–45 т/га, а сбор сахара 4–5 т/га [101].

Факторы, влияющие на урожайность сахарной свеклы, находятся в различном соотношении и подвержены изменениям. В опытах с различными условиями получено, что изменение урожайности сахарной свеклы примерно на 50% обусловлено почвенными и погодными условиями сельскохозяйственного сезона, остальные 50% зависят от уровня агротехники и обеспечения минеральным питанием растений [55, 240].

Наибольшее влияние на продуктивность культуры оказывают осадки, выпавшие в начальный период вегетации (посев – появление первой пары листьев) и в период интенсивного сахаронакопления [101]. Применение удобрений ослабляет отрицательное действие метеорологических условий [20, 184].

Поглощение питательных веществ сахарной свеклой в течение роста и развития неодинаково. Немецкие ученые выделили три фазы их потребления.

1. Незначительное – в первые 45 дней (до образования 10 настоящих листьев).
2. Интенсивное – в течение следующих 80 дней (фаза сильного

роста листьев). 3. Постепенное снижение интенсивности всех процессов в течение последующих 30–45 дней [310].

Правильное применение удобрений, а особенно азотных удобрений, имеет первостепенное значение для получения высокого сбора сахара при хорошем качестве посевов [247, 279].

Многими авторами подчеркивается, что с повышением доз азота до определенного уровня увеличивается урожайность сахарной свеклы, но, одновременно, снижается содержание сахара и происходит накопление в ней амидного азота. Поэтому чем больше в почве доступного растениям сахарной свеклы азота, тем меньше должна быть доза вносимого азотного удобрения [29, 62, 108].

Нормативные показатели содержания азота, в зависимости от почвенно-климатических условия и севооборота, варьируют от 100 до 220 кг на 1 га [299, 302, 305]. В Германии, в зависимости от местных условий, дозы азота под сахарную свеклу изменяются от 80 до 100 кг/га [313].

Результаты опытов, проведенных на выщелоченном черноземе Воронежской области, доказали, что внесение азотных удобрений в оптимальных дозах, совместно с фосфорными и калийными, повышает урожайность свеклы. На фоне $P_{90}K_{90}$ увеличение дозы азота с 60 до 120 кг/га ведет к росту урожая корнеплодов, а дальнейшее увеличение дозы до 180 кг/га д.в. несколько снижает урожай. В варианте $N_{124}P_{90}K_{90}$ получена наибольшая урожайность сахарной свеклы [45].

Ильюшенко И.В. и Шафран С.А. отмечали, что прибавка урожайности сахарной свеклы от азотных удобрений снижалась при улучшении обеспеченности почв азотом. При этом прирост урожая увеличивался от 9 ц/га при внесении N_{60} до 37 ц/га при внесении N_{180} [74].

Исследования опытной станции в Киевской области показали, что увеличение дозы азота с 180 до 240 кг/га на фоне $P_{120}K_{120}$ хотя и повышало урожайность корнеплодов с 46,3 до 51,3 т/га, но снижало их сахаристость на 0,38–0,47%. Максимальный сбор сахара (9 т/га) отмечен в вариантах, где

вносили $N_{240}P_{120}K_{120}$ и $N_{180}P_{180}K_{180}$ на фоне 40 т/га навоза. При оптимальной дозе (180 кг д. в. NPK) уменьшалась интенсивность дыхания при хранении корнеплодов, их прорастание и поражаемость гнилью [229].

Повышение продуктивности обеспечивало и применение азотных подкормок: внесение $N_{45}P_{45}K_{45}$ + 25 т/га навоза + подкормки 80 и 60 кг/га д.в. повышало урожайность корнеплодов на 7,5 т/га. Применение $N_{150}P_{150}K_{150}$ + 50 т/га навоза + подкормки 40 и 30 кг/га увеличивало урожайность культуры на 4,8 т/га. Максимальная сахаристость корнеплодов отмечалась на неудобренном варианте (16,41 %). Применение удобрений снижало этот показатель [132].

Внесение аммиачной селитры N_{40-30} в корневую подкормку на фоне $N_{45}P_{45}K_{45}$ + навоз 25 т/га увеличивало урожайность корнеплодов сахарной свеклы на 13% [140].

Сахарная свекла отзывчива и на фосфорное питание, особенно в начале роста. Однако на типичном черноземе Л.Н. Вислобокова и О.М. Иванова наибольшую прибавку урожайности корнеплодов от удобрений – 9,6 т/га – получили на почвах со средним содержанием фосфора, а на почвах с высоким содержанием фосфора она составила всего лишь 1,6 т/га. Но на почвах с повышенным содержанием фосфора наблюдалось увеличение сахаристости корнеплодов [24].

Помимо азота и фосфора, сахарная свекла требует большого количества калия. Она поглощает до 450 кг/га K_2O . Высокая эффективность калийных удобрений под сахарную свеклу отмечена во многих исследованиях. Также установлено, что оптимальное калийное питание повышает сахаристость корнеплодов сахарной свеклы [255, 273].

На черноземе выщелоченном прибавка урожайности от калийных удобрений составляла 36 ц/га при внесении K_{60} , 40 ц/га – при внесении K_{90} , 42 ц/га – при внесении K_{120} , 43 ц/га – при внесении K_{150} , 44 ц/га – при внесении K_{180} , на типичном 37, 39, 50, 52, 55 ц/га, соответственно. В целом

прирост урожая от калия превысил таковой от фосфорных и азотных удобрений [73].

В Липецкой и Воронежской областях средняя урожайность сахарной свеклы при внесении калийных удобрений составляла 51–55 т/га и 58–63 т/га соответственно. При этом средняя относительная прибавка урожайности от калия равнялась 6–15% и 9–17% соответственно [70].

В целом установлено, что внесение 1 ц полного минерального удобрения при правильном соотношении азота, фосфора и калия повышает урожайность сахарной свеклы в районах неустойчивого увлажнения ЦЧР на 8–9 ц/га [177].

Еще в 1975 г. Г.Н. Янова в полевых опытах на мощном малогумусном черноземе отмечала, что при повышении доз минеральных или органических удобрений урожай сахарной свеклы повышался. Наиболее высокая прибавка урожая была получена при внесении 30 т/га навоза в сочетании с $N_{160}P_{160}K_{160}$. Однако сахаристость корней при этом значительно снижалась, и сбор сахара лишь на 1,6 ц/га был выше, чем при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ в сочетании с той же дозой навоза. С повышением доз навоза сахаристость корнеплодов не изменялась [292].

При выращивании свеклы на черноземе типичном самая высокая урожайность (46,5 т/га) и сбор сахара (7,2 т/га) были получены на фоне $N_{170}P_{120}K_{120}$ + навоз 25 т/га [262]. На черноземе оподзоленном внесение $N_{60}P_{100}K_{140}$ обеспечивало повышение урожайности гибридов на 2,5–4,7 и 1,2–2,6 т/га по сравнению с внесением $N_{120}P_{100}K_{140}$ и $N_{120}P_{50}K_{140}$ [223].

В опытах О.А. Минаковой и др. максимальная урожайность сахарной свеклы наблюдалась при внесении $N_{135}P_{180}K_{135}$ + 25 т/га навоза в чистом пару [133].

Ученые отмечали, что возможно применение под свеклу дозы $N_{190}P_{190}K_{190}$ без внесения навоза. Эти дозы окупаются прибавками урожая сахарной свеклы и обеспечивают высокую урожайность гибридов как иностранной, так и отечественной селекции [139, 141].

Другие исследования, проводимые во ВНИИСС, показали, что максимальные прибавки урожая сахарной свеклы (12,7–13,4 т/га) обеспечивает внесение $N_{90-150}P_{90-150}K_{90-150} + 25-50$ т/га навоза. На фоне $N_{45-90}P_{45-90}K_{45-90} + 25$ т/га навоза отмечались низкие прибавки урожая корнеплодов (8,6–8,9 т/га) [145].

В условиях достаточного увлажнения Правобережной Лесостепи Украины на черноземах выщелоченных наиболее продуктивным было выращивание сахарной свеклы при внесении $N_{90}P_{110}K_{130}$ по фону 40 т/га навоза. Прибавка сбора сахара составляла 0,31–0,58 т/га. Внесение доз, превышающих $N_{90}P_{110}K_{130}$ по фону 40 т/га навоза, было не эффективным и обуславливало снижение сахаристости корнеплодов на 0,5–1,0% и уменьшение сбора сахара на 0,02–0,44 т/га [64].

Уваров Г.И. и Боровская Я.Ю. самую высокую сахаристость корнеплодов отмечали на вариантах без внесения удобрений (18–18,1%). Минеральные удобрения ($N_{180}P_{180}K_{180}$) снижали этот показатель на 1,1–2,1% [254].

В исследованиях В.В. Дроздовой и Н.Е. Рединой максимальная урожайность корнеплодов была получена при внесении $N_{80}P_{80}K_{80}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$ и составляла соответственно 620,3 и 633,3 ц/га. Сахаристость корнеплодов по вариантам опыта изменялась от 14,0 до 18,7%. Наилучшие результаты получены в варианте с внесением $N_{80}P_{80}K_{80}$ – 18,7% [53].

Изучая влияние удобрений на продуктивность сахарной свеклы, выращиваемой на черноземе типичном, Е.П. Проценко, А.А. Проценко и Н.В. Шустрова установили, что основной вклад в варьирование урожайности сахарной свеклы вносят минеральные удобрения – 92%, и только 8% – органические. Средний показатель продуктивности культуры за тридцатилетний период без внесения минеральных удобрений составил 31,7 т/га, при внесении удобрений в дозе $N_{90}P_{80}K_{90}$ – 37,0 т/га, а при двойной дозе $N_{180}P_{160}K_{180}$ – 38,1 т/га. Органические удобрения достоверное увеличение

урожайности корнеплодов обеспечивали только с применением двойной их дозы [218].

В исследованиях Белгородского НИИСХ наивысшая окупаемость 1 кг минеральных удобрений получена при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ (8,8–8,9 кг сахара), а на фоне навоза (40 т/га и выше), а от действия двойных доз минерального питания ($N_{180}P_{180}K_{180}$) она снижалась в 1,5–2 раза [233].

Интенсивная технология возделывания сахарной свеклы предполагает внесение высоких доз удобрений. Однако исследования показывают, что они не всегда дают видимое преимущество перед средними рекомендованными, а переизбыток азотных и калийных удобрений в определенных условиях может привести к снижению сахаристости [225].

Например, в опытах В.Н. Синченко внесение $N_{120}P_{150}K_{140}$ и $N_{60}P_{50}K_{70}$ на фоне 40 т/га навоза обеспечивало получение практически одинакового сбора сахара. Автор отметил, что увеличение дозы минеральных удобрений отрицательно повлияло на сахаристость корнеплодов, снизив ее на 0,5%, с незначительным повышением урожайности [228].

Так как сахарная свекла очень требовательна к почвенной реакции, в рамках севооборота известкование лучше всего проводить перед ее посевом [279].

В исследованиях Н.Г. Мязина и др. было установлено, что внесение оптимальной дозы минеральных удобрений на фоне последействия навоза и дефеката обеспечивало большую урожайность корнеплодов, чем использование этой же дозы минеральных удобрений на фоне последействия одного навоза [161].

В исследованиях С.В. Мухиной, С.В. Супруна и Е.А. Балюновой максимальный прирост урожайности (7,7 т/га) установлен при использовании в последействии 40 т. навоза, 5 т. дефеката и рекомендуемой дозы минеральных удобрений под сахарную свеклу $N_{120}P_{120}K_{120}$. При этом урожайность достигала 55,4 т/га, тогда как на контроле получили 47,7 т/га корнеплодов. Применение минеральной системы удобрения на фоне

последствия 5 т/га дефеката существенно повышало сбор сахара с одного гектара (на 29,8% выше контроля). Органо-минеральная система удобрения совместно с дефекатом увеличивала сбор сахара на 25,5% [159].

Известкование среднекислого чернозема выщелоченного повышало урожайность сахарной свеклы в зависимости от мелиоранта и его дозы на 8–54 ц/га или в 1,1–1,5 раза, а на фоне удобрений – на 80–136 ц/га или в 1,7–2,2 раза при выходе сахара в 1,9 раз выше контроля. По сравнению с удобрённым фоном урожайность увеличилась в 1,1–1,4 раза, а выход сахара в 1,2–1,4 раза [54].

Вопрос выявления закономерностей действия удобрений на урожайность и технологические качества корнеплодов свеклы решался многими авторами [156, 306, 312].

Исследованиями ВНИИССС получено, что при внесении $N_{45}P_{45}K_{45} + 25–50$ т/га навоза наблюдалось увеличение сахаристости относительно значения в неудо́бренном варианте на 0,40–0,55%. При внесении высоких доз минеральных удобрений, наоборот, отмечалось снижение сахаристости относительно варианта $N_0P_0K_0$ – на 0,20–0,65 абс.% [138, 220].

Таким образом, анализируя литературные данные, можно сказать, что большинство авторов рекомендуют внесение под сахарную свеклу минеральных удобрений в дозах $N_{90–120}P_{90–120}K_{90–120}$ и органических 30–40 т/га навоза в последствии. Увеличение доз минеральных удобрений возможно только при высокой культуре земледелия и выше $N_{190}P_{190}K_{190}$ не целесообразно. С повышением дозы минеральных удобрений снижается сахаристость корнеплодов по отношению к неудо́бренным вариантам. Особенно сильное негативное влияние на качественные показатели корнеплодов сахарной свеклы оказывают повышенные дозы азота. Оптимальные дозы фосфорных и калийных удобрений способствуют не только увеличению урожайности, но и накоплению сахара в корнеплодах. Обязательным элементом в выращивании сахарной свеклы является известкование почвы.

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Почвенно-климатические условия 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.

Территория УНТЦ «Агротехнология» относится к лесостепной почвенной географической зоне. По Адерихину П.Г.: эта территория входит в Воронежско-Эртильский район типичных и выщелоченных мощных и среднемощных чернозёмов, Средне-Русской провинции Восточно-Европейской фации. Преобладающими почвами пахотных земель УНТЦ являются: чернозёмы выщелоченные, темно-серые лесные почвы и чернозёмы типичные.

Земельный участок стационарного опыта расположен на водораздельной равнине между реками Дон и Воронеж. Его абсолютная высота над уровнем моря – 150 м. Рельеф участка представляет собой слабоволнистую плоскую и широкую равнину. Грунтовые воды залегают на глубине 55–58 метров [5].

Почва опытного участка представлена чернозёмом выщелоченным малогумусным среднемощным тяжелосуглинистым на покровных суглинках.

Характерной особенностью этих почв является то, что они вскипают от 10% HCl в горизонте С или, в большинстве случаев, не вскипают. Для почв этого типа характерна тёмная окраска в горизонте $A_{\text{пах}}$, наличие элювиального горизонта В выщелоченного от карбонатов, красно-бурого цвета, хорошо выраженная комковато-зернистая структура пахотного горизонта. Чернозём выщелоченный обладает достаточно высоким плодородием. Мощность гумусового слоя – 70–80 см, но может достигать и одного метра [207].

Представление о морфологических особенностях чернозёма выщелоченного даёт описание разреза, заложенного на территории опытного участка. Профиль чернозема выщелоченного выглядит следующим образом:

$A_{\text{пах}}$ (0–25 см) – тёмно-серый, тяжелосуглинистый, уплотнен, пылевато-комковатая структура, переход заметный по структуре.

$A_{\text{п/п}}$ (26–36 см) – темно-серый (слегка темнее предыдущего), тяжелосуглинистый, плотный, зернисто-комковатая структура, переход постепенный.

AB (37–65 см) – тёмно-серый с буроватым оттенком, тяжелосуглинистый, сложение плотноватое, комковато-зернистая структура, переход языковатый.

B (66–87 см) – бурый, тяжелосуглинистый, имеются затеки гумуса, плотный, комковатый, переход по цвету заметный.

BC (88–112 см) – светло-бурый, глинистый, комковатый, одиночные затеки гумуса по трещинам.

Вскипание от 10% соляной кислоты не обнаружено. Материнскими породами чернозема выщелоченного на опытном участке являются четвертичные отложения. Их мощность от 2–3 метров и более.

Агрохимическая характеристика чернозема выщелоченного опытного участка до закладки опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика чернозема выщелоченного, слой 0–40 см (до закладки опыта)

Гумус, %	pH _{KCl}	Нг	S	V, %	Содержание подвижных форм питательных веществ, мг/кг почвы	
		Мг-экв. на 100 г почвы			P ₂ O ₅	K ₂ O
3,96	5,2–5,5	5,2–6,0	26,3–27,3	79,8–84,4	98,0–122,0	87,0–99,0

Почва перед закладкой опыта по содержанию гумуса относилась к малогумусной, с повышенной обеспеченностью подвижным фосфором и

обменным калием, слабокислой реакцией почвенного раствора. Степень насыщенности основаниями повышенная.

Исходя из этого, можно сказать, что показатели эффективного плодородия почвы были в основном благоприятны для возделывания большинства сельскохозяйственных культур и при внесении удобрений могли способствовать получению высоких урожаев. Однако, вследствие высокой чувствительности сахарной свеклы к кислотности среды, при ее возделывании необходимо внесение кальцийсодержащих мелиорантов.

Территория УНТЦ «Агротехнология» расположена в зоне умеренно-континентального климата, входит в состав первого агроклиматического района, занимающего северо-западную часть Воронежской области. Климатические условия характеризуются жарким и сухим летом и умеренно холодной зимой с довольно устойчивым снежным покровом. Среднегодовая температура воздуха $6,9^{\circ}\text{C}$.

Самым тёплым летним месяцем является июль, средняя температура которого составляет $+20,5^{\circ}\text{C}$. Самый холодный зимний месяц февраль, средняя температура которого $-6,5^{\circ}\text{C}$. Годовая амплитуда колеблется от 30 до 50°C . Теплый период с положительной среднесуточной температурой длится 220 дней. Переход через 0°C к более высоким значениям весной происходит в конце 3 декады марта, а к более низким значениям осенью в 1 декаде ноября. Переход температуры через 10°C наблюдается в третьей декаде апреля, а продолжительность периода с температурой более 10°C – 180 дней. Сумма температур более 10°C в среднем составляет 2555°C .

Территория УНТЦ относится к зоне неустойчивого увлажнения. Годовая сумма осадков изменяется в пределах 450–570 мм. Сумма осадков за период температур более 10°C – 350–370 мм. Показателем влагообеспеченности территории является гидротермический коэффициент. Его среднемноголетнее значение – 1,1, т.е. вегетационный период, как правило, слабозасушливый.

Устойчивый снежный покров устанавливается обычно во второй декаде декабря. Число дней со снежным покровом в году составляет 120–130. Высота снежного покрова изменяется в пределах 13–22 см.

Ветровой режим характеризуется преобладанием северо-западных, юго-восточных и северо-восточных ветров в теплый период и юго-восточных, юго-западных – в холодный. Летом часто наблюдаются суховеи. Засухи встречаются раз в 10 лет [93, 206].

Таким образом, территория УНТЦ характеризуется достаточной теплообеспеченностью при небольшом дефиците влаги, что является вполне пригодным для возделывания основных культур ЦЧЗ.

Для характеристики метеоусловий в опыте использовались данные метеостанции г. Воронеж. Температурный режим и выпадение осадков за 2012–2014 гг. представлены в таблице 2.

Таблица 2. Метеорологические условия за 2012–2014 гг. (данные метеостанции «Воронеж»)

Месяц	Температура воздуха, С°				Количество осадков, мм			
	2012	2013	2014	Ср.мн.	2012	2013	2014	Ср.мн.
Январь	–6,8	–5,7	–8,6	–6,1	45	40	62	41
Февраль	–12,1	–3,2	–6,5	–6,5	45	14	26	37
Март	–2,5	–3,3	2,9	–1,0	47	72	24	33
Апрель	11,9	9,7	8,8	8,3	72	12	32	38
Май	18,4	19,5	18,5	14,8	21	64	42	46
Июнь	20,1	21,2	18,5	18,5	184	18	99	74
Июль	22,1	20,1	22,3	20,5	64	83	2	62
Август	20,3	20,4	21,8	19,2	186	86	47	52
Сентябрь	14,4	11,6	14,4	13,3	38	266	5	61
Октябрь	9,8	7,3	5,9	6,9	139	51	18	50
Ноябрь	2,7	4,8	–0,8	–0,4	26	28	7	46
Декабрь	–5,9	–2,5	–3,4	–5,0	31	20	69	44

Как видно из таблицы, метеорологические условия в годы проведения исследований были различными. Обеспеченность вегетационного периода теплом составляла в 2012 г. – 3227,4⁰С, в 2013 г. – 2966,8⁰С и в 2014 г. –

3069,4⁰С. Среднегодовые температуры – 7,7, 8,3 и 7,8 ⁰С, соответственно в 2012, 2013 и 2014 гг. – были на 0,8–1,4 ⁰С выше среднемноголетних данных.

Количество осадков в 2012 и 2013 годах было на 170–314 мм выше, чем среднемноголетнее и равнялось 898 и 754 мм. В 2014 году осадков выпало 433 мм, что на 151 мм ниже среднемноголетнего значения.

Годы исследований отличались и по величине гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова. Так, ГТК 2012 года составлял 1,6, 2013 года – 1,7 и 2014 года – 0,7. То есть 2012 и 2013 гг. характеризовались как годы с избыточным увлажнением, а 2014 г. – с недостаточным.

Метеорологические условия периода вегетации сахарной свеклы в годы исследований представлены на рисунках 1 и 2.

Как видно из представленных данных в период вегетации сахарной свеклы среднемесячная температура, как правило, была выше среднемноголетних данных (на 0,5–2,6 ⁰С). Исключение составлял июль 2013 года, где она была ниже среднемноголетней на 0,4 ⁰С.

Сумма осадков за период вегетации сахарной свеклы составляла в 2012 году – 565 мм, в 2013 г. – 529 мм и в 2014 г. – 227 мм, с величиной ГТК соответственно 1,8, 1,8 и 0,7. При этом в течение вегетации наблюдалось неравномерное их выпадение.

В 2012 году, несмотря на высокое количество выпавших осадков, их распределение в период роста культуры было неблагоприятным. Так, в апреле выпало 72 мм осадков, что на 34 мм выше многолетних данных. При этом большая их часть пришлась на две первые декады месяца. Сахарная свекла посеяна в третьей декаде апреля еще во влажную почву. В период с 21 апреля по 31 мая выпало всего 26 мм осадков, что не могло создать условия для появления дружных всходов растений и обеспечить их оптимальное развитие. Условия увлажнения в июне складывались лучшим образом, но только во второй и третьей декадах месяца. И даже избыточное увлажнение в июле и августе (выпало 64 и 184 мм осадков), не улучшало ситуацию. В этом году получена минимальная урожайность корнеплодов.

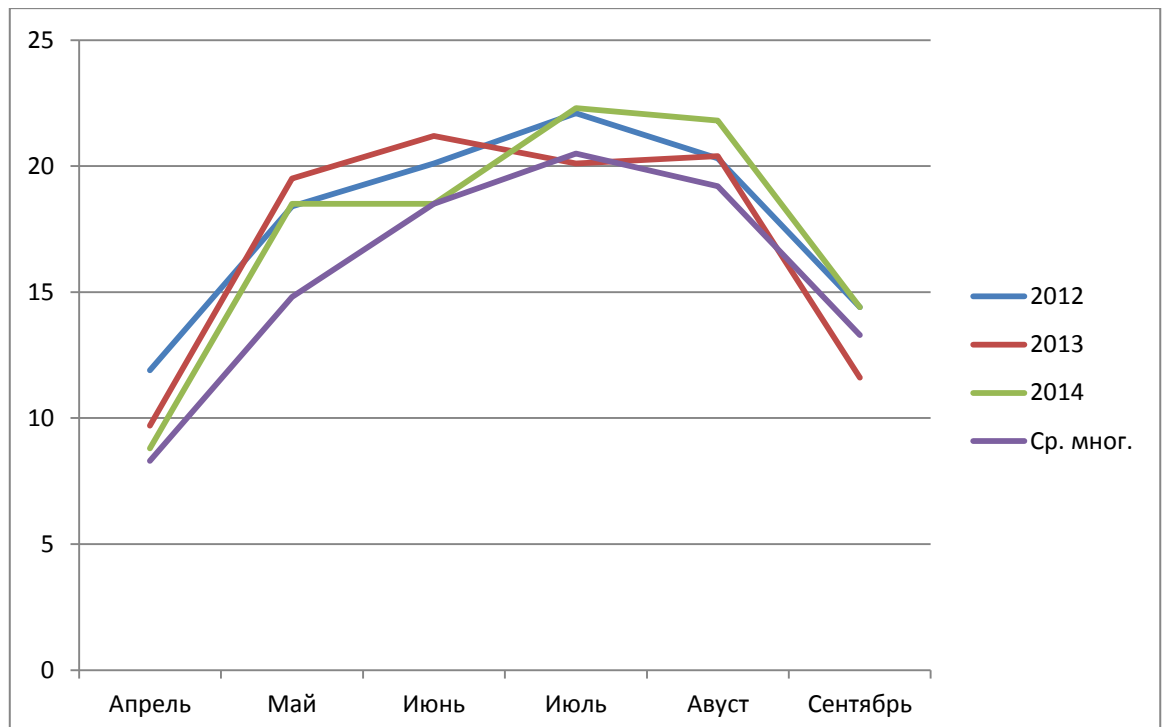


Рисунок 1. График динамики среднемесячной температуры воздуха в период вегетации сахарной свеклы (апрель-сентябрь), °С

Условия увлажнения в апреле 2013 года также были неблагоприятными. Однако после посева сахарной свеклы, в начале мая пошли дожди, которые способствовали появлению дружных всходов и создавали условия для их оптимального развития. И даже несмотря на то, что в июне выпало всего лишь 24% осадков от нормы, растения развивались хорошо и не угнетались. Июль и август были достаточно хорошо обеспечены осадками (134 и 165% от нормы). Аномальные условия увлажнения сложились в сентябре – выпало 266 мм осадков или 436% от нормы, но негативного влияния на урожайность сахарной свеклы они не оказали. В этот год получена наибольшая урожайность культуры.

Условия увлажнения начала периода вегетации культуры в 2014 году (апрель, май) были близки к 2013 году. В июне количество осадков было на 25 мм выше, чем среднемноголетнее. Неблагоприятные условия увлажнения наблюдалось в июле и сентябре – выпало 2 и 5 мм осадков или 3 и 8% от

нормы. В этом году урожайность корнеплодов была достаточно высокой, но ниже, чем в 2013 году.

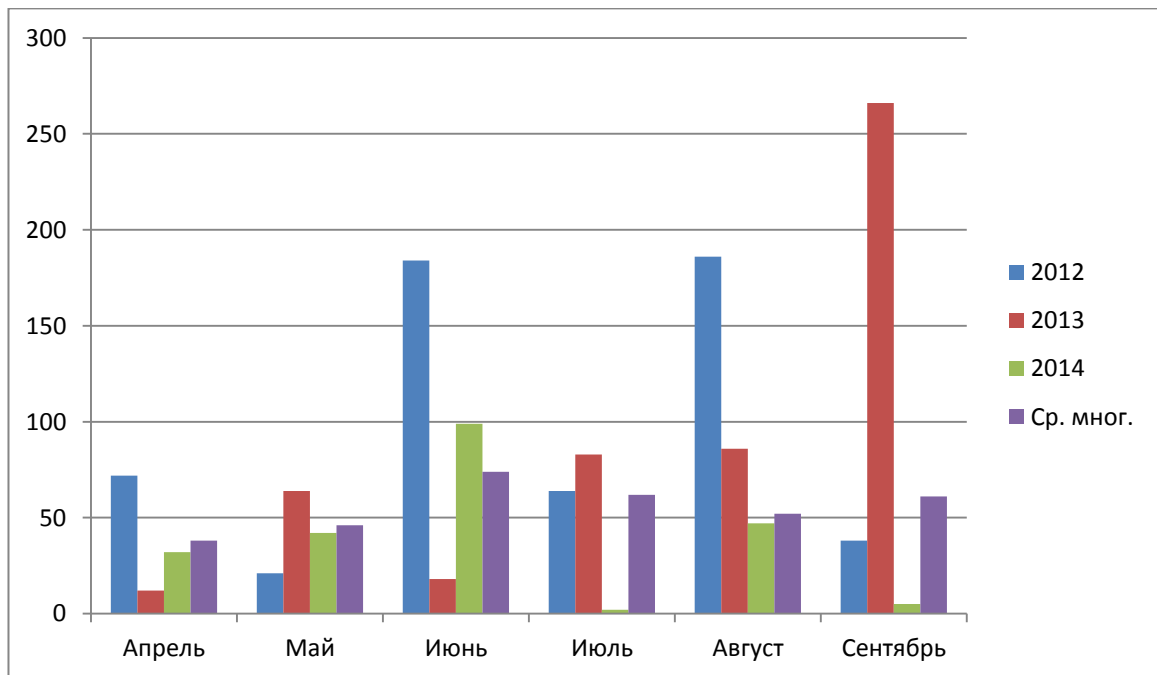


Рисунок 2. Количество осадков по месяцам в период вегетации сахарной свеклы (апрель-сентябрь), мм

Таким образом, анализ метеоусловий показал, что рост и развитие растений сахарной свеклы в меньшей степени зависели от температуры воздуха. Незначительные ее колебания в сторону превышения или уменьшения средне многолетних значений не оказывали негативное влияние на растения. Ученые отмечают, что сахарная свекла выдерживает кратковременные заморозки до -5°C без потерь урожая, а высокие температуры летом снижают ассимиляцию, уменьшая накопление урожая и содержание сахара [279].

Условия увлажнения на развитие сахарной свеклы влияли сильнее. Причем, большее воздействие оказывала не абсолютная величина количества осадков в период вегетации, а их распределение по периодам развития культуры. Неблагоприятные условия увлажнения в период появления

всходов и в начальные фазы развития не компенсировались оптимальным увлажнением в последующем.

В целом результаты анализа метеоусловий за 2012–2014 гг. свидетельствуют о том, что урожайность по годам ограничивалась в основном неравномерным выпадением осадков.

2.2 Методы исследований

Сахарная свекла размещалась в полевом шестипольном севообороте со следующим чередованием культур: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – вико-овсяная смесь на зелёный корм – озимая пшеница – ячмень. К моменту окончания настоящих исследований шла пятая ротация севооборота.

Схема опыта включает 15 вариантов. Наши исследования проводились на следующих 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 + дефека́т (последствие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$.
13. Фон + дефека́т (последствие).
15. $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефека́т (последствие).

План размещения полей и вариантов в стационарном опыте представлен на рисунке 3.

Повторность опыта четырехкратная, размещение повторений двухъярусное, расположение делянок систематическое шахматное. Общая площадь опытной делянки $191,7 \text{ м}^2$ ($35,5 \text{ м} \times 5,4 \text{ м}$), учетная площадь – 50 м^2 .

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.

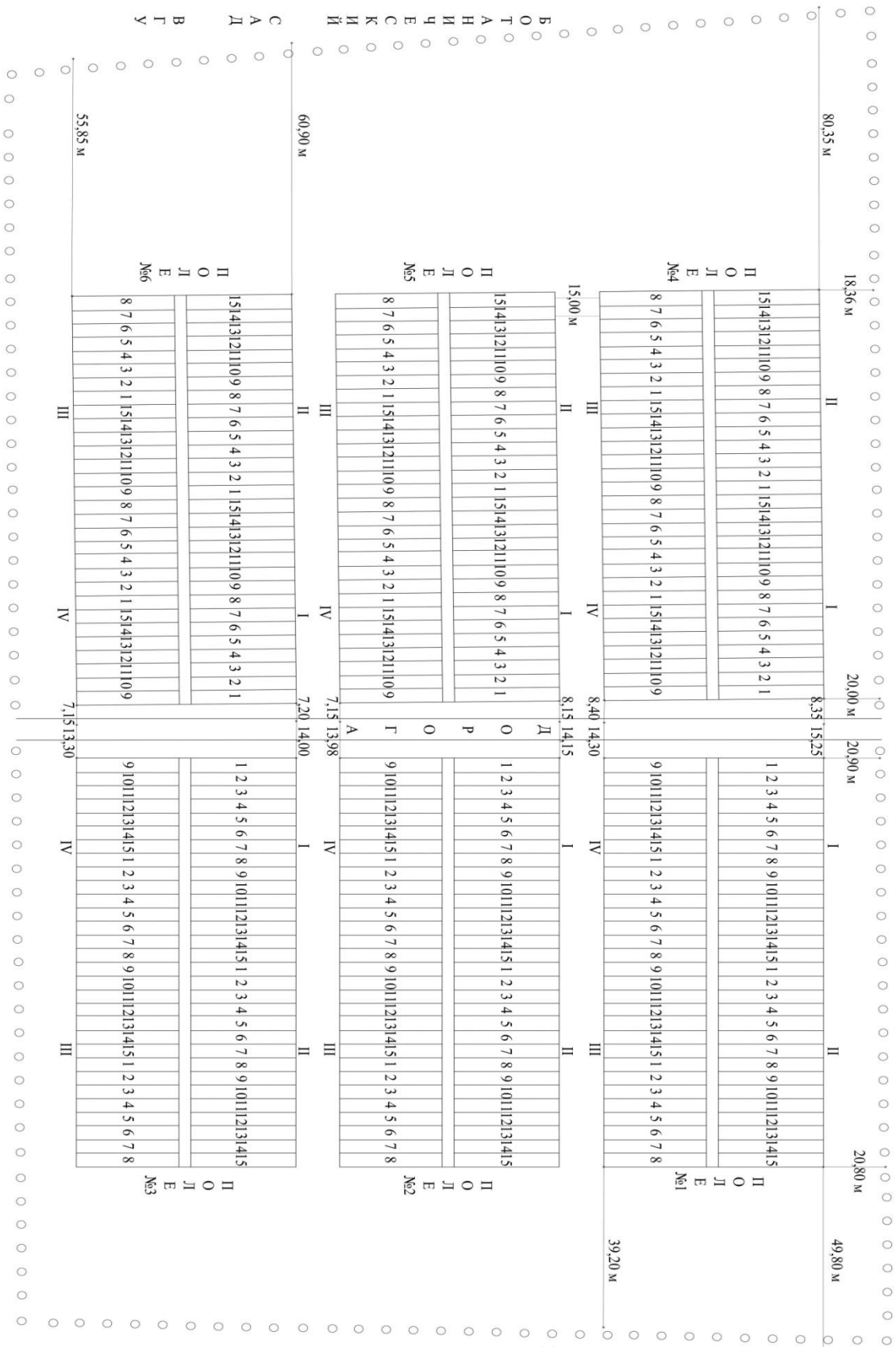


Рисунок 3. План размещения вариантов в полях стационарного опыта
кафедры агрохимии и почвоведения Воронежского ГАУ

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 последствие. Мелиорант в пятой ротации севооборота не вносили, то есть культура испытывала 8 год его последствие.

В качестве кальцийсодержащего мелиоранта применялся дефекат со следующим химическим составом: содержание CaCO_3 46%, MgCO_3 1,26%, азота 0,46%, фосфора 0,55%, калия 0,48%. Доза мелиоранта была рассчитана по полной гидролитической кислотности.

При возделывании сахарной свеклы применялась общепринятая для ЦЧЗ агротехника.

После уборки предшественника проводилось лушение стерни дисковыми луцильниками в два следа перекрестно. Затем вносились минеральные удобрения вручную по делянкам опыта в основной прием.

Следующим этапом в технологии возделывания сахарной свеклы была глубокая вспашка до 30–32 см.

Весной, после схода снега, при достижении физической спелости почвы проводилось ранневесеннее боронование и выравнивание поверхности почвы в два прохода агрегата.

Предпосевная культивация проводилась непосредственно перед посевом свеклы. Посев осуществлялся на глубину 3 см. Высевались семена гибрида Портланд. Это односемянный триплоидный гибрид на стерильной основе. Он включен в Госреестр по Центрально-Черноземному региону. Средняя урожайность корнеплодов в регионе 500–600 ц/га, содержание сахара 18–20 %, сбор сахара 9–12 т/га. За годы испытаний в полевых условиях в Центрально-Черноземном регионе гибрид средне поражался церкоспорозом, выше среднего – мучнистой росой, сильно – корнеедом. Это среднеспелый гибрид. Срок вегетации в центральных регионах – 150–160

дней. Норма высева 6–7 односемянных плодиков на одном погонном метре. При всхожести не ниже 85%, такая норма обеспечивала получение 5–6 всходов свеклы на 1 погонном метре ряда.

За вегетационный период проводились две обработки гербицидами: Лонтерлл Гранд (120 г/га), Бетанал (1,5 л/га), Карибу (30 г/га).

В период вегетации осуществлялись наблюдения за растениями, а также изучалась динамика агрохимических свойств почвы. Для этого 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 Тюринга в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213-91).

Содержание различных форм калия в почве определяли по следующим методам:

1. Легкодоступная форма калия – по методу Голубевой (метод лаборатории агропочвоведения ВИУА). Основан на измерении концентрации ионов калия в 0,005 н растворе хлористого кальция ($CaCl_2$), после его взаимодействия с почвой при соотношении раствор : почва = 2 : 1 и 1-часовом взбалтывании. Предложенная методика обеспечивает получение сравнимых результатов для дерново-подзолистых, серых лесных почвы и

черноземов выщелоченных. Содержание калия в миллиграммах K_2O на 1 кг почвы (x) рассчитывают по формуле:

$$x = \frac{a \times 2000}{1000} = a \times 2, \text{ мг/кг почвы,} \quad (1)$$

где a – концентрация калия (K_2O , мг/л) в испытуемом растворе, найденная по калибровочной кривой; 2000 – объем вытяжки, соответствующей 1 кг почвы, мл; 1000 – коэффициент для пересчета содержания калия в 1 мл.

2. Обменная форма калия – по методу Чирикова (вытяжка 0,5 н уксусной кислоты) в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204) и по методу Масловой (ГОСТ 26210-91). Первый метод определения обменного калия является стандартным и широко используется [151]. На его описании останавливаться не будем.

Определение обменного калия по методу Масловой основано на извлечении его из почвы 1,0 н раствором уксуснокислого аммония (CH_3COONH_4) при соотношении почва : раствор = 1 : 10 и 1-часовом взбалтывании. После вытяжку отфильтровывают и определяют содержание калия на пламенном фотометре. Благодаря летучести слагающих соль компонентов (аммиак и уксусная кислота) разложение в пламени горелки происходит легко и быстро, что обеспечивает высокую производительность метода и большую точность определения калия. Метод рекомендован для определения обменного калия в некарбонатных почвах. Этим методом извлекается из почв в среднем 75% от общего количества обменного калия. Последнее учитывалось нами для расчета общей величины обменного калия.

3. Легкогидролизуемая необменная форма калия определена по методу Пчелкина (авторское свидетельство № 1220684/30-15). В качестве показателей степени подвижности почвенного калия автор предложил использовать две параллельные вытяжки из почв: 2 н HCl и 0,2 н HCl при соотношении почва : раствор = 1 : 25 с последующим 1-часовым встряхиванием и 48-часовым выдерживанием в термостате при температуре 24

⁰С. Вместо вытяжки 0,2 н НСl возможно использование величины общего обменного калия, определенного по методу Масловой. Ученые полагают, что этим методом (2 н НСl) вытесняется до 50% всего необменного калия почвы.

Калийный потенциал почвы определяли потенциометрическим методом с помощью калийного ионселективного электрода. Метод основан на обработке почвы 0,005 н раствором хлористого кальция при соотношении почва : раствор = 1 : 2, дальнейшем часовом встряхивании и определении на иономере величины рК. Параллельно ведут определение величины рСа. Для этого используют кальциевый ионселективный электрод. Показатель рСа определяют в водной пасте (почва : раствор = 1 : 0,5).

Величину калийного потенциала рассчитывают по формуле:

$$K_{\text{п}} = \text{pK} - 0,5\text{pCa} \quad (2)$$

Калийный потенциал почвы рассматривается как «фактор интенсивности» и характеризует возможность перехода ионов калия из обменного состояния в почвенный раствор. Он является универсальной величиной и применим ко всем видам почв. Этот показатель постоянен для данного типа почвы и до определенных пределов не зависит от ее влажности и концентрации почвенного раствора.

Известковый потенциал рассчитывали по формуле:

$$K_{\text{изв.}} = \text{pH}_{\text{вод.}} - 0,5\text{pCa} \quad (3)$$

Величины $\text{pH}_{\text{вод.}}$ и рСа определяли в водной пасте (почва : раствор = 1 : 0,5) с помощью ионселективных электродов [12].

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.

Химические анализы проводились в лаборатории кафедры агрохимии и

почвоведения Воронежского ГАУ и ФГБУ ГЦАС «Воронежский».

Учет урожая проводился сплошным методом, с учетной площади 50 м², вручную. Результаты учета урожая были обработаны методом однофакторного дисперсионного анализа по методике Б.А. Доспехова [53] с помощью программы Statistica. Корреляционный анализ данных выполнялся с использованием пакета «Анализ данных» Microsoft Excel.

3 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТА НА ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

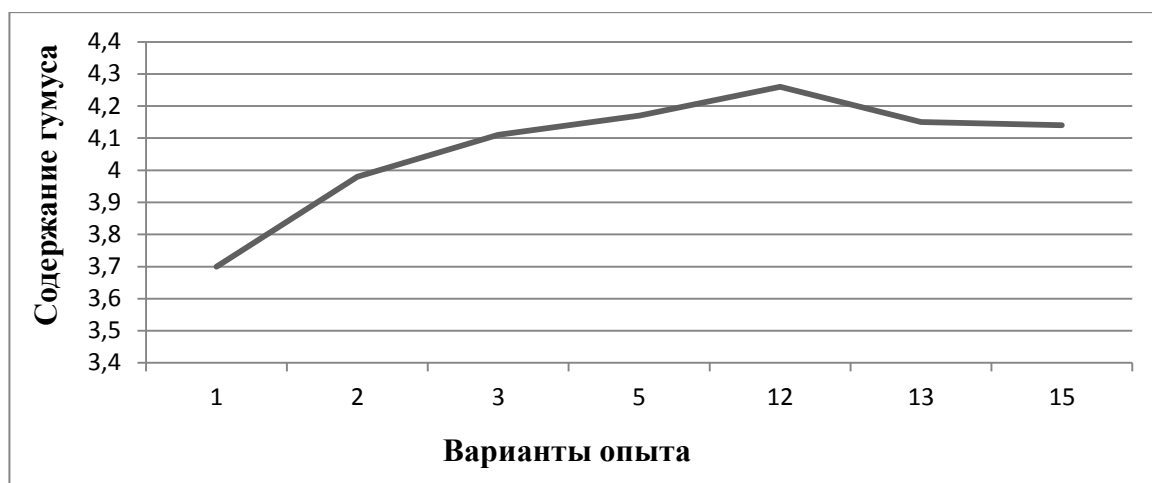
3.1 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание гумуса в черноземе выщелоченном

Одним из основных показателей почвенного плодородия является содержание в ней гумуса. Ученые считают, что все изменения, происходящие в почве в результате ее сельскохозяйственного использования, связаны с состоянием гумуса как основной части почвенно-поглощающего комплекса [37]. Поэтому актуальным является изучение влияния минеральных, органических удобрений и мелиорантов на содержание гумуса в почве.

Результаты наших исследований (рисунок 4, приложение А) показали, что по всем вариантам опыта в среднем за 2012–2014 гг. почва по содержанию гумуса оценивалась как малогумусная. Минимальное содержание гумуса было на контрольном варианте – 3,70%. Последствие органических удобрений способствовало его увеличению на 0,28%. Внесение на этом фоне минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ увеличивало 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 наблюдалось при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последствия навоза и дефеката (вариант 12) и составляло: 0,56% по отношению к контролю, 0,28% – к фону, 0,15% – к варианту с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия только навоза и 0,12% – к варианту с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия только дефеката.



Варианты опыта: 1. Контроль. 2. Фон – 40 т/га (последействие). 3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$ 5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$. 12. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последействие). 13. Фон + дефекат (последействие). 15. Дефекат (последействие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$

Рисунок 4. Влияние удобрений и мелиоранта на содержание гумуса в черноземе выщелоченном перед посевом сахарной свеклы, %, слой 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.

На варианте с совместным последействием навоза и дефеката без минеральных удобрений (вариант 13) содержание гумуса было меньше, чем на варианте с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза и дефеката (вариант 12). Однако стоит отметить, что здесь оно несколько превосходило варианты с внесением оптимальной дозы минеральных удобрений на фоне последействия одного навоза или одного дефеката.

Таким образом, внесение органических и минеральных удобрений способствовало увеличению содержания гумуса на 0,28–0,47% относительно удобренного варианта. Причем чем выше была доза удобрений, тем больше содержание гумуса. Последействие известкования почвы в различных сочетаниях с органическими и минеральными удобрениями также способствовало накоплению в ней гумуса. На мелиорируемых вариантах оно было выше контроля на 0,44–0,56%, и выше фона на 0,16–0,28%. 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 последействия навоза и дефеката).

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

Из основных земледельческих проблем нет ни одной более важной и сложной, чем объяснение влияния удобрений и мелиорантов на изменение физико-химических свойств почвы. Общие закономерности действия средств химизации на свойства почвы, конечно же, выявлены, однако не всегда можно с уверенностью утверждать то, что их изменение будет иметь «шаблонный» характер. Это зависит от типа почвы, биологических особенностей возделываемой культуры и того как сложатся погодные условия периода вегетации [42, 44, 188].

Сельскохозяйственное использование чернозема выщелоченного приводило к изменению его физико-химических свойств. Результаты наших исследований (таблица 3, приложения Б–Е) показали, что перед посевом сахарной свеклы на варианте без внесения удобрений (контроль) почва в слое 0–40 см по степени кислотности оценивалась как слабокислая. Последствие 40 т/га навоза способствовало увеличению величины pH_{KCl} на 0,1 ед. и снижению гидролитической кислотности на 0,2 мг-экв./100 г почвы по сравнению с контролем.

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.

Известкование почвы в различных сочетаниях с минеральными и органическими удобрениями оказывало благоприятное влияние на показатели почвенной кислотности. Использование минеральных удобрений в оптимальной дозе на фоне последствия дефеката способствовало повышению pH_{KCl} на 0,3–0,4 ед. по отношению к контролю и фону и на 0,7 – 0,9 к вариантам с минеральными удобрениями, внесенными на фоне последствия только органических. Гидролитическая кислотность при этом снижалась на 0,8–1,0 мг-экв./100 г почвы и 1,6–2,1 мг-экв./100 г почвы,

соответственно. Но почва по степени кислотности оставалась на уровне слабокислой.

Таблица 3. Влияние удобрений и дефеката на физико-химические свойства чернозема выщелоченного в период вегетации сахарной свеклы, среднее за 2012–2014 гг.

Вариант	Слой, см	pH _{KCl}		Нг, мг-экв./100 г почвы		Са+Mg, мг-экв./100 г почвы		Т, мг-экв./100 г почвы		V, %	
		1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	0–20	5,2	5,0	3,8	4,1	28,0	27,7	31,8	31,8	88,1	87,1
	20–40	5,2	5,1	3,6	3,9	28,3	28,0	31,9	31,9	88,7	87,8
	0–40	5,2	5,1	3,7	4,0	28,2	27,8	31,9	31,8	88,4	87,4
2. Фон – 40 т/га навоза (последействие)	0–20	5,2	5,1	3,5	4,0	28,3	28,0	31,8	32,0	89,0	87,5
	20–40	5,3	5,2	3,4	3,8	28,7	28,8	32,1	32,6	89,4	88,3
	0–40	5,3	5,1	3,5	3,9	28,5	28,4	32,0	32,3	89,1	87,9
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,9	4,7	4,5	4,9	27,2	26,4	31,7	31,3	85,8	84,3
	20–40	5,0	4,8	4,0	4,6	28,0	27,2	32,0	31,8	87,5	85,5
	0–40	4,9	4,8	4,3	4,8	27,6	26,8	31,9	31,6	86,5	84,8
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	4,7	4,5	5,0	5,4	26,7	25,8	31,7	31,2	84,2	82,7
	20–40	4,8	4,7	4,6	5,1	27,7	26,6	32,3	31,7	85,8	83,9
	0–40	4,7	4,6	4,8	5,3	27,2	26,2	32,0	31,5	85,0	83,2
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефека (последействие)	0–20	5,6	5,4	2,5	3,0	31,8	30,3	34,3	33,3	92,7	91,0
	20–40	5,6	5,4	2,8	3,4	31,3	30,6	34,1	34,0	91,8	90,0
	0–40	5,6	5,4	2,7	3,2	31,6	30,5	34,3	33,7	92,1	90,5
13. Фон + дефека (последействие)	0–20	6,1	5,8	1,7	2,4	32,4	30,8	34,1	33,2	95,0	92,8
	20–40	5,9	5,6	2,0	2,7	32,0	31,5	34,0	34,2	94,1	92,1
	0–40	6,0	5,7	1,9	2,6	32,2	31,2	34,1	33,8	94,4	92,3
15. Дефека (последействие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	5,5	5,4	2,4	3,2	31,0	29,9	33,4	33,1	92,8	90,3
	20–40	5,5	5,3	2,9	3,6	30,6	30,1	33,5	33,7	91,3	89,3
	0–40	5,5	5,4	2,7	3,4	30,8	30,0	33,5	33,4	91,9	89,8

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

При внесении N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ на фоне совместного последействия навоза и дефеката (вариант 12) наблюдалось снижение почвенной кислотности до уровня близкой к нейтральной. Однако оптимальные для сахарной свеклы показатели почвенной кислотности (pH_{KCl} > 6,0, Нг < 1,8 мг-экв./100 г почвы) 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 последействия органических уменьшало сумму обменных оснований 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.

Снижение суммы обменных оснований под влиянием систематического внесения минеральных удобрений ученые связывают с тем, что значительная часть кальция и магния расходуется на нейтрализацию физиологической кислотности удобрений [239].

Известкование почвы, даже на восьмой год своего последействия, способствовало повышению суммы обменных оснований. Наиболее сильно это было выражено на варианте с совместным последействием навоза и дефеката. Здесь содержание обменных форм кальция и магния увеличивалось на 3,7 мг-экв./100 г почвы по отношению к последействию только навоза и на 4,0 мг-экв./100 г почвы по отношению к контролю. При добавлении к ним минеральных удобрений в оптимальной дозе содержание обменного кальция и магния хоть и было несколько ниже, но все равно превышало не известкованные варианты.

При этом минимальная сумма поглощенных оснований на известкованных вариантах наблюдалась при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия только дефеката – 30,8 мг-экв./100 г почвы (т.е. без использования навоза).

Степень насыщенности почвы основаниями варьировала 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 отмечалось подкисление почвы. При этом величина pH_{KCl} снижалась на 0,1–0,3 ед., с одновременным увеличением Hg 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 последействия навоза (класс кислотности снижался до слабокислого).

Емкость поглощения почвы, в зависимости от изменения величины гидролитической кислотности и суммы обменных оснований, имела тенденцию или к небольшому увеличению – на 0,3 мг-экв./100 г почвы, или к некоторому снижению – на 0,1–0,6 мг-экв./100 г почвы. При этом степень насыщенности почвы основаниями снижалась по всем вариантам опыта в среднем на 1,0–2,1%.

Изменение физико-химических свойств почвы в зависимости от применения удобрений и мелиоранта по вариантам опыта в слоях 0–20 и 20–40 см подчинялось закономерностям, установленным для всего слоя 0–40 см. Но, стоит отметить то, что на контрольном и фоновом вариантах, а также при внесении минеральных удобрений на фоне последействия органических кислотность была выше в слое почвы 0–20 см, чем в слое 20–40 см. При этом различия по pH_{KCl} составляли в среднем 0,1 ед., а по Нг 0,2–0,5 мг-экв./100 г почвы. А на вариантах с последействием дефеката, наоборот, верхний слой был менее кислым, чем нижний. Различия по pH_{KCl} составляли в среднем 0,2 ед., а по Нг – 0,3–0,4 мг-экв./100 г почвы. Такую же закономерность распределения по слоям имели и сумма $Ca+Mg$, и степень насыщенности почвы основаниями.

Данный факт связан с тем, что в отсутствие мелиоранта происходило более активное подкисление и обеднение основаниями верхнего слоя почвы, из-за выноса кальция растениями и его вымывания. В случае известкования почвы верхний слой в большей степени, чем нижележащий обогащался кальцием, что сдерживало темпы подкисления.

Интересно отметить и то, что в конце вегетации установленные различия между слоями по величине обменной и гидролитической кислотности сохранялись. Но в отношении суммы обменных оснований этого сказать нельзя. В верхнем слое почвы по всем вариантам опыта в среднем за

2012–2014 гг. наблюдалось меньшее содержание суммы $\text{Ca}+\text{Mg}$, чем в слое 20–40 см. Однако, рассматривая изменение этого показателя по годам (приложение Г), видно, что в 2012 и 2014 гг. оно имело такой же характер, как и перед посевом культуры. Исключением оказался 2013 год. Здесь содержание кальция и магния в слое почвы 20–40 см независимо от варианта опыта было заметно выше, чем в слое 0–20 см. Вероятно на это повлияли условия увлажнения. Как мы уже отмечали выше, в сентябре 2013 года выпало большое количество осадков, что создавало условия для вымывания кальция из верхнего слоя почвы в нижележащий.

Таким образом, на основании вышесказанного можно сделать следующие выводы.

1. Систематическое внесение минеральных удобрений без известкования почвы способствовало ее подкислению, переводя из класса слабокислой на контрольном и фоновом вариантах в класс среднекислой. Внесение $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ на фоне последствия дефеката стабилизировало величину почвенной кислотности на уровне контроля, а применение этой же дозы минеральных удобрений на фоне последствия навоза и дефеката способствовало переходу почвы в класс близкой к нейтральной. Наименьшая кислотность почвы наблюдалась на варианте с совместным последствием навоза и дефеката без применения минеральных удобрений.

2. На не известкованных вариантах опыта слой почвы 0–20 см имел большую кислотность, чем слой 20–40 см, а на известкованных – наоборот. Также изменялась и сумма обменных оснований. Исключением стал 2013 год, когда избыточные условия увлажнения в сентябре способствовали вымыванию кальция и магния из слоя 0–20 см вниз по профилю. Из-за этого в конце вегетации сахарной свеклы содержание обменных оснований в слое почвы 20–40 см было выше по всем вариантам опыта.

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

При возделывании сельскохозяйственных культур важная роль в увеличении их продуктивности принадлежит азоту. Минеральный азот поступает в почву в основном при разложении растительных остатков и с вносимыми удобрениями.

Его содержание в почве зависит от почвенно-климатических условий и достаточно мобильно по годам. Установлено, что запасы нитратов весной в слое почвы 0–40 см более надежно, чем другие показатели, характеризуют азотный режим питания сельскохозяйственных культур. Такой точки зрения применительно к черноземным почвам придерживаются многие исследователи [34, 57, 210]. Однако в годы с дождливой и прохладной осенью или поздней и холодной весной запасы нитратов перед посевом культур не могут с достаточной надежностью характеризовать обеспеченность растений этим элементом. Некоторые ученые во влажные годы наблюдали повышенное содержание аммонийного азота [100].

Поэтому для более точной характеристики обеспеченности растений азотом необходимо изучение содержания и характера распределения по профилю как аммонийной, так и нитратной его формы [210].

Результаты наших исследований по изучению динамики содержания нитратного азота в почве в период вегетации сахарной свеклы (рисунок 5, приложения Ж 1–9) показали, что максимальное его содержание в среднем по опыту наблюдалось перед посевом культуры. Вниз по профилю оно имело тенденцию к уменьшению.

Так, в слое почвы 0–20 см содержание нитратного азота изменялось от 9,6 мг/кг почвы на контроле до 34,2 мг/кг почвы на варианте с двойной дозой минеральных удобрений. В слое почвы 20–40 см оно снижалось на 3–26 % по сравнению с содержанием в слое 0–20 см.

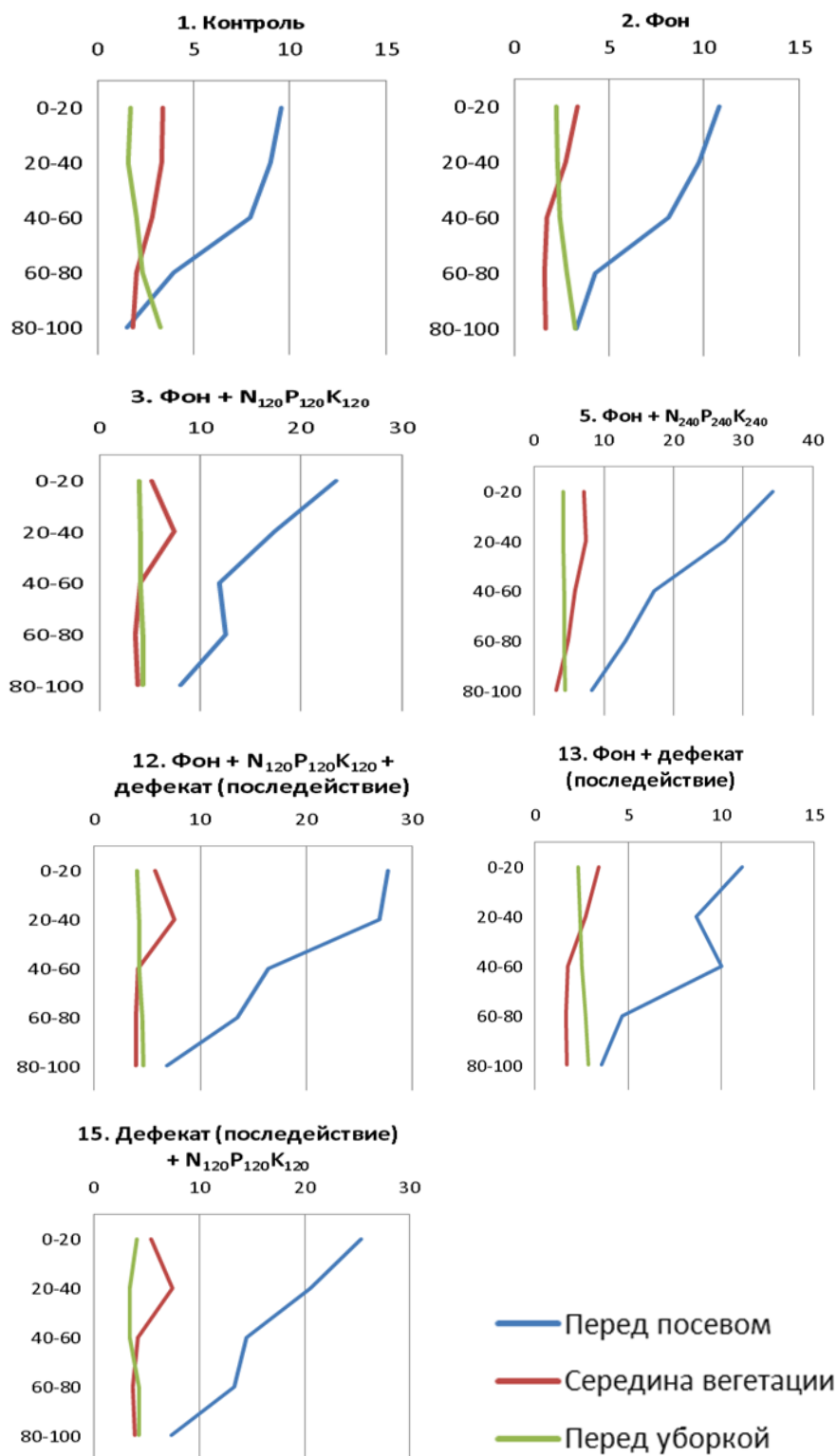


Рисунок 5. Влияние удобрений и мелиоранта на динамику содержания нитратного азота в черноземе выщелоченном в период вегетации сахарной свеклы, мг/кг почвы, среднее за 2012–2014 гг.

В нижележащих слоях почвы происходило дальнейшее его снижение: на 10–49 % в слое 40–60 см, на 47–61 % в слое 60–80 см и на 66–84 % в слое 80–100 см от содержания нитратного азота в верхнем слое.

В середине вегетации сахарной свеклы содержание нитратного азота по вариантам опыта снижалось. Закономерности распределения его по профилю оставались прежними: максимальное накопление нитратного азота отмечалось в слое почвы 0–20 см, минимальное – в слое 80–100 см.

К концу вегетации происходило дальнейшее снижение содержания нитратного азота. К этому моменту изменялся и характер его распределения по профилю. Минимальное содержание нитратного азота теперь было в слое почвы 0–20 см и варьировало от 1,7 мг/кг почвы на контроле до 4,2 мг/кг почвы на варианте с двойной дозой удобрений. Вниз по профилю оно увеличивалось, достигая максимальных значений в слое почвы 80–100 см (3,2–4,7 мг/кг почвы).

Данное обстоятельство можно объяснить двумя причинами. Во-первых, из верхних слоев растениями потреблялось наибольшее количество азота, поэтому там его содержание уменьшалось. Во-вторых, нитратный азот не закрепляется в почве и потому обладает высокой подвижностью. Он вымывался с нисходящими токами воды в нижние слои почвы и, вероятно, даже за пределы изучаемой толщи.

Динамика содержания аммонийного азота (рисунок 6) в период вегетации сахарной свеклы носила иной характер. Перед посевом культуры, в отличие от содержания нитратного азота, количество аммонийного азота в почве было минимальным за период вегетации.

Изменяясь в слое почвы 0–20 см от 2,1 мг/кг почвы на контроле до 4,9 мг/кг почвы на варианте с двойной дозой удобрений, вниз по профилю оно уменьшалось. Так, в слое почвы 20–40 см содержание аммонийного азота на 11–32 % было ниже, чем в слое 0–20 см. С глубиной происходило дальнейшее его уменьшение – на 14–35, 23–51, 53–62%, соответственно в слоях 40–60, 60–80 и 80–100 см от количества в верхнем слое.

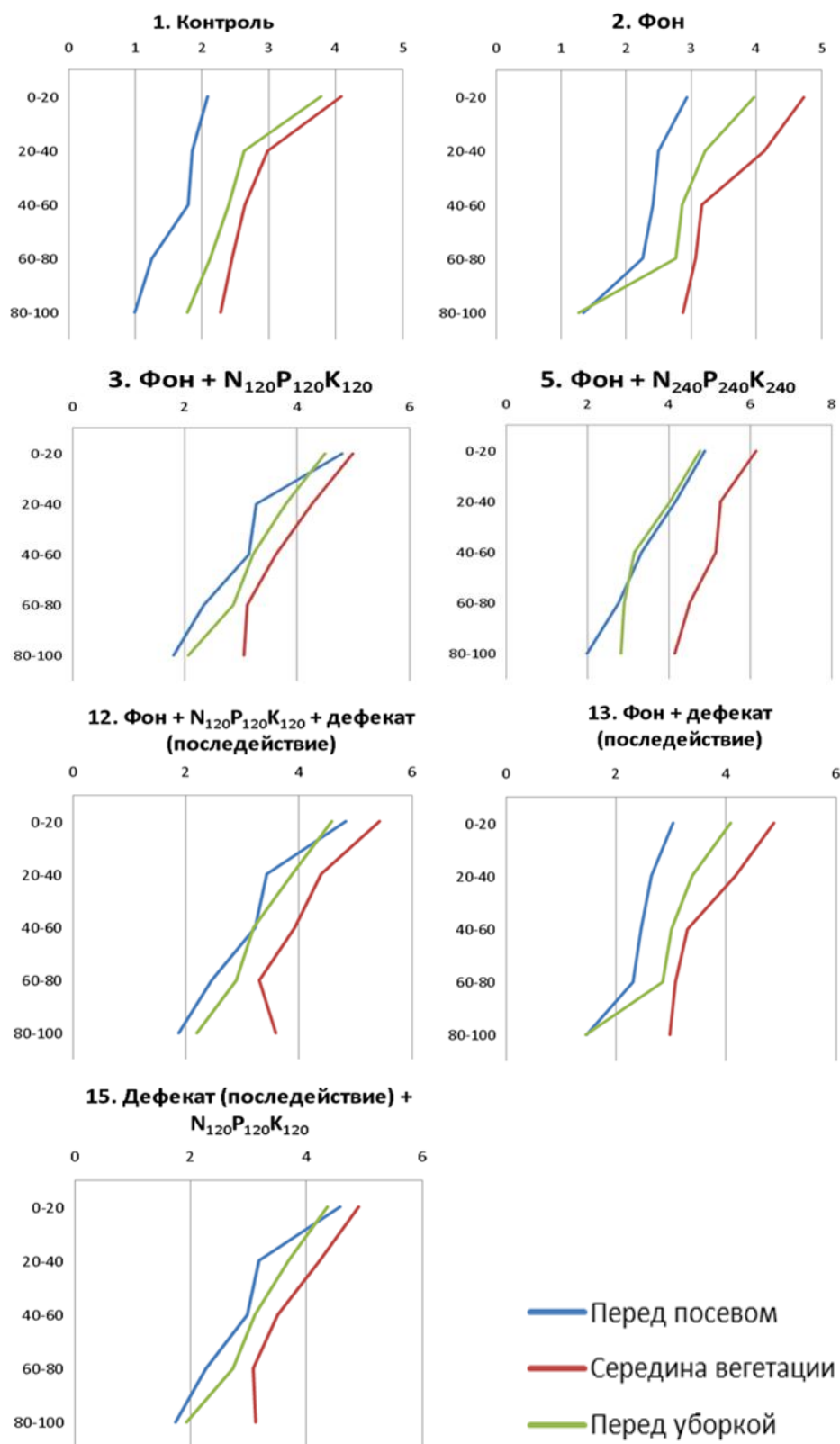


Рисунок 6. Влияние удобрений и мелиоранта на динамику содержания аммонийного азота в черноземе выщелоченном в период вегетации сахарной свеклы, мг/кг почвы, среднее за 2012–2014 гг.

К середине вегетации сахарной свеклы содержание аммонийного азота увеличивалось в 1,1–2,1 раза по сравнению с периодом до посева. Вероятно, это связано с тем, что из-за большего прогревания почвы, активнее протекал процесс аммонификации, что и способствовало накоплению аммонийной формы азота.

К концу вегетации содержание аммонийного азота уменьшалось. Но при этом его количество в почве было выше, чем перед посевом культуры. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что потребление азота растениями в это время уменьшалось, но условия для его мобилизации были еще благоприятными. Содержание аммонийной формы азота, как и в другие сроки отбора образцов, имело четкую тенденцию к уменьшению с глубиной.

Таким образом, динамика содержания минеральных форм азота в почве в течение вегетации культуры имела неоднозначный характер. Большее количество нитратного азота накапливалось перед посевом культуры и в течение роста растений уменьшалось до минимального к уборке урожая. Вниз по профилю оно снижалось в первой половине вегетации. Во второй половине вегетации имело место большее накопление нитратного азота в нижних слоях почвы, чем в верхних. Содержание в почве аммонийного азота минимальным было перед посевом культуры. К середине вегетации оно заметно возрастало, а к уборке наблюдалось некоторое его уменьшение.

Вниз по профилю содержание аммонийного азота во все сроки отбора образцов уменьшалось.

На основании содержания минеральных форм азота в почве были рассчитаны его запасы (таблица 4).

Результаты расчета показали, что перед посевом сахарной свеклы запасы нитратной формы азота были выше, чем аммонийной в слое почвы 0–20 см – в 3,7–7,0 раз, в слое 20–40 см – в 3,3–7,9 раза, в слое 40–60 см – в 3,4–5,2 раза, в слое 60–80 см – 1,9–5,9 раза и в слое 80–100 см – в 1,5–4,4 раза.

Таблица 4. Влияние удобрений и мелиоранта на динамику запасов минерального азота в черноземе выщелоченном в период вегетации сахарной свеклы, кг/га, среднее за 2012–2014 гг.

Вариант	Слой	N-NO ₃ ⁻ , кг/га			N-NH ₄ ⁺ , кг/га			N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ , кг/га		
		1*	2**	3***	1	2	3	1	2	3
1. Контроль	0–20	21,2	7,6	3,8	4,6	9,1	8,4	25,8	16,7	12,2
	20–40	21,1	7,7	3,7	4,4	7,0	6,2	25,5	14,7	9,9
	40–60	20,1	7,2	5,0	4,5	6,7	6,0	24,6	13,9	11,0
	60–80	10,2	5,2	6,0	3,2	6,3	5,4	13,4	11,5	11,4
	80–100	4,1	5,0	8,9	2,7	6,2	4,8	6,8	11,2	13,7
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	24,0	7,4	4,9	6,5	10,5	8,8	30,5	17,9	13,7
	20–40	22,9	6,3	5,4	5,9	9,6	7,5	28,8	15,9	12,9
	40–60	20,5	4,3	6,0	6,1	8,0	7,2	26,6	12,3	13,2
	60–80	10,9	4,1	7,2	5,8	7,9	7,1	16,7	12,0	14,3
	80–100	8,8	4,5	8,6	3,6	7,7	3,4	12,4	12,2	12,0
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	52,2	11,6	8,9	10,7	11,1	10,0	62,9	22,7	18,9
	20–40	40,8	17,3	9,4	7,7	10,0	8,9	48,5	27,3	18,3
	40–60	30,1	10,2	10,3	7,9	9,1	8,1	38,0	19,3	18,4
	60–80	31,9	9,2	11,0	6,0	8,0	7,3	37,9	17,2	18,3
	80–100	21,7	10,4	11,7	4,9	8,2	5,6	26,6	18,6	17,3
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	76,0	16,0	9,2	10,9	13,7	10,6	86,9	29,7	19,8
	20–40	64,0	17,5	9,8	9,8	12,3	9,4	73,8	29,8	19,2
	40–60	43,5	15,0	10,8	8,4	13,0	8,0	51,9	28,0	18,8
	60–80	33,6	12,4	11,0	7,1	11,6	7,4	40,7	24,0	18,4
	80–100	22,3	8,7	12,0	5,4	11,2	7,7	27,7	19,9	19,7
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефека (последствие)	0–20	61,6	12,8	9,1	10,7	12,1	10,2	72,3	24,9	19,3
	20–40	63,1	17,6	10,1	8,0	10,3	9,1	71,1	27,9	19,2
	40–60	41,5	10,4	10,8	8,1	9,9	8,1	49,6	20,3	18,9
	60–80	34,7	10,0	11,6	6,3	8,4	7,4	41,0	18,4	19,0
	80–100	18,6	10,6	12,6	5,1	9,7	5,9	23,7	20,3	18,5
13. Фон + дефека (последствие)	0–20	24,8	7,6	5,2	6,7	10,8	9,1	31,5	18,4	14,3
	20–40	20,3	6,3	5,7	6,2	9,8	7,9	26,5	16,1	13,6
	40–60	25,3	4,4	6,4	6,2	8,3	7,6	31,5	12,7	14,0
	60–80	12,0	4,2	7,0	5,9	7,9	7,3	17,9	12,1	14,3
	80–100	9,6	4,6	7,7	4,0	8,0	3,9	13,6	12,6	11,6
15. Дефека (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	56,3	12,1	9,0	10,2	10,9	9,7	66,5	23,0	18,7
	20–40	48,1	17,4	8,0	7,5	9,9	8,6	55,6	27,3	16,6
	40–60	36,6	10,4	8,6	7,5	8,8	7,8	44,1	19,2	16,4
	60–80	34,1	9,5	10,9	5,8	7,9	7,0	39,9	17,4	17,9
	80–100	19,8	10,5	11,5	4,7	8,5	5,2	24,5	19,0	16,7

1* – перед посевом сахарной свеклы (апрель), 2** – середина вегетации (июль), 3*** – перед уборкой урожая (сентябрь)

При этом следует отметить, что на производственных вариантах с внесением оптимальной дозы удобрений преобладание нитратной формы

азота было выражено ярче, чем при внесении этой же дозы только на фоне последствий навоза. Вероятно, это связано с тем, что при известковании почвы создавались лучшие условия (близкая к нейтральной реакция среды) для нитрификации.

К середине вегетации запасы нитратной формы азота снижались, а аммонийной увеличивались. Следствием этого стало изменение соотношения $\text{N-NO}_3^- / \text{N-NH}_4^+$ в сторону увеличения доли аммонийного азота.

К концу вегетации происходило дальнейшее уменьшение запасов минеральных форм азота в почве. При этом в слое почвы 0–20 см по всем вариантам опыта соотношение $\text{N-NO}_3^- / \text{N-NH}_4^+$ изменялось в пределах 0,5–0,9 и преобладала аммонийная форма азота. В слоях почвы 20–40 и 40–60 см оно составляло 0,7–1,3. В нижних слоях соотношение $\text{N-NO}_3^- / \text{N-NH}_4^+$ увеличивалось до 0,8–2,2.

Общая сумма запасов нитратного и аммонийного азота по слоям почвы максимальные значения имела перед посевом культуры. В течение вегетации она снижалась до минимальных значений перед уборкой.

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

Общее количество запасов минерального азота в среднем за 2012–2014 гг. в метровом слое чернозема выщелоченного (таблица 5) перед посевом сахарной свеклы минимальным было на контрольном варианте – 96,4 кг/га. Последствие органических удобрений повышало его на 18,9 кг/га, а внесение на этом фоне минеральных удобрений в дозах $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ и $\text{N}_{240}\text{P}_{240}\text{K}_{240}$ – более чем в 2 раза или на 117,5 и 185,4 кг/га, соответственно.

На варианте с совместным последствием навоза и дефеката запасы минерального азота были на 24,6 кг/га выше, чем на контроле, но от фонового варианта отличались незначительно – на 5,7 кг/га. 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.

Таблица 5. Динамика запасов минерального азота в метровом слое чернозема выщелоченного в период вегетации сахарной свеклы, кг/га, (среднее за 2012–2014 гг.)

Варианты опыта	Перед посевом	Середина вегетации	Перед уборкой
1. Контроль	96,4	68,0	58,2
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	115,3	70,3	53,4
3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$	213,9	105,1	70,5
5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$	281,8	131,4	80,0
12. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последствие)	257,7	111,8	76,8
13. Фон + дефекат (последствие)	121,0	71,9	57,6
15. Дефекат (последствие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$	230,6	105,9	71,7

Следует отметить, что на вариантах с оптимальной дозой минеральных удобрений запасы азота увеличивались в ряду: $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза, $N_{120}P_{120}K_{120}$ + последствие дефеката (+16,7 кг/га), $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза и дефеката (+ 43,8 кг/га к 3 варианту и + 27,1 кг/га к 15 варианту). Вероятно, данное обстоятельство было связано с тем, что при известковании создавались более благоприятные условия для накопления минерального азота, особенно нитратной его формы.

К середине вегетации содержание минерального азота уменьшалось в 1,4–2,3 раза или на 28,4–150,4 кг/га. Это связано с интенсивным потреблением его растениями – до середины июня шло активное нарастание вегетативной массы, а со второй половины началось усиленное разрастание корнеплодов и листьев.

К концу вегетации растений происходило дальнейшее снижение запасов минерального азота в почве. По сравнению с серединой вегетации оно составляло 14,4–39,1 % или 9,8–51,4 кг/га, а по сравнению с периодом до посева – 39,6–71,6 % или 38,2–201,8 кг/га. Наибольшее уменьшение запасов

минерального азота наблюдалось на варианте с двойной дозой минеральных удобрений. На вариантах с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на различных фонах это снижение варьировало в пределах 143,4–180,9 кг/га, а в случае отсутствия минеральных удобрений (контроль, фон, фон + дефекат) – составляло 39,6–53,7 кг/га.

Распределение запасов минерального азота по вариантам опыта в этот период подчинялось тем же закономерностям, что и перед посевом культуры. Однако оно было более равномерным и изменялось от 52,8 кг/га на контроле до 80,0 кг/га при внесении $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последействия навоза.

При этом стоит отметить, что несколько ранее (2011 г.) нами наблюдались иные закономерности. При внесении минеральных удобрений запасы минерального азота в среднем за 2011–2013 гг. к концу вегетации практически не изменялись по сравнению с серединой вегетации [166]. Вероятно, это было связано как с особенностями почвенно-климатических условий, так и с более высокой урожайностью сахарной свеклы в 2013 и 2014 гг. по сравнению с 2011 г. [163].

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Запасы минерального азота в почве зависели от применения удобрений и мелиоранта. Максимальными они были на варианте с двойной дозой удобрений, внесенной на фоне последействия навоза. Использование оптимальной дозы ($N_{120}P_{120}K_{120}$) на различных фонах обеспечивало несколько меньшее накопление минерального азота.

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.

2. Максимальное количество нитратного азота накапливалось перед посевом культуры и в течение роста растений уменьшалось до минимального уровня к уборке урожая. Вниз по профилю оно уменьшалось в первой

половине вегетации. Перед уборкой урожая имело место преимущественное накопление нитратного азота в нижних слоях почвы.

Содержание в почве аммонийного азота минимальным было перед посевом культуры. К середине вегетации оно заметно возрастало, а к уборке наблюдалось некоторое его уменьшение. Вниз по профилю содержание аммонийного азота во все сроки отбора образцов уменьшалось.

3. 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

Урожайность сахарной свеклы в значительной степени определяется и содержанием в почве фосфора, особенно подвижных его форм. Поэтому при ее выращивании одной из важнейших задач является создание оптимального уровня фосфорного питания.

Изучение фосфорного режима различных почв показало, что длительное внесение минеральных удобрений оказывает на него существенное влияние, способствуя увеличению подвижных форм фосфора, а также изменяет валовое количество фосфора и его групповой состав [8, 16, 190].

При этом Н.А. Кирпичников и С.Н. Адрианов отмечали, что недостаточно изучены вопросы взаимодействия свежевнесенных фосфорных удобрений и последствий извести. Для дерново-подзолистых почв ими было установлено снижение скорости перехода фосфатов удобрений в менее растворимые формы на известкованной почве. Содержание подвижных фосфатов и степень их подвижности на менее кислых почвах

стабилизировались на более высоком уровне, чем на кислых [79]. В опыте И.В. Лысковой и др. содержание фосфора зависело от дозы внесения фосфорсодержащего удобрения в составе NPK и увеличивалось при внесении удобрений на фоне извести [116].

Несколько позднее Е.М. Митрофанова не обнаружила влияния последствий известкования на показатели фосфатного состояния почвы, в то время как внесение фосфорных удобрений способствовало повышению содержания подвижных форм фосфора [153]. А в исследованиях R. Naidu и др. и D. Curtin, J.K. Syers при известковании почвы высокими дозами извести происходило снижение содержания доступных для растений форм фосфора [295, 304].

Таким образом, накопление подвижных форм фосфора при известковании почвы зависит от ее особенностей и должно изучаться в конкретных почвенно-климатических условиях.

Результаты наших исследований по изучению влияния удобрений и дефеката на содержание подвижных форм фосфора представлены в таблице 6 и в приложении 3.

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 последствий органических. На этом варианте содержание фосфора составляло 183,1 мг/кг почвы и относилось к классу высокой обеспеченности почвы данным элементом.

Применение минеральных удобрений в одинарной дозе ($N_{120}P_{120}K_{120}$) на различных фонах, в том числе и с дефекатом, обеспечивало примерно одинаковое содержание фосфора в почве – 135,7–140,7 мг/кг почвы – класс повышенной обеспеченности.

На вариантах с последствием только навоза, а также совместного последствия навоза и дефеката обеспеченность почвы фосфором была также повышенной, но его содержание существенно отличалось от вариантов

с минеральными удобрениями и изменялось в пределах 102,2–110,4 мг/кг почвы. Минимальное содержание подвижного фосфора (83,9 мг/кг почвы) наблюдалось на контроле. Почва относилась к классу средней обеспеченности этим элементом.

Таблица 6. Влияние удобрений и дефеката на содержание подвижного фосфора в черноземе выщелоченном в период вегетации сахарной свеклы, среднее за 2012–2014 гг.

Вариант	Слой	Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы	
		Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	89,4	73,1
	20–40	78,3	67,9
	0–40	83,9	70,5
2. Фон – 40 т/га навоза (последействие)	0–20	107,2	92,7
	20–40	97,1	72,6
	0–40	102,2	82,7
3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$	0–20	154,9	136,2
	20–40	120,0	108,0
	0–40	137,5	122,1
5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$	0–20	207,4	135,5
	20–40	158,8	113,0
	0–40	183,1	124,3
12. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последействие)	0–20	159,7	112,3
	20–40	121,7	86,5
	0–40	140,7	99,4
13. Фон + дефекат (последействие)	0–20	116,0	97,9
	20–40	104,7	83,2
	0–40	110,4	90,6
15. Дефекат (последействие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$	0–20	145,4	112,8
	20–40	125,9	91,6
	0–40	135,7	102,2

К концу вегетации сахарной свеклы содержание подвижного фосфора уменьшалось в 1,1–1,5 раза или на 13,4–58,8 мг/кг почвы. Причем это снижение было меньше выноса фосфора растениями сахарной свеклы. То есть происходило пополнение подвижных фосфатов из труднорастворимых форм.

Говоря о распределении содержания подвижного фосфора по слоям почвы, следует отметить, что в верхнем слое оно было выше, чем в нижележащем. Так, перед посевом сахарной свеклы в слое почвы 0–20 см накапливалось 52,5–56,8% фосфора от общего содержания в слое 0–40 см или на 10,1–48,6 мг/кг почвы больше, чем в нижележащем слое. А перед уборкой здесь содержалось – 51,9–56,5% или на 5,2–28,2 мг/кг почвы больше, чем в слое 20–40 см.

Таким образом, внесение минеральных удобрений способствовало увеличению содержания подвижного фосфора в почве пропорционально их дозе и в наибольшей степени – в верхнем 20-сантиметровом слое. Максимальное содержание фосфора наблюдалось при внесении $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последствия навоза.

Последствие только органических удобрений также оказывало благоприятное влияние на данный показатель, увеличивая его на 18,3 мг/кг почвы относительно контроля.

Ярко выраженного положительного или отрицательного влияния последствия известкования на содержание подвижного фосфора в опыте не обнаруживалось. Однако установлено некоторое преимущество варианта с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза и дефеката относительно других вариантов с оптимальной дозой минеральных удобрений.

4 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТА НА КАЛЬЦИЕВЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

Содержание кальция в почвах изменяется от 0,5 до 5,0%, а в среднем составляет 1,4% [26]. Соединения, в состав которых содержится кальций в почве, можно разделить на три группы:

1. Кальций, входящий в кристаллическую решетку минералов.
2. Обменный кальций, который представляет в большинстве почв основную массу катионов. На его долю приходится 55–85% катионообменной емкости. Высокое обменное поглощение кальция определяется сравнительно небольшим размером гидратированного иона Ca^{2+} по сравнению с другими ионами, которые могут присутствовать в ППК. Предпочтительная адсорбция присуща в большой степени глинистым минералам с высокой емкостью катионного обмена, но наиболее высока адсорбция кальция в гумусе. Так, в опыте Литвиновича А.В. и др. (2016) в соединении с гуминовыми кислотами находились вполне существенные количества кальция – в зависимости от варианта опыта от 570 до 1482 кг/га в пересчете на CaCO_3 [107].

Количество обменного кальция наибольшее в черноземах и сероземах и значительно уменьшается в дерново-подзолистых почвах. Малые его количества содержат сильноокислые подзолистые почвы и красноземы.

3. Кальций почвенного раствора – простые соли – хлориды, нитраты, карбонаты, сульфаты, фосфаты. Этот элемент образует хорошо растворимые в воде соли лишь с одновалентными анионами, а с двухвалентными и трехвалентными анионами – малорастворимые соединения. Концентрация кальция в почвенном растворе обычно регулируется равновесием с обменным кальцием. Она зависит от степени насыщения почвенного поглощающего комплекса этим элементом, природы связывания с обменным участком и содержания анионов в растворе [277].

В условиях сельскохозяйственного производства корнеобитаемый слой почвы может терять значительные количества кальция с инфильтрационными атмосферными осадками. Размер этих потерь зависит от количества атмосферных осадков, валового содержания кальция и гранулометрического состава почвы. Чем больше кальция содержится в почве, тем легче он теряется вследствие вымывания.

На величину его потерь оказывают влияние и вносимые удобрения. Аммонийные формы азотных удобрений, способствуют вытеснению обменного кальция из почвенного поглощающего комплекса, и он теряется с просачивающейся водой. Калийные удобрения также способствуют, хотя и в меньшей степени, декальцинации почвы. Применение фосфорных удобрений вызывает меньшие потери, поскольку фосфаты химически связываются почвой [275].

В настоящее время наблюдается процесс обеднения большинства почв кальцием. О.А. Минакова и Е.А. Санин при внесении удобрений в дозах $N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза, $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза и $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза под сахарную свеклу наблюдали снижение содержания обменного кальция в почве на 4,5–11,2 % относительно неудобренного варианта [142]. Однако в исследованиях Е.М. Митрофановой на дерново-подзолистых почвах за 4 ротации севооборота (28 лет) расход обменного кальция (вымывание + вынос с урожаем) из слоя почвы 0–60 см составлял 5360 кг/га, но его запасы не уменьшались. При этом содержание кальция достоверно увеличивалось с глубиной [154].

В исследованиях К.Е. Стекольников под влиянием систематического внесения минеральных удобрений происходило ускоренное декальцирование чернозема выщелоченного. Использование дефеката совместно с органическими удобрениями частично компенсировало этот процесс [236].

Ученые отмечали, что процесс обеднения почв кальцием влечет за собой множество негативных последствий и является одной из главных причин негативной трансформации черноземов.

В связи с этим, весьма важным представляется изучение степени влияния вносимых минеральных удобрений в различных сочетаниях с органическими и дефекалом на кальциевый режим чернозема выщелоченного. В то же время вынос кальция с урожайностью 40 т/га корнеплодов сахарной свеклы и соответствующим количеством листьев составляет примерно 60 кг/га [279]. Поэтому можно сказать, что потребность культуры в данном элементе высокая. При ее выращивании к потерям кальция от влияния средств химизации и вымывания с атмосферными осадками добавляется достаточно высокий вынос элемента с урожаем.

Таким образом, контроль содержания кальция в почве при выращивании сахарной свеклы является важным условием для сохранения почвенного плодородия и обеспечения потребности культуры в нем.

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

Основной источник кальция для питания растений – это его обменная форма [239]. Нами было определено содержание обменного кальция в черноземе выщелоченном в период вегетации сахарной свеклы. Полученные данные представлены в таблице 7.

Результаты исследований показали, что в среднем за 2012–2014 гг. перед посевом сахарной свеклы в слое почвы 0–40 см содержание обменного кальция на контрольном варианте составляло 22,7 мг-экв./100 г почвы. Последствие 40 т/га навоза (фон) увеличивало этот показатель – на 0,7 мг-экв./100 г почвы, а добавление к нему минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ (вариант 3) обеспечивало содержание обменного кальция на уровне контроля. При внесении двойной дозы минеральных удобрений ($N_{240}P_{240}K_{240}$) содержание обменного кальция уменьшалось на 0,5 мг-экв./100 г почвы по отношению к контролю и варианту 3 и на 1,2 мг-экв./100 г почвы по отношению к фону.

Таблица 7. Влияние удобрений и мелиоранта на содержание обменного кальция в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, мг-экв./100 г почвы

Вариант	Слой, см	2012		2013		2014		Среднее за 2012–2014 гг.	
		1*	2**	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	0–20	20,3	20,1	24,8	24,7	22,3	21,9	22,5	22,2
	20–40	21,0	20,8	25,2	25,4	22,7	22,1	23,0	22,8
	0–40	20,7	20,5	25,0	25,1	22,5	22,0	22,7	22,5
2. Фон – 40 т/га навоза (последействие)	0–20	21,2	21,0	25,3	24,7	22,8	22,7	23,1	22,8
	20–40	21,8	21,3	25,6	26,2	23,6	23,5	23,7	23,7
	0–40	21,5	21,2	25,5	25,5	23,2	23,1	23,4	23,2
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	20,9	20,2	24,4	23,5	22,1	21,0	22,5	21,6
	20–40	21,3	20,8	24,8	24,2	22,4	22,0	22,8	22,3
	0–40	21,1	20,5	24,6	23,9	22,3	21,5	22,7	22,0
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	20,8	20,1	23,6	22,9	21,9	20,5	22,1	21,2
	20–40	21,0	20,6	23,6	23,8	22,1	21,0	22,2	21,8
	0–40	20,9	20,4	23,6	23,4	22,0	20,8	22,2	21,5
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последействие)	0–20	25,6	25,0	26,8	26,0	26,8	25,8	26,4	25,6
	20–40	25,2	24,6	26,3	26,6	26,0	25,2	25,8	25,5
	0–40	25,4	24,8	26,6	26,3	26,4	25,5	26,1	25,5
13. Фон + дефекат (последействие)	0–20	26,9	26,3	27,1	25,4	27,0	26,1	27,0	25,9
	20–40	26,1	25,7	26,5	26,7	26,9	26,3	26,5	26,2
	0–40	26,5	26,0	26,8	26,1	27,0	26,2	26,8	26,1
15. Дефекат (последействие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	25,5	24,9	26,6	25,4	25,2	24,7	25,8	25,0
	20–40	25,0	24,6	26,3	26,7	25,0	24,5	25,4	25,3
	0–40	25,3	24,8	26,5	26,1	25,1	24,6	25,6	25,1

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

Значительно выше содержание обменного кальция было в почве производственных вариантов. Причем самую высокую величину этого показателя обеспечивало совместное последействие навоза и дефеката (вариант 13). В этом случае содержание обменного кальция было выше на 4,1 мг-экв./100 г почвы, чем на контроле и на 3,4 мг/экв., чем на варианте с последействием только навоза (вариант 2).

При внесении минеральных удобрений в дозе N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ на фоне последействия навоза и дефеката (вариант 12) содержание обменного кальция было ниже на 0,7 мг-экв./100 г почвы, чем при совместном последействии навоза и дефеката без внесения минеральных удобрений. А

использование оптимальной дозы минеральных удобрений на фоне последствий только дефеката приводило к дальнейшему снижению содержания обменного кальция – на 1 мг-экв./100 г почвы по сравнению с последствием навоза и дефеката и на 0,4 мг-экв./100 г почвы по сравнению с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствий навоза и дефеката.

К концу вегетации растений содержание обменного кальция в слое почвы 0–40 см уменьшалось. На контрольном и фоновом вариантах оно снижалось на 0,2 мг-экв./100 г почвы, а на остальных вариантах опыта на 0,5–0,7 мг-экв./100 г почвы. Закономерности распределения обменного кальция по вариантам опыта оставались прежними.

Уменьшение содержания обменного кальция в почве можно объяснить как его потреблением растениями, так и тем, что к концу вегетации происходило подкисление почвы, то есть увеличивалась концентрация ионов водорода. Вероятно, из-за последнего обстоятельства происходило вытеснение кальция из обменно-поглощенного состояния в почвенный раствор, и создавались условия для его вымывания вниз по профилю.

Характер распределения содержания обменного кальция по слоям почвы был подобен распределению суммы обменных оснований. Так, в среднем за 2012–2014 гг. перед посевом сахарной свеклы на не известкованных вариантах опыта в слое почвы 0–20 см накапливалось на 0,3–0,6 мг-экв./100 г почвы больше обменного кальция, чем в слое 20–40 см. Перед уборкой урожая эта величина составляла – 0,6–0,9 мг-экв./100 г почвы.

Известкование почвы способствовало обогащению кальцием верхнего слоя. В этом случае его содержание в слое почвы 0–20 см было выше на 0,4–0,6 мг-экв./100 г почвы, чем в слое 20–40 см – перед посевом культуры и на 0,3 мг-экв./100 г почвы – перед ее уборкой. Немного отличался вариант с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствий навоза и дефеката, где перед уборкой урожая в слое почвы 0–20 см содержалось на 0,1 мг-экв./100 г почвы больше обменного кальция, чем в слое 20–40 см.

Однако указанные закономерности распределения изучаемого показателя по слоям почвы подтверждались не всегда. Как и в случае с суммой обменных оснований, исключением стал сентябрь 2013 года. В условиях этого периода в слое почвы 20–40 см по всем вариантам опыта наблюдалось более высокое содержание обменного кальция по сравнению с верхним слоем.

Корреляционный анализ данных (таблица 8) показал, что содержание обменного кальция на не производственных вариантах опыта перед посевом сахарной свеклы имело среднюю отрицательную связь с дозой удобрений. Однако к уборке растений теснота связи усиливалась до высокой отрицательной. На производственных вариантах опыта теснота связи во все сроки отбора почвенных образцов характеризовалась как высокая отрицательная.

Таблица 8. Корреляционный анализ данных (слой почвы 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.)

Вид связи	1 группа*		2 группа**	
	1***	2****	1	2
Парный коэффициент корреляции				
Ca – pH_{KCl}	0,771	0,886	0,883	0,704
Частный коэффициент корреляции (с исключением влияния дозы удобрений)				
Ca – pH_{KCl}	0,724	0,669	0,780	0,572
Коэффициент корреляции Спирмена				
Ca – доза удобрений	–0,595	–0,821	–0,726	–0,710
pH_{KCl} – доза удобрений	–0,400	–0,800	–0,625	–0,500

*1 группа: 1. Контроль, 2. Фон – 40 т/га навоза (последствие), 3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$, 5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$; ** 2 группа: 12. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последствие), 13. Фон + дефекат (последствие), 15. Дефекат (последствие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$; ***1 – перед посевом сахарной свеклы; ****2 – перед уборкой урожая

Из сказанного следует, что внесение минеральных удобрений в возрастающих дозах приводило к снижению содержания в почве обменного кальция как на производственном фоне, так и при отсутствии мелиоранта. Однако в первом случае перед посевом культуры данный процесс был

выражен слабее, чем в конце вегетации растений. На наш взгляд это могло быть связано с двумя причинами.

Во-первых, с вносимыми фосфорными удобрениями (суперфосфат двойной) в почву поступали и некоторые количества кальция – 45,4 кг/га при внесении P_{120} и 91 кг/га при внесении P_{240} . То есть здесь с различной интенсивностью могло наблюдаться как вытеснение кальция из ППК под влиянием азотных и калийных удобрений, так и некоторое его пополнение под влиянием фосфорных удобрений. В результате потери кальция под влиянием удобрений в этот период развития растений несколько сглаживались и теснота связи снижалась. Однако большинство ученых считают, что кальций, поступающий с фосфорными удобрениями, не приводит к увеличению содержания его обменной формы в почве [4, 151].

Во-вторых, к концу вегетации кальций потреблялся растениями. Причем, чем выше была доза внесенных удобрений, тем выше урожайность культуры и, следовательно, вынос кальция. К тому же в этот период наблюдалось подкисление почвы тем сильнее, чем была выше доза удобрений. То есть помимо влияния самой дозы удобрений накладывалось влияние величины урожайности культуры и почвенной кислотности, что усиливало взаимосвязь между содержанием обменного кальция и дозой удобрений.

Однако наиболее тесную связь содержание обменного кальция имело с величиной обменной кислотности. На всех вариантах опыта она характеризовалась как высокая положительная. При этом расчет частного коэффициента корреляции показал, что зависимость содержания обменного кальция от величины pH_{KCl} перед посевом сахарной свеклы была высокая положительная, даже при исключении индивидуального влияния дозы удобрений на указанные показатели. Но к уборке растений она снижалась до средней. Скорее всего, это также было связано с влиянием на содержание обменного кальция в почве величины его потребления растениями, что не

дает возможности объективно оценить взаимосвязь между показателями в этот период.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Последствие органических удобрений (фон) благоприятно влияло на содержание обменного кальция в почве, увеличивая его на 0,7 мг-экв./100 г почвы относительно контрольного варианта. Внесение минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последствия органических способствовало снижению содержания обменного кальция по сравнению с фоновым вариантом, а во втором случае оно уменьшалось и по отношению к контролю.

2. 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.

3. На варианте без внесения удобрений (контроль), на фоне последствия только органических удобрений (вариант 2) и при применении на этом фоне минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ (варианты 3 и 5) большее количество обменного кальция наблюдалось в слое почвы 20–40 см. Известкование почвы в различных сочетаниях с минеральными и органическими удобрениями приводило к большему накоплению обменного кальция в слое почвы 0–20 см.

На распределение содержания обменного кальция по слоя почвы оказывали влияние и условия увлажнения. При большом количестве осадков (сентябрь 2013 года), кальций на всех вариантах опыта мигрировал в нижний

слой почвы (20–40 см) и его содержание там было выше, чем в верхнем слое (0–20 см).

4. Корреляционный анализ данных подтвердил, что на содержание обменного кальция в почве оказывали влияние как доза внесенных удобрений, так и величина почвенной кислотности. При этом большая зависимость наблюдалась между содержанием обменного кальция и почвенной кислотностью ($r = 0,704 - 0,886$). Расчет частного коэффициента корреляции показал, что при исключении влияния дозы удобрений, содержание в почве обменного кальция все равно зависело от обменной кислотности, что наиболее ярко проявлялось перед посевом культуры ($r = 0,724-0,780$).

4.2 Влияние удобрений и мелиоранта на известковый потенциал чернозема выщелоченного

Важнейшим критерием для оценки плодородия почв является величина известкового потенциала. Этот показатель характеризует уровень перехода ионов кальция из твердой фазы почвы в почвенный раствор. Чем он выше, тем легче ион кальция переходит в почвенный раствор и тем он доступнее для растений [277].

Для определения известкового потенциала чернозема выщелоченного с помощью ионоселективного электрода была измерена величина pCa , которая характеризует активность ионов кальция в почве. Более высокое значение pCa говорит о низкой активности ионов кальция в почвенном растворе.

Результаты исследований (таблица 9, приложения И–Л) показали, что величина pCa в среднем за 2012–2014 гг. перед посевом сахарной свеклы в слое почвы 0–40 см изменялась в пределах 2,57–3,21 ед. Наибольшее значения она имела на варианте с двойной дозой удобрений, внесенной на фоне последействия навоза. При последействии органических удобрений и внесении на их фоне минеральных в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ величина pCa

составляла 3,04 и 3,13 ед., соответственно. На указанных вариантах опыта наблюдался сильный дефицит кальция (таблица 10).

Таблица 9. 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		K _{изв.}	
	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. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	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. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	6,18	5,99	2,66	2,76	1,33	1,38	4,85	4,61

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

Таблица 10. Градация почв по кальциевому дефициту [267]

Потребность в кальции	pCa	K _{изв.}
Не требуется	<2,0	>7,0
Очень слабая	2,0	6,0–7,0
Слабая	2,0–2,5	5,0–6,0
Средняя	2,5–3,0	4,0–5,0
Сильная	3,0–3,5	3,0–4,0
Очень сильная	>3,5	<3,0

Самая высокая активность ионов кальция наблюдалась на производственных вариантах опыта и величина pCa варьировала от 2,57 на варианте с последствием навоза и дефеката до 2,66 на вариантах с внесением N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ на фоне последствия навоза и дефеката и

$N_{120}P_{120}K_{120}$ при последствии одного дефека. Потребность почвы данных вариантов в кальции оценивалась как средняя.

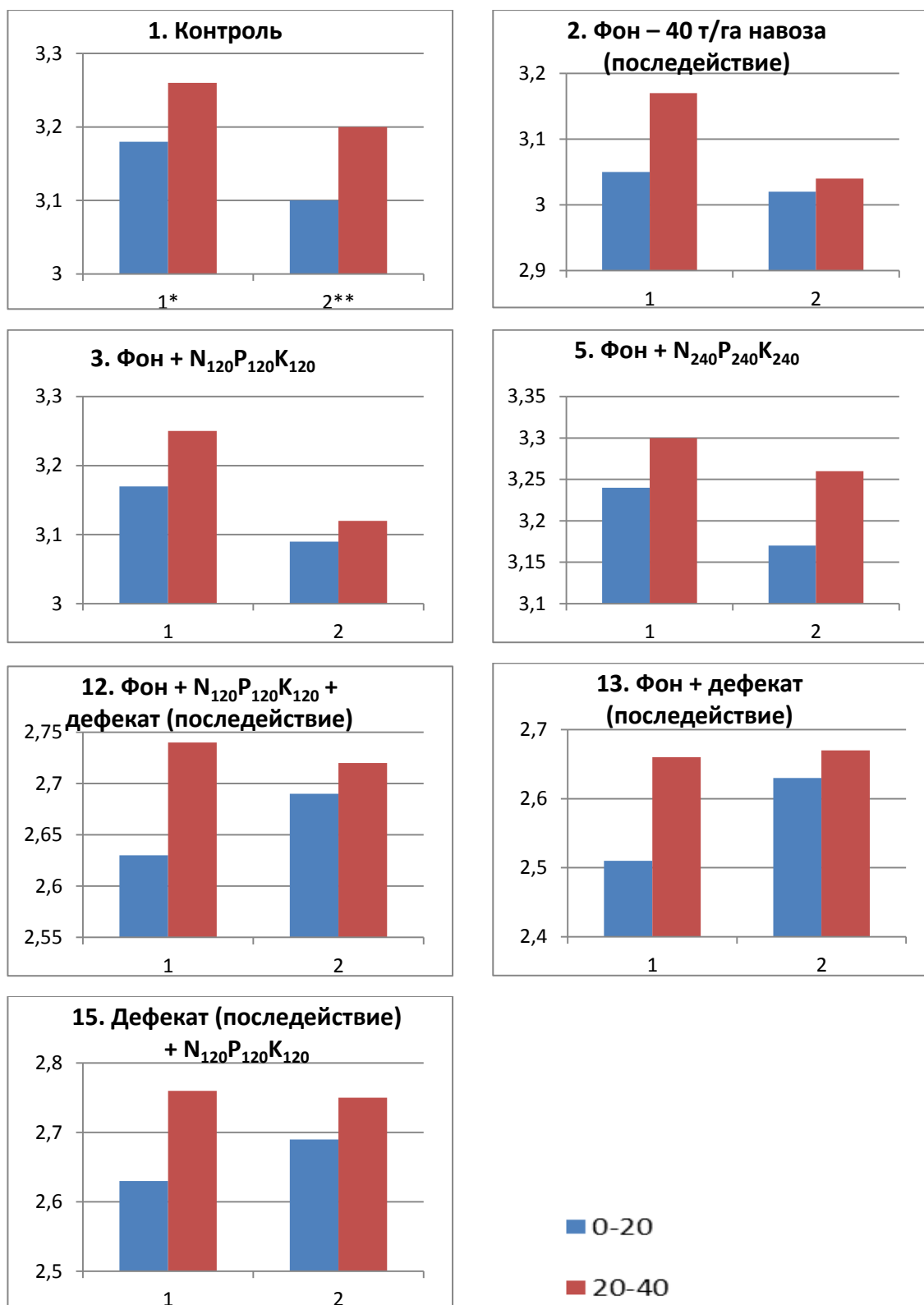
Величина известкового потенциала, в отличие от показателя pCa , на известкованных вариантах опыта имела наибольшие значения – 4,78 – 5,08 ед. Причем этот показатель более точно отражал потребность почвы в кальции. Так, по величине известкового потенциала при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза и дефека (вариант 12) и одного дефека (вариант 15) потребность почвы в этом элементе оценивалась как средняя, а на варианте с последствием навоза и дефека без минеральных удобрений она была слабой.

В то же время на вариантах с внесением минеральных удобрений в различных дозах на фоне последствия органических, известковый потенциал почвы составлял 3,87–4,16 ед. Здесь он, как и в случае с pCa , соответствовал средней потребности почвы в кальции на варианте с оптимальной дозой, а на варианте с двойной дозой удобрений потребность увеличивалась до сильной.

К концу вегетации сахарной свеклы величина pCa увеличивалась на 0,06–0,10 ед., а известковый потенциал почвы снижался на 0,12–0,30 ед. Это свидетельствовало об увеличении потребности почвы в кальции. Причем на известкованных вариантах опыта она оставалась на уровне средней, а на вариантах, с внесением минеральных удобрений на фоне последствия только навоза (варианты 3 и 5) была сильной.

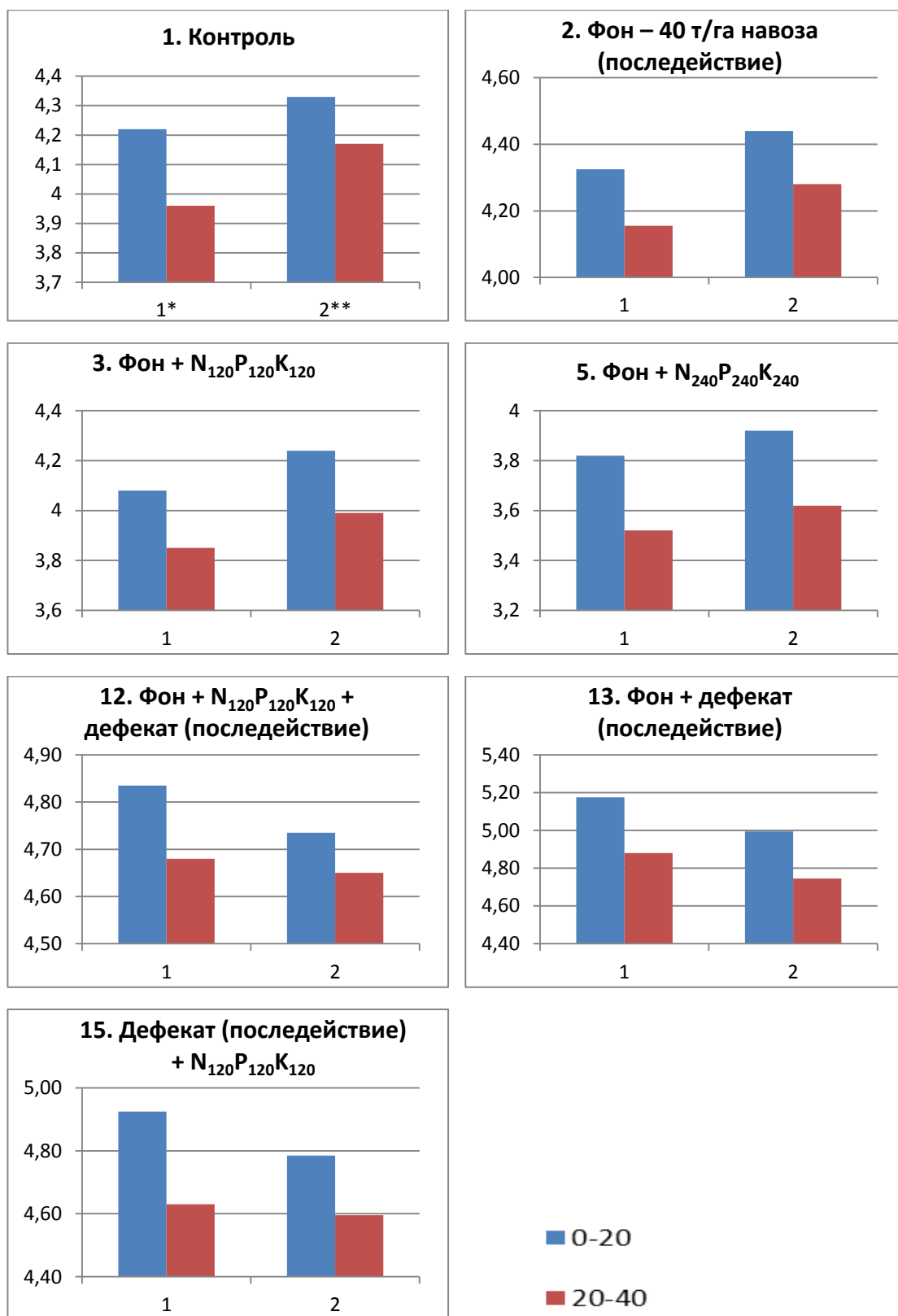
Влияние удобрений и дефека на изменение величины pCa и известкового потенциала по слоям почвы в период вегетации сахарной свеклы представлено на рисунках 7 и 8.

Представленные данные показывают, что в среднем за 2012–2014 гг. перед посевом сахарной свеклы распределение величины pCa по слоям почвы согласовалось с закономерностями, установленными для обменного кальция.



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

Рисунок 7. Влияние удобрений и мелиоранта на динамику величины рСа чернозема выщелоченного под сахарной свеклой, среднее за 2012–2014 гг.



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

Рисунок 8. Влияние удобрений и мелиоранта на динамику известкового потенциала чернозема выщелоченного под сахарной свеклой, среднее за 2012–2014 гг.

Так, на не известкованных вариантах опыта содержание обменного кальция в слое почвы 0–20 см было ниже, чем в слое 20–40 см, а величина pCa на 0,03–0,08 ед. выше.

Это говорит о меньшей активности ионов кальция в верхнем слое почвы по сравнению с нижележащим. На известкованных вариантах опыта, наоборот, величина pCa , была на 0,06–0,12 ед. ниже в слое почвы 0–20 см, чем в слое 20–40 см.

Известковый потенциал почвы в слое 0–20 см изменялся от 3,82 до 5,18 ед., а в слое 20–40 см от 3,92 до 5,00 ед. В отличие от величины pCa , он на вариантах опыта без использования мелиоранта был ниже в слое 0–20 см и увеличивался с глубиной на 0,10–0,16 ед. Последствие известкования повышало его значение в верхнем слое почвы на 0,10–0,18 ед. относительно слоя 20–40 см.

В конце вегетации сахарной свеклы в среднем за 2012–2014 гг. величина pCa имела более высокое значение в слое почвы 0–20 см практически по всем вариантам опыта. Однако в 2012 и 2014 гг. тенденции изменения этого показателя по слоям почвы перед уборкой урожая были такими же, как и перед посевом культуры. Исключением и в этом случае, стал сентябрь 2013 года, что и повлияло на такое распределение показателя по слоям почвы в среднем за три года.

Известковый потенциал почвы перед уборкой урожая имел такой же характер распределения по слоям почвы, как и перед посевом сахарной свеклы.

Корреляционный анализ данных (таблица 11) показал, что величина pCa имела отрицательную связь с обменной кислотностью почвы. Причем теснота этой связи различалась по вариантам с известкованием и без внесения мелиоранта. Так, на не известкованных вариантах опыта теснота связи $pCa - pH_{KCl}$ изменялась от слабой перед посевом культуры до средней перед уборкой урожая. А на вариантах с последствием дефеката, наоборот, – от средней к слабой, соответственно.

Большей теснотой характеризовалась связь между величиной pCa и актуальной кислотностью почвы. На всех вариантах опыта и во все сроки отбора образцов она была высокой отрицательной. Скорее всего, это связано с тем что и pCa , и pH_{H_2O} являются характеристиками почвенного раствора, а pH_{KCl} обусловлена ионами водорода находящимися и в почвенном растворе, и в обменно-поглощенном состоянии. При этом стоит отметить, что связь показателей $pH_{KCl} - pH_{H_2O}$ оценивалась как положительная очень сильная на не известкованных вариантах опыта и положительная высокая - на известкованных.

Таблица 11. Корреляционный анализ данных (слой почвы 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.)

Вид связи	1 группа*		2 группа**	
	1***	2****	1	2
Парный коэффициент корреляции				
$pCa - pH_{KCl}$	–0,308	–0,549	–0,651	–0,374
$K_{изв.} - pH_{KCl}$	0,900	0,894	0,897	0,688
$pCa - pH_{H_2O}$	–0,772	–0,753	–0,750	–0,723
$K_{изв.} - pH_{H_2O}$	0,982	0,996	0,981	0,974
$pH_{KCl} - pH_{H_2O}$	0,925	0,919	0,847	0,768
$pCa - K_{изв.}$	–0,742	–0,812	–0,784	–0,861
Частный коэффициент корреляции (с исключением влияния pCa)				
$K_{изв.} - pH_{H_2O}$	0,760	0,771	0,757	0,730
$K_{изв.} - pH_{KCl}$	0,640	0,581	0,611	0,527

*1 группа: 1. Контроль, 2. Фон – 40 т/га навоза (последствие), 3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$, 5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$; ** 2 группа: 12. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последствие), 13. Фон + дефекат (последствие), 15. Дефекат (последствие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$; ***1 – перед посевом сахарной свеклы; ****2 – перед уборкой урожая

Известковый потенциал почвы зависел как от обменной кислотности, так и от актуальной. Связь $K_{изв.} - pH_{H_2O}$ была очень сильной положительной, а $K_{изв.} - pH_{KCl}$ – высокой положительной. При исключении влияния на указанные показатели величины pCa (частный коэффициент корреляции) теснота связи между известковым потенциалом и актуальной кислотностью почвы несколько ослабевала, но все равно характеризовалась как высокая. В

тоже время теснота связи между известковым потенциалом почвы и обменной кислотностью снижалась до средней.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Активность ионов кальция в почве, характеризующаяся величиной pCa , зависела от применения и удобрений, и мелиоранта. Наименьшей она была при внесении двойной дозы минеральных удобрений ($N_{240}P_{240}K_{240}$) на фоне последствия навоза. При этом почва испытывала сильную потребность в кальции. Потребность почвы в кальции не уменьшалась и при внесении оптимальной дозы минеральных удобрений ($N_{120}P_{120}K_{120}$) на том же фоне (вариант 3).

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.

2. 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 кальциевого потенциала характеризовались контрольный, фоновый варианты и вариант с применением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия 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 $K_{изв.}$ и почва данного варианта испытывала сильный дефицит кальция.

3. 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.

4. 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

Калий — один из основных элементов в питании сахарной свеклы. Он участвует в углеводном обмене, синтезе ферментов и белков, усиливает сахаронакопление и отток сахаров из листьев в корнеплоды, отвечает за засухоустойчивость и водоудерживающую способность. Сахарная свекла с урожайностью 40–45 т/га выносит до 310 кг K_2O /га. Высокие урожаи корнеплодов хорошего качества обеспечиваются поступлением достаточно большого количества этого элемента в растения [222, 238, 279].

По данным ФГБОУ ГЦАС «Воронежский» на 01.01.2017 г. в Воронежской области 11,0 % площади пашни имеют низкое и среднее содержание обменного K_2O , что отчасти связано с недостаточным уровнем внесения калийных удобрений. Средневзвешенное содержание обменного калия в почвах области в целом составляет 122–128 мг/кг почвы [91] и относится к высокому классу обеспеченности почвы калием по существующей градации (по Чирикову).

Данное обстоятельство создает иллюзию, что сельскохозяйственные культуры достаточно обеспечены этим элементом, и вносить калийные удобрения не требуется. Однако это не так. Многими исследованиями доказано, что характеристика калийного режима по одному показателю — содержанию в почве обменного калия, определяемое стандартными методами, — не дает полной картины обеспеченности почв этим элементом [181, 215, 242, 288, 289]. Отмечая несовершенство существующей системы оценки плодородия почв в отношении калия, ученые говорили о недостаточной информативности стандартных методов и необходимости комплексного использования нескольких диагностических показателей.

5.1 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание в почве легкодоступного калия

Как мы отмечали выше, калий в почве представлен в нескольких формах, между которыми наблюдается динамическое равновесие [1, 212].

Небольшая часть калия (1–5 мг/кг почвы) находится в почвенном растворе в виде солей угольной, азотной, фосфорной, серной, соляной и других кислот. Это непосредственно усвояемый растениями калий почвы. Эту форму элемента одни исследователи называют легкодоступной [212], другие – легкообменной [287]. Содержание его значительно меньше количества K_2O , находящегося в почве в обменном состоянии [148].

В.Н. Якименко обращал внимание на то, что легкообменный калий, из-за его невысокого содержания, не часто применяется для характеристики калийного состояния пахотных почв. Однако имеющиеся данные свидетельствуют о достаточно тесной связи этого показателя с урожаем и его хороших диагностических возможностях [286].

Исходя из вышесказанного, для полноты характеристики калийного режима чернозема выщелоченного, нами было определено содержание легкодоступного калия в период вегетации сахарной свеклы. Полученные данные (таблица 12) показали, что в среднем за три года содержание легкодоступного калия в слое почвы 0–40 см перед посевом максимальным было при внесении двойной дозы минеральных удобрений ($N_{240}P_{240}K_{240}$) на фоне последействия навоза – 7,2 мг/кг почвы. Внесение $N_{120}P_{120}K_{120}$ на том же фоне обеспечивало почти в 2,5 раза меньшее содержание легкодоступного калия – 3,0 мг/кг почвы. При внесении этой же дозы минеральных удобрений совместно с навозом и дефекатом (12 вариант, последействие) и дефекатом (15 вариант, последействие) количество легкодоступного калия имело тенденцию к снижению на 0,4 мг/кг почвы в первом случае и на 0,6 мг/кг почвы – во втором.

Таблица 12. Влияние удобрений и дефека на содержание легкодоступного калия в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, мг/кг почвы, (по методу Голубевой)

Вариант	Слой, см	2012		2013		2014		Среднее за 2012–2014 гг.	
		1*	2**	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	0–20	2,9	1,9	1,4	0,4	2,0	1,6	2,1	1,3
	20–40	2,5	1,3	1,0	0,3	1,5	1,0	1,7	0,9
	0–40	2,7	1,6	1,2	0,4	1,8	1,3	1,9	1,1
2. Фон – 40 т/га навоза (последействие)	0–20	3,2	2,0	1,6	0,9	2,6	1,8	2,5	1,6
	20–40	2,5	1,4	1,1	0,6	1,9	1,5	1,8	1,2
	0–40	2,9	1,7	1,4	0,8	2,3	1,7	2,2	1,4
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	3,9	3,7	2,9	2,4	3,4	3,2	3,4	3,1
	20–40	3,5	3,4	1,7	0,8	2,6	2,2	2,6	2,1
	0–40	3,7	3,6	2,3	1,6	3,0	2,7	3,0	2,6
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	14,0	7,9	6,2	3,0	8,9	3,8	9,7	4,9
	20–40	5,3	2,8	3,8	1,3	5,1	2,1	4,7	2,1
	0–40	9,7	5,4	5,0	2,2	7,0	3,0	7,2	3,5
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефека (последействие)	0–20	3,2	2,1	1,9	1,4	3,0	2,3	2,7	1,9
	20–40	2,9	2,0	1,3	0,6	2,7	1,5	2,3	1,4
	0–40	3,1	2,1	1,6	1,0	2,9	1,9	2,6	1,7
13. Фон + дефека (последействие)	0–20	2,4	1,6	1,3	0,6	1,9	1,0	1,9	1,1
	20–40	1,3	1,1	0,5	0,4	1,0	0,8	0,9	0,8
	0–40	1,9	1,4	0,9	0,5	1,5	0,9	1,4	0,9
15. Дефека (последействие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	3,2	1,9	1,9	1,3	2,9	2,2	2,7	1,8
	20–40	2,6	1,2	1,2	0,2	2,6	1,1	2,1	0,8
	0–40	2,9	1,6	1,6	0,8	2,7	1,7	2,4	1,4

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

При этом на всех вариантах с минеральными удобрениями наблюдалось увеличение содержания легкодоступного калия и относительно контроля – на 0,5–5,3 мг/кг почвы, и относительно фона – на 0,2–5,0 мг/кг почвы. А совместное последействие навоза и дефека без внесения минеральных удобрений не оказывало положительного влияния на изучаемый показатель. Его величина была ниже контроля – на 0,5 мг/кг почвы, фона – на 0,8 мг/кг почвы.

В конце вегетации содержание легкообменного калия снижалось на 0,4–3,7 мг/кг почвы в зависимости от варианта. Однако характер его распределения по вариантам опыта оставался прежним.

Содержание легкодоступного калия перед посевом сахарной свеклы в слое почвы 0–20 см изменялось от 1,9 до 9,7 мг/кг почвы, а в слое 20–40 см от 0,9 до 4,7 мг/кг почвы, при содержании на контрольном и фоновом вариантах 2,1–2,5 и 1,7–1,8 мг/кг почвы, соответственно. Во все годы исследований в слое почвы 0–20 см перед посевом культуры накапливалось больше легкодоступного калия, чем в слое 20–40 см.

Полученные результаты противоречат данным некоторых ученых, хотя опыты проведены в схожих условиях. В исследованиях ВНИИССС содержание данной формы калия было выше в слое почвы 20–40 см [136]. Возможно, это связано с условиями увлажнения и высокой подвижностью легкодоступного калия. Также, стоит отметить, что О.А. Минакова и др. проводили определение легкодоступного калия в водной вытяжке, а это не совсем отвечает условиям, создающимся в почвенном растворе, и не получило широкого распространения в научных исследованиях [212].

К концу вегетации сахарной свеклы содержание легкодоступного калия снижалось по всем вариантам опыта в слое почвы 0–20 см – на 0,3–4,8 мг/кг почвы или на 8,8–49,5%, а в слое почвы 20–40 см – на 0,1–2,6 мг/кг почвы или на 11,1–61,9% в среднем за 2012–2014 гг. Это свидетельствует об участии в снабжении растений легкодоступным калием как верхнего слоя почвы, так и нижележащего.

Следует отметить, что в этот период, как и перед посевом культуры, в слое почвы 0–20 см накапливалось больше легкодоступного калия, чем в слое 20–40 см. Причем соотношение между ними или оставалось таким же, как перед посевом культуры, или даже несколько увеличивалось в пользу нижележащего слоя.

Содержание легкодоступного калия в почве по годам исследований различалось. Так, в 2012 году перед посевом сахарной свеклы оно было выше

на всех вариантах по сравнению с 2013 и 2014 годами. В 2013 году зафиксировано самое низкое содержание легкодоступного калия в почве за исследуемый период. Вероятно, это связано с условиями увлажнения. В апреле 2013 года наблюдалась засуха – с 8 по 25 апреля не выпадало осадков. Посев сахарной свеклы и отбор почвенных образцов пришлось как раз на это время. Условия увлажнения перед посевом культуры в 2014 году также были неблагоприятные. За период с 15.04.2014 г. по 24.04.2014 г. выпало всего 0,1 мм осадков. Количество осадков в апреле 2012 года перед посевом сахарной свеклы составляло 72 мм, и было наибольшим за период исследований (189% от нормы).

В конце вегетации культуры влияние метеоусловий было выражено слабее. Так, самое большое количество осадков выпало в сентябре 2013 года (436% от нормы). Однако содержание легкодоступного калия в этот период было почти на всех вариантах ниже, чем в другие годы исследований. Данное обстоятельство связано с тем, что в 2013 году получена самая большая урожайность сахарной свеклы, поэтому вынос калия растениями из почвы был наибольшим. Данные полученные в 2012 и 2014 годах согласуются с установленными ранее тенденциями. Условия увлажнения в сентябре 2012 года были лучше, чем в 2014 году и содержание легкообменного калия было выше практически по всем вариантам опыта. В то же время урожайность культуры, а, следовательно, и потребление калия, в 2012 году была значительно меньше, чем в 2014 году. То есть в этот период на содержание легкообменного калия влияли и размеры его выноса растениями.

Корреляционный анализ данных (таблица 13) показал, что теснота связи между содержанием легкодоступного калия и дозой удобрений характеризовалась как очень сильная положительная на не известкованных вариантах опыта и высокая положительная – на вариантах с последствием мелиоранта.

Таблица 13. Корреляционный анализ данных (слой почвы 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.)

Вид связи	1 группа*		2 группа**	
	1***	2****	1	2
Парный коэффициент корреляции				
$K_2O - pH_{KCl}$	–0,802	–0,952	–0,894	–0,791
Частный коэффициент корреляции (с исключением влияния дозы удобрений)				
$K_2O - pH_{KCl}$	–0,182	–0,333	–0,652	–0,297
Коэффициент корреляции Спирмена				
$K_2O - \text{доза}$	0,958	0,960	0,811	0,808
$pH_{KCl} - \text{доза}$	–0,805	–0,908	–0,874	–0,874

*1 группа: 1. Контроль, 2. Фон – 40 т/га навоза (последствие), 3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$, 5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$; ** 2 группа: 12. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последствие), 13. Фон + дефекат (последствие), 15. Дефекат (последствие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$; ***1 – перед посевом сахарной свеклы; ****2 – перед уборкой урожая

Взаимосвязь содержания легкодоступного калия и величины обменной кислотности по величине парного коэффициента корреляции в среднем оценивалась как высокая отрицательная. Однако при расчете частного коэффициента корреляции с исключением влияния на данные показатели дозы удобрений, на вариантах опыта без мелиоранта перед посевом культуры она не наблюдалась, а перед уборкой урожая была слабой. На вариантах с известкованием почвы связь $K_2O - pH_{KCl}$ перед посевом культуры оценивалась как средняя, а перед уборкой урожая отсутствовала.

Исходя из этого, можно заключить, что наибольшее влияние на содержание легкодоступного калия оказывало внесение минеральных удобрений. Чем выше была их доза, тем больше в почве накапливалось этой формы элемента. Меньшим было влияние обменной кислотности почвы. При подкислении почвы имело место некоторое увеличение содержания легкодоступного калия.

Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

1. Содержание легкодоступной формы калия зависело от доз применяемых удобрений. Коэффициент корреляции варьировал от 0,808 на известкованных вариантах опыта до 0,960 на вариантах без внесения

мелиоранта. Самое высокое количество этой формы калия перед посевом сахарной свеклы обеспечивало внесение 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.

Последействие навоза увеличивало содержание легкодоступного калия в почве по сравнению с неудобренным вариантом на 0,3 мг/кг почвы. Однако преимуществ перед вариантами с внесением минеральных удобрений на фоне последействия органических не наблюдалось.

Последействие известкования неблагоприятно сказывалось на содержании легкодоступного калия, уменьшая его по сравнению с не известкованными вариантами во все сроки отбора почвенных образцов. Самое низкое его количество в среднем за три года отмечалось при совместном последействии навоза и дефеката. 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 последействия только одного дефеката снижало содержание легкообменного калия по отношению к третьему варианту на 0,6 мг/кг почвы перед посевом и на 1,2 мг/кг почвы перед уборкой.

Такое действие дефеката, 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.

2. В среднем за 2012–2014 гг. содержание легкодоступного калия в слое почвы 0–20 см было в 1,2–2,1 раза или на 0,4–5,0 мг/кг почвы выше, чем в слое 20–40 см перед посевом сахарной свеклы и в 1,3–2,3 раза или на 0,3–2,8 мг/кг почвы перед ее уборкой. К концу вегетации количество изучаемой формы элемента снижалось в слое почвы 0–20 см на 0,3–4,8 мг/кг почвы, в слое 20–40 см – на 0,1–2,6 мг/кг почвы. Это свидетельствовало об участии в снабжении растений легкодоступным калием как верхнего слоя почвы, так и нижележащего, хотя и в меньшей степени.

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

Также стоит отметить, что делать вывод об обеспеченности растений калием, определив только содержание легкодоступной его формы, вряд ли возможно, из-за слишком малых ее размеров и постоянного пополнения из других форм.

5.2 Влияние удобрений и мелиоранта на содержание в почве обменного калия

В литературе достаточно данных по влиянию систематического применения удобрений на содержание обменной формы калия. Однако единого мнения о ее превращениях при использовании средств химизации до сих пор нет. Исследователи отмечают, что на этот процесс влияют, как дозы удобрений, так и длительность их внесения.

Некоторые ученые считали, что на черноземах в связи с высокой насыщенностью их ППК двухвалентными катионами обменный калий почти не накапливается. Преобладает его необменное поглощение. Поэтому недооценка объективной информации о состоянии калийного режима может привести к искажению происходящих в почве процессов и вызвать такие

неблагоприятные явления, как увеличение калийфиксирующей способности почвы и снижении доступности обменного калия для растений [148].

Другие ученые при внесении минеральных удобрений наблюдали увеличение обеспеченности почвы обменным калием на 1 класс по сравнению с неудобренным вариантом [27, 84]. В исследованиях ученых Воронежского ГАУ на черноземе типичном и выщелоченном минеральные удобрения также способствовали росту содержания обменного калия. При этом на неудобренных вариантах опытов было отмечено отсутствие снижения содержания калия, и даже наблюдалась отчетливая тенденция его увеличения в пределах одного класса обеспеченности почвы [26, 162].

Спорным остается и вопрос о влиянии кальцийсодержащих мелиорантов на содержание обменного калия. Данная проблема плохо изучена для дерново-подзолистых почв, а в случае черноземов ей не уделяется внимания вовсе. В своих исследованиях мы постарались частично восполнить этот пробел.

В настоящее время основным, а зачастую и единственным, показателем при оценке калийного состояния почв, и в научных исследованиях, и в практическом земледелии, является содержание обменного калия. Для его определения используются стандартные методики: для некарбонатных почв метод Чирикова (0,5 н CH_3COOH), кислых почв метод Кирсанова (0,2 н HCl), карбонатных почв – метод Мачигина (1% $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$). Определение калия в черноземе выщелоченном проводят по методу Чирикова [151].

Результаты наших исследований (таблица 14) показали, что минимальное содержание обменного калия, определяемое по методу Чирикова в слое почвы 0–40 см в среднем за 2012–2014 гг. перед посевом сахарной свеклы было при совместном последствии навоза и дефеката без внесения минеральных удобрений и на контрольном варианте. Почва этих вариантов относилась к классу повышенной обеспеченности обменным калием.

Таблица 14. Влияние удобрений и дефеката на содержание обменного калия в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, мг/кг почвы, (по методу Чирикова)

Вариант	Слой, см	2012		2013		2014		Среднее за 2012–2014 гг.	
		1*	2**	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	0–20	95	122	104	83	107	117	102	107
	20–40	69	112	94	75	87	112	83	100
	0–40	82	117	99	79	97	115	93	104
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	99	106	110	83	111	117	107	102
	20–40	87	87	103	48	99	87	96	74
	0–40	93	97	107	66	105	102	102	88
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	143	104	126	106	166	148	145	119
	20–40	102	101	113	65	116	107	110	91
	0–40	123	103	120	86	141	128	128	105
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	182	147	210	183	198	168	197	166
	20–40	137	101	154	83	150	129	147	104
	0–40	160	124	182	133	174	149	172	135
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	0–20	113	110	118	91	134	123	122	108
	20–40	98	87	113	69	120	107	110	88
	0–40	106	99	116	80	127	115	116	98
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	77	112	100	83	108	105	95	100
	20–40	57	112	97	53	85	100	80	88
	0–40	67	112	99	68	97	103	87	94
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	102	91	116	91	115	118	111	100
	20–40	87	86	107	75	100	104	98	88
	0–40	95	89	112	83	108	111	105	94

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

Последствие 40 т/га навоза (вариант 2) способствовало увеличению содержания обменной формы калия на 9 мг/кг почвы по отношению к контролю, однако класс обеспеченности почвы не изменялся. Внесение минеральных удобрений в дозе N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ на этом фоне (вариант 3) повышало количество изучаемой формы элемента еще на 26 мг/кг почвы. Обеспеченность почвы обменным калием увеличивалась до высокого класса.

Применение этой же дозы минеральных удобрений на фоне последствия навоза и дефеката (вариант 12) приводило к снижению количества обменного калия относительно варианта с N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ + навоз (последствие) – на 13 мг/кг почвы. Такой же эффект оказывало

использование $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последствие), но в этом случае содержание обменного калия снижалось еще сильнее (на 23 мг/кг почвы, повышенная обеспеченность почвы калием на обоих вариантах).

Наибольшее количество изучаемой формы элемента наблюдалось при внесении минеральных удобрений в двойной дозе ($N_{240}P_{240}K_{240}$) на фоне последствия навоза. Здесь оно было выше варианта с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза на 44 мг/кг почвы (обеспеченность – высокая).

К концу вегетации содержание обменного калия уменьшалось на удобренных вариантах опыта на 11–37 мг/кг почвы (класс повышенной обеспеченности). При этом минимальным оно было фоновом варианте – 88 мг/кг почвы, а максимальным оставалось на варианте с двойной дозой удобрений – 135 мг/кг почвы.

Однако уменьшение содержания обменного калия было меньше его выноса с урожаем сахарной свеклы. А на контроле и при совместном последствии навоза и дефеката без минеральных удобрений даже наблюдалось некоторое (на 7–11 мг/кг почвы) его увеличение.

Таким образом, на содержание обменного калия, определяемого по методу Чирикова, перед посевом сахарной свеклы положительное влияние оказывало внесение минеральных удобрений на фоне последствия органических. Причем, чем выше была их доза, тем больше увеличивалось содержание обменного калия. Последствие известкования почвы снижало содержание обменного калия по отношению к не известкованным вариантам во всех случаях. К концу вегетации растений оно изменялось неоднозначно – уменьшалось на одних вариантах и увеличивалось на других, что было связано с высокой динамичностью форм калия в почве и постоянным переходом одной его формы в другую.

Однако многие ученые отмечали, что определение обменного калия по методу Чирикова не всегда дает объективные результаты для оценки обеспеченности некарбонатных почв калием [213]. Результаты, полученные

методом Чирикова, были менее информативны на почвах с относительно истощенным калийным фондом. Метод Масловой четче регистрировал улучшения калийного состояния почвы при внесении невысоких доз удобрений [288].

В опыте на черноземе типичном содержание калия, извлекаемого стандартным методом Чирикова, составляло только 1/3 от всего обменного калия в почве, извлекаемого по методу Масловой [21]. Из черноземных почв Белгородской, Воронежской и Липецкой областей по методу Масловой извлекалось в 1,7–3,9 раз больше калия, чем по методу Чирикова. Абсолютные различия составляли 90–209 мг/кг [70].

В связи с этим наряду с определением обменного калия по методу Чирикова, нами определялось содержание этой формы калия и по методу Масловой. Результаты исследований представлены в таблице 15.

Из представленных данных видно, что в 2012 году перед посевом сахарной свеклы содержание обменного калия, определяемое по методу Масловой, было в 2,1–3,9 раза или на 128–234 мг/кг почвы выше, чем по методу Чирикова, а перед уборкой в 1,8–3,2 раза или на 99–204 мг/кг почвы. В 2013 году эта величина составляла 2,5–3,0 раза или 183–323 мг/кг почвы перед посевом культуры и 2,5–5,4 раза или 156–277 мг/кг почвы перед уборкой, а в 2014 году 1,8–2,8 раза или 141–215 мг/кг почвы и 1,9–2,6 раза или 115–179 мг/кг почвы, соответственно.

Это связано с тем, что при определении обменного калия по методу Масловой используется 1 н раствор $\text{CH}_3\text{COONH}_4$. Ион NH_4^+ имеет близкий с K^+ ионный радиус и поэтому полнее других способствует его вытеснению из ППК. Кроме того, раствор ацетата аммония обладает большими буферными свойствами, чем раствор уксусной кислоты. В.В. Прокошев и И.П. Дерюгин отмечали, что именно метод определения обменного калия с использованием вытяжки 1 н раствором $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ предлагался для массовых анализов на основании глубоких сравнительных исследований наиболее крупным специалистом по проблеме калия И.Г. Важениным. В настоящее время этот

метод используется для исследовательских целей и массовых анализов в странах с самыми разнообразными почвенно-климатическими условиями: Австралия, Австрия, Великобритания, Индия, Китай, Мексика, Перу [212].

Таблица 15. Влияние удобрений и дефека на содержание обменного калия в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, мг/кг почвы, (по методу Масловой)

Вариант	Слой, см	2012		2013		2014		Среднее за 2012–2014 гг.	
		1*	2**	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	0–20	223	223	287	244	266	256	259	241
	20–40	223	219	277	231	245	227	248	226
	0–40	223	221	282	238	256	242	254	233
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	281	277	293	284	270	265	281	275
	20–40	270	263	292	257	251	230	271	250
	0–40	276	270	293	271	261	248	276	263
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	332	321	335	319	295	277	321	306
	20–40	303	293	313	267	271	256	296	272
	0–40	318	307	324	293	283	267	308	289
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	373	349	533	460	413	347	440	385
	20–40	371	305	381	278	352	268	368	284
	0–40	372	327	457	369	383	308	404	335
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефека (последствие)	0–20	306	305	311	305	275	269	297	293
	20–40	295	237	305	278	268	251	289	255
	0–40	301	271	308	292	272	260	293	274
13. Фон + дефека (последствие)	0–20	266	217	288	287	254	243	269	249
	20–40	224	211	286	254	235	218	248	228
	0–40	245	214	287	271	245	231	259	238
15. Дефека (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	299	288	310	302	270	267	293	286
	20–40	282	269	293	257	267	235	281	254
	0–40	291	279	302	280	269	251	287	270

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

Полученные нами результаты при определении содержания обменного калия по методу Масловой говорят о том, что перед посевом сахарной свеклы на контрольном и фоновом вариантах почва (слой 0–40 см) относилась к классу высокой обеспеченности обменным калием (по Масловой). Его содержание составляло 254 и 276 мг/кг почвы, соответственно (в среднем за 2012–2014 гг.).

Внесение минеральных удобрений на фоне последействия органических в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ (вариант 3) увеличивало содержание обменного калия на 54 мг/кг почвы по отношению к контролю и на 32 мг/кг почвы – к фону. Увеличение дозы минеральных удобрений до $N_{240}P_{240}K_{240}$ (вариант 5) способствовало накоплению дополнительного количества обменного калия по сравнению с контролем, фоном и внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ – на 150, 128 и 96 мг/кг почвы, соответственно. Класс обеспеченности почвы на вариантах 3 и 5 относился к очень высокому. Причем, если на третьем варианте он находился практически на грани с нижней ступенью градации (301 мг/кг почвы), то на пятом варианте на 103 мг/кг почвы был выше ее.

При использовании оптимальной дозы удобрений на фоне совместного последействия навоза и дефеката и одного дефеката содержание обменного калия снижалось относительно варианта с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза – на 15 и 21 мг/кг почвы, соответственно. Но оба варианта превосходили по изучаемому показателю и контроль, и фон – на 17–39 и 11–33 мг/кг почвы. Класс обеспеченности почвы калием здесь был высокий.

Меньшее, чем на контроле и варианте с последействием органических удобрений на 5 и 27 мг/кг почвы содержание обменного калия обеспечивало совместное последействие навоза и дефеката. В этом случае оно было ниже на 44 мг/кг почвы и варианта с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза и дефеката. Однако класс обеспеченности почвы обменным калием оставался высоким.

К концу вегетации сахарной свеклы содержание обменного калия, определяемое по методу Масловой, в слое почвы 0–40 см снижалось почти по всем вариантам опыта. Наиболее сильно – на варианте с внесением $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последействия навоза – на 69 мг/кг почвы или на 17,1%, а наименее – на фоновом варианте – 13 мг/кг почвы или 4,7%. При использовании $N_{120}P_{120}K_{120}$ на различных фонах снижение содержания обменного калия было практически одинаковым на 17–19 мг/кг почвы или

5,9–6,5%. При этом уменьшение количества этой формы на контрольном варианте составляло 21 мг/кг почвы или 8,3%.

Характер распределения содержания обменного калия по вариантам опыта практически не отличался от до посевного периода. Стоит отметить, лишь некоторое повышение содержание этой формы относительно контроля на варианте совместного последействия навоза и дефеката – на 5 мг/кг почвы.

Изменение класса обеспеченности почв калием происходило только при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза – он снижался с очень высокого до высокого. На остальных вариантах опыта класс обеспеченности почвы оставался на прежнем уровне.

Таким образом, характер изменения содержания обменного калия, определяемого по методу Масловой, под влиянием агрохимических приемов был практически идентичным изменениям легкодоступного и обменного калия, определяемого по методу Чирикова. Внесение минеральных удобрений на фоне последействия органических увеличивало его пропорционально их дозе. Известкование почвы снижало величину изучаемого показателя, особенно сильно в случае совместного последействия навоза и дефеката без внесения минеральных удобрений.

Сравнивая содержание обменного калия в различных слоях почвы, можно отметить, что лишь на контрольном варианте в 2012 году оно не отличалось. В среднем за 2012–2014 гг. в слое почвы 0–20 накапливалось на 8–72 мг/кг почвы больше обменного калия, чем в слое 20–40 см – перед посевом культуры и на 15–101 мг/кг почвы – перед ее уборкой.

К концу вегетации сахарной свеклы содержание обменного калия в слое почвы 0–20 см снижалось на 1–55 мг/кг почвы, а в слое 20–40 см – на 12–84 мг/кг почвы.

Из сказанного выше следует, что снижение содержания обменного калия в слое 20–40 см было сильнее выражено, чем в слое 0–20 см. Объяснить это питанием растений достаточно трудно. Как известно,

мочковатая корневая система сахарной свеклы, которая имеет решающее значение для поглощения воды и питательных элементов, находится на глубине почвы до 25 см. К концу вегетации в этом слое сосредоточено до 80% этих корней. То есть больше калия из слоя почвы 20–40 см потребляться не могло (Д. Шпаар и др., 2012). Вероятно, данный факт связан с тем, что в слое почвы 20–40 см создавались более благоприятные условия для перехода калия в обменную форму из необменно-фиксированного состояния.

Таким образом, большее количество обменной формы калия как под влиянием удобрений, так и в их отсутствии накапливалось в верхнем слое почвы. К концу вегетации культуры происходило его снижение во всех изучаемых слоях почвы. Однако уменьшение содержания обменного калия в среднем в слое почвы 0–40 см было меньше величины его выноса с урожаем сахарной свеклы. Это можно объяснить как тем, что создавались условия для перехода калия из труднодоступного состояния в обменную форму, так и тем, что вполне возможно его потребление из более глубоких слоев почвы. Вероятно, имели место оба обстоятельства.

Корреляционный анализ данных (таблица 16) показал, что содержание в почве обменной формы калия на не производственных вариантах опыта имело очень сильную положительную зависимость от дозы удобрений ($r = 0,960 - 0,963$), а на производственных – высокую положительную ($r = 0,808 - 0,811$).

Теснота связи между содержанием обменного калия и обменной кислотностью почвы оценивалась как высокая отрицательная ($r = (-0,813) - (-0,908)$). Однако расчет частного коэффициента корреляции с исключением влияния на оба показателя дозы удобрений показал, что теснота связи $K_2O - pH_{KCl}$ характеризовалась как средняя отрицательная.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. При определении содержания обменного калия как по методу Чирикова, так и по методу Масловой обнаруживались практически

одинаковые тенденции изменения его содержания по вариантам опыта. Однако использование метода Масловой обеспечивало более полное вытеснение калия из обменных позиций почвенных коллоидов, чем метод Чирикова. Это связано с тем, что при определении обменного калия по методу Масловой используется 1 н раствор $\text{CH}_3\text{COONH}_4$. Ион NH_4^+ имеет близкий с K^+ ионный радиус и поэтому полнее других способствует его вытеснению из ППК. Кроме того, раствор ацетата аммония обладает большими буферными свойствами, чем раствор уксусной кислоты.

Таблица 16. Корреляционный анализ данных (слой почвы 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.)

Вид связи	1 группа*		2 группа**	
	1***	2****	1	2
Парный коэффициент корреляции				
$\text{K}_2\text{O} - \text{pH}_{\text{KCl}}$	–0,828	–0,908	–0,843	–0,813
Частный коэффициент корреляции (с исключением влияния дозы удобрений)				
$\text{K}_2\text{O} - \text{pH}_{\text{KCl}}$	–0,330	–0,310	–0,472	–0,373
Коэффициент корреляции Спирмена				
$\text{K}_2\text{O} - \text{доза}$	0,963	0,960	0,811	0,808
$\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{доза}$	–0,805	–0,908	–0,874	–0,874

*1 группа: 1. Контроль, 2. Фон – 40 т/га навоза (последствие), 3. Фон + $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$, 5. Фон + $\text{N}_{240}\text{P}_{240}\text{K}_{240}$; ** 2 группа: 12. Фон + $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ + дефекат (последствие), 13. Фон + дефекат (последствие), 15. Дефекат (последствие) + $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$; ***1 – перед посевом сахарной свеклы; ****2 – перед уборкой урожая

При этом 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 дефеката и при внесении $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ на фоне совместного последствия навоза и дефеката и одного дефеката (варианты 1, 2, 13, 12 и 15) оценивалась как повышенная, а на вариантах с внесением $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ и $\text{N}_{240}\text{P}_{240}\text{K}_{240}$ 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.

2. Внесение минеральных удобрений на фоне последействия органических перед посевом сахарной свеклы способствовало накоплению обменной формы калия, увеличивая обеспеченность почвы данным элементом 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. При этом большее количество обменной формы калия по вариантам опыта накапливалось в верхнем слое почвы.

3. 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. Однако уменьшение содержания обменного калия было меньше его выноса с урожаем сахарной свеклы. Данное обстоятельство связано с высокой зависимостью обменной формы калия от почвенно-климатических условий и его постоянным пополнением из необменно-фиксированного почвой состояния. Также вполне возможно, что некоторое количество калия растения потребляли из более глубоких слоев почв.

При этом снижение содержания обменного калия в слое 20–40 было сильнее выражено, чем в слое 0–20 см. Вероятно, данный факт связан с тем, что в слое почвы 20–40 см создавались более благоприятные условия для перехода калия в обменную форму из необменно-фиксированного состояния.

4. Корреляционный анализ данных показал, что содержание в почве обменной формы калия достаточно сильно зависело от дозы вносимых удобрений. Была установлена и его высокая зависимость от величины почвенной кислотности. Однако исключение влияния на оба показателя дозы удобрений показало, что в этом случае теснота связи $K_2O - pH_{KCl}$ средняя.

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

Систематическое применение калийных удобрений сопровождается обменной фиксацией калия почвенными коллоидами. Этот процесс активно идет при переменном смачивании и подсушивании почвы. Почвы тяжелого гранулометрического состава, содержащие большое количество тонкодисперсных фракций, отличаются повышенной фиксацией калия [212].

Л.М. Жукова установила, что в черноземах обменная фиксация калия достигает значительных размеров – от 300 до 700 кг K_2O на 1 га. Причем, чем меньше длительность применения удобрений и количество внесенного калия, тем больше его обменная фиксация [59].

Результаты, полученные в опыте Н.Г. Мязина и П.Т. Брехова на черноземе типичном, показали, что обменная форма калия по размеру была сопоставима с обменной (370 и 401 мг/кг, соответственно). Авторы предполагают, что калийные удобрения поглощаются в почве преимущественно обменным путем и в меньшей степени – обменным. Связь этой формы калия с дозой удобрений слабее, чем по обменной форме [21].

В многолетнем опыте на черноземе выщелоченном О.А. Минаковой и др. было установлено, что содержание обменного калия не повышалось относительно неудобренного варианта в слое почвы 0–20 см. В слое 20–40 см в вариантах $N_{45}P_{45}K_{45}$ + навоз 25 т/га, $N_{90}P_{90}K_{90}$ + навоз 25 т/га был отмечен его рост на 6,2–20,3%, а в вариантах $N_{120}P_{120}K_{120}$ + навоз 50 т/га произошло снижение его содержания на 9,9–17,7%. Авторы пришли к выводу, что под влиянием удобрений содержание обменного калия снижается [129].

Таким образом, вопрос о том какая форма калия – обменная или обменная – будет преобладать в черноземных почвах при внесении удобрений остается спорным. Содержание обменного калия зависит в первую очередь от способности почвы к его обменной фиксации, которая

определяется гранулометрическим составом, во вторую – от длительности внесения удобрений. Достаточно интересно установить и степень влияния кальцийсодержащих мелиорантов на содержание обменного калия. Академик В.Г. Минеев отмечал, что увеличение содержания органического вещества в почве путем применения удобрений, а также известкование кислых почв, усиливают обменное поглощение калия [148].

Результаты наших исследований (таблица 17) показали, что в среднем за три года перед посевом сахарной свеклы в слое почвы 0–40 см содержание легкогидролизуемой обменной формы калия варьировало от 599 до 649 мг/кг почвы. Минимальным оно было на контрольном варианте.

Таблица 17. Влияние удобрений и дефеката на содержание легкогидролизуемого обменного калия в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, мг/кг почвы, (по методу Пчелкина)

Вариант	Слой, см	2012		2013		2014		Среднее за 2012–2014 гг.	
		1*	2**	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	0–20	620	603	528	542	612	602	587	582
	20–40	648	624	535	583	649	609	611	605
	0–40	634	614	532	563	631	606	599	594
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	644	579	577	590	624	619	615	596
	20–40	651	584	582	614	661	633	631	610
	0–40	648	582	580	602	643	626	623	603
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	648	561	575	590	641	558	621	570
	20–40	657	581	597	645	695	614	650	613
	0–40	653	571	586	618	668	586	636	592
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	622	516	564	640	568	517	585	558
	20–40	654	554	608	718	641	616	634	629
	0–40	638	535	586	679	605	567	610	594
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	0–20	653	576	568	604	658	582	626	587
	20–40	673	615	607	656	691	598	657	623
	0–40	663	596	588	630	675	590	642	605
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	666	661	589	637	647	581	634	626
	20–40	725	695	597	657	671	617	664	656
	0–40	696	678	593	647	659	599	649	641
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	671	647	562	585	654	646	629	626
	20–40	695	661	597	649	677	664	656	658
	0–40	683	654	580	617	666	655	643	642

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

Последствие 40 т/га навоза (вариант 2) приводило к увеличению обменной формы калия относительно контроля на 24 мг/кг почвы. Внесение на этом фоне минеральных удобрений в оптимальной дозе (вариант 3) увеличивало содержание обменного калия на 13 мг/кг почвы относительно второго варианта. Применение двойной дозы минеральных удобрений ($N_{240}P_{240}K_{240}$) способствовало некоторому уменьшению количества этой формы по сравнению с последствием 40 т/га навоза (на 13 мг/кг почвы) и вариантом с оптимальной дозой (на 26 мг/кг почвы).

Последствие известкования почвы в различных сочетаниях с органическими и минеральными удобрениями создавало условия для практически одинакового содержания этой формы калия – 642–649 мг/кг почвы. Оно было выше, чем на не известкованных вариантах опыта. Вероятно, это связано с тем, что кальций, внесенный с дефекатом, закрепляясь в ППК, занимал большее количество обменных позиций почвенных коллоидов. В результате способность почвы к обменному поглощению калия уменьшалась, и увеличивалась его обменная фиксация.

К концу вегетации сахарной свеклы содержание обменной формы калия в среднем за 2012–2014 гг. уменьшалось на 1–44 мг/кг почвы в зависимости от варианта. Наименее интенсивно этот процесс происходил на контроле (на 5 мг/кг почвы) и при совместном последствии навоза и дефеката (на 1 мг/кг почвы).

Можно предположить, что такое низкое снижение содержания обменного калия к уборке растений свидетельствовало о его небольшой доли участия в питании растений. Однако мы уже отмечали выше, что снижение содержания обменной формы калия (которая считается основным источником питания растений) было значительно ниже величины его выноса с урожаем. Вполне вероятно, что здесь происходило пополнение и обменной, и легкогидролизуемой обменной формы калия из труднодоступного обменного калия (не извлекаемого 2 н раствором HCl), доля которого, как считают ученые, в питании растений второстепенна [212].

Интересным представляется и то, что в 2013 году содержание обменной формы калия к концу вегетации растений по всем вариантам опыта увеличивалось на 23–93 мг/кг почвы. Возможно, данное обстоятельство связано с условиями увлажнения. Как мы говорили выше, в сентябре 2013 года выпало 436% нормы осадков. В почве накапливалось большое количество влаги. Это приводило к расширению кристаллической решетки трехслойных алюмосиликатов и ионы K^+ из трудногидролизуемого обменного состояния становились более подвижными, переходя в легкогидролизуемую обменную форму.

В этом случае следовало бы ожидать и увеличение содержания обменной и легкодоступной форм элемента. Но, вероятно, из-за высокого потребления калия растениями (в 2013 году получена достаточно высокая урожайность корнеплодов – 51,3–74,5 т/га) этого не происходило.

Анализируя характер распределения легкогидролизуемого обменного калия по слоям почвы, можно сказать, что, в отличие от легкодоступной и обменной форм, больше его накапливалось в слое почвы 20–40 см. Так, перед посевом сахарной свеклы в среднем за 2012–2014 гг. содержание обменного калия в слое почвы 0–20 см было ниже, чем в слое 20–40 см на 16–50 мг/кг почвы или на 4,8–4,9%. Перед уборкой культуры эта величина составляла 14–72 мг/кг почвы или 4,7–4,9%.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. При внесении минеральных удобрений на фоне последействия органических содержание обменной формы калия увеличивалось относительно неудобренного варианта. При этом использование оптимальной дозы минеральных удобрений ($N_{120}P_{120}K_{120}$) обеспечивало на 26 мг/кг почвы большее содержание обменного калия, чем внесение двойной дозы ($N_{240}P_{240}K_{240}$).

Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последействия навоза и дефеката и одного дефеката в среднем

за 2012–2014 гг. способствовало накопление 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 последствий навоза.

Наибольшее содержание необменного калия обеспечивало совместное последствие навоза и дефеката – 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 дефеката – на 7 мг/кг почвы.

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

3. В слое почвы 20–40 см как на удобренных вариантах опыта, так и в отсутствии удобрений отмечалось большее содержание обменной формы элемента, чем в слое 0–20 см.

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

Содержание различных форм калия в черноземе выщелоченном представлено в таблице 18.

Из представленных данных видно, что общее содержание всех изучаемых форм калия перед посевом сахарной свеклы в слое почвы 0–40 см максимальным было на варианте с двойной дозой удобрений, внесенной на фоне последствия навоза (вариант 5) – 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 $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза и дефеката обеспечивало на 11 мг/кг почвы меньшее содержание калия, а на фоне последствия дефеката

на – на 24 мг/кг почвы, чем использование этой же дозы минеральных удобрений, но на фоне последствия только навоза.

Таблица 18. 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 – 40 т/га навоза (последствие)	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 + дефека (последствие)	2,6	1,7	116	98	293	274	642	605	935	879
13. Фон + дефека (последствие)	1,4	0,9	87	94	259	238	649	641	908	879
15. Дефека (последствие) + 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

Общее содержание форм калия на этих вариантах было выше, чем на контроле на 77–161 мг/кг почвы и на 31–115 мг/кг почвы, чем на варианте с последствием только органических удобрений.

Совместное последствие навоза и дефеката обеспечивало на 55 и 9 мг/кг почвы большее содержание калия, чем на контрольном и фоновом вариантах, соответственно. В тоже время оно было на 27 мг/кг почвы ниже, чем при внесении N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ на фоне последствия навоза и дефеката.

К концу вегетации сахарной свеклы общее содержание калия в слое почвы 0–40 см уменьшалось по всем вариантам опыта на 18–85 мг/кг почвы или на 1,9–8,4%.

Изучение соотношения между формами калия в почве (таблица 19) показало, что доля легкодоступного калия в обменном была невелика и перед посевом сахарной свеклы изменялась от 0,5% при совместном последствии навоза и дефеката до 1,8% на варианте с двойной дозой удобрений, внесенной на фоне последствия навоза. Доля этой формы в общем содержании изучаемых форм элемента была еще меньше и варьировала от 0,2 до 0,7%. К концу вегетации происходило ее уменьшение до 0,4–1,0 и 0,1–0,4%, соответственно.

Таблица 19. Соотношение между различными формами калия, среднее за 2012–2014 гг., слой почвы 0–40 см

Вариант опыта	Доля легкодоступного калия в обменном, %		Доля легкодоступного калия от общего содержания изучаемых форм элемента, %		K ₂ Oнеобм./K ₂ Oобм.		K ₂ Oобщий/K ₂ Oобм.		K ₂ Oобщий/K ₂ Oнеобм.	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2
1. Контроль	0,7	0,5	2,4	2,4	2,4	2,5	3,4	3,5	1,4	1,4
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0,8	0,5	2,3	2,3	2,3	2,3	3,3	3,3	1,4	1,4
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	1,0	0,9	2,1	2,1	2,1	2,0	3,1	3,0	1,5	1,5
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	1,8	1,0	1,5	1,5	1,5	1,8	2,5	2,8	1,7	1,6
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефека (последствие)	0,9	0,6	2,2	2,2	2,2	2,2	3,2	3,2	1,5	1,5
13. Фон + дефека (последствие)	0,5	0,4	2,5	2,5	2,5	2,7	3,5	3,7	1,4	1,4
15. Дефека (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,8	0,5	2,2	2,2	2,2	2,4	3,2	3,4	1,4	1,4

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

Анализируя соотношение между различными формами калия можно увидеть, что содержание необменного калия было значительно выше, чем

обменного. Так, перед посевом сахарной свеклы в среднем за три года в слое почвы 0–40 см содержание необменного калия преобладало над обменным в 1,5–2,5 раза. Причем меньшая величина этого показателя наблюдалась при внесении $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последействия навоза.

К концу развития сахарной свеклы преобладание необменного калия перед обменным сохранялось, увеличиваясь практически по всем вариантам. Исключение составлял вариант с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза. Здесь соотношение необменный : обменный калий снижалось на 0,1 единицу.

В общем содержании всех форм калия преобладала необменная форма. Соотношение K_2O общий : K_2O необменный изменялось в пределах 1,4–1,7 перед посевом культуры и 1,4–1,6 перед ее уборкой. Содержание обменного калия было ниже, чем общее содержание всех изучаемых форм в 2,5–3,5 раза перед посевом культуры и в 2,8–3,7 раз перед уборкой.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. В среднем за 2012–2014 гг. в слое почвы 0–40 см общее содержание изучаемых форм калия повышалось с увеличением дозы минеральных удобрений. Как перед посевом культуры, так и перед ее уборкой максимальное содержание калия обеспечивало внесение $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последействия навоза – 1014 мг/кг почвы и 929 мг/кг почвы, соответственно. Применение $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза обеспечивало меньшее накопление изучаемых форм калия. Указанные закономерности наблюдались нами и в 2011 году [160].

2. Известкование почвы совместно с внесением минеральных и органических удобрений приводило к некоторому снижению общего содержания изучаемых форм калия относительно не известкованных вариантов на 9–36 мг/кг почвы. Минимальное содержание калия обнаруживалось при совместном последействии навоза и дефеката без внесения минеральных удобрений.

3. 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. Доля легкодоступной формы калия в обменной варьировала от 0,5 до 1,8% в первый срок отбора почвенных образцов и от 0,4 до 1,0% во второй. Данный факт позволяет сказать, что, хотя калий и усваивается растениями непосредственной из легкодоступной формы, но она не является основным и единственным его источником для питания сахарной свеклы.

4. Содержание необменной формы калия в почве было выше, чем обменной. Наименьшее преобладание необменного 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.

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.

Таким образом, можно сказать, что внесение минеральных удобрений на фоне последействия 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 производственной почве увеличивало обменную фиксацию этого элемента.

5.5 Влияние удобрений и мелиоранта на калийный потенциал чернозема выщелоченного

Характеристика калийного режима почвы должна предусматривать не только количественные определения содержания подвижных форм калия в

почве (экстенсивные показатели), но и отражать степень его подвижности, а, следовательно, и степень доступности растениям (интенсивные показатели) [283].

По мнению В.П. Серединой калийное состояние почв не может быть достаточно полно охарактеризовано по набору экстенсивных показателей. Почвы могут содержать равные количества тех или иных соединений калия, но при этом значительно различаться по способности десорбировать калий в почвенный раствор или поглощать его из раствора [227].

Разработаны методы, позволяющие дать такую оценку, которая базируется на физико-химической взаимосвязи между ионами калия, кальция и магния в системе почва ↔ почвенный раствор и выражается через термодинамический потенциал калия, или так называемый калийный потенциал, который рассматривается как «фактор интенсивности» почвенного калия. Принимая во внимание, что катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} почвенного поглощающего комплекса обладают сходными обменными свойствами, рассматривают сумму активностей ионов кальция и магния как активность ионов одного вида [149].

Под калийным потенциалом понимают изменение свободной энергии в реакциях обмена между катионами калия, с одной стороны, кальция и магния – с другой в системе твердая фаза – почвенный раствор при постоянных значениях температуры и давления. Численно он соответствует энергии, которую необходимо затратить для замены 1 моль обменного калия половиной моля кальция в почвенном поглощающем комплексе [198].

Калийный потенциал почвы указывает на возможность перехода поглощенного ею калия в раствор с учетом конкуренции сопровождающих его двухвалентных катионов. Чем выше числовое значение калийного потенциала, тем ниже способность калия к переходу в раствор, а, следовательно, и его доступность растениям. Поскольку получаемая величина является отрицательным логарифмом, калийный потенциал служит

универсальным и сравнительно постоянным показателем для каждого типа почвы.

Согласно принятой градации величина калийного потенциала 2,5–2,9 свидетельствует о недостатке калия для нормального развития растений, 1,8–2,2 – соответствует оптимальным условиям, менее 1,5 – указывает на относительный избыток этого элемента [12].

Нами было изучено изменение калийного потенциала чернозема выщелоченного под влиянием удобрений и мелиоранта. Результаты исследований представлены в таблице 20 и в приложении М.

Таблица 20. 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 – 40 т/га навоза (последствие)	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 (последствие)	4,30	4,42	2,66	2,73	1,33	1,37	2,97	3,05
13. Фон + дефекат (последствие)	4,42	4,51	2,57	2,67	1,29	1,34	3,13	3,17
15. Дефекат (последствие) + 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

Полученные данные показали, что калийный потенциал почвы в среднем за 2012–2014 гг. в слое 0–40 см изменялся в пределах 1,65–3,13 ед. При этом оптимальным условиям питания сельскохозяйственных культур калием он соответствовал только на вариантах с внесением минеральных удобрений в дозах N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ и N₂₄₀P₂₄₀K₂₄₀ на фоне последствия навоза.

На контрольном и фоновом вариантах величина калийного потенциала – 2,35 и 2,28 ед., соответственно – говорила о недостатке калия для нормального развития растений.

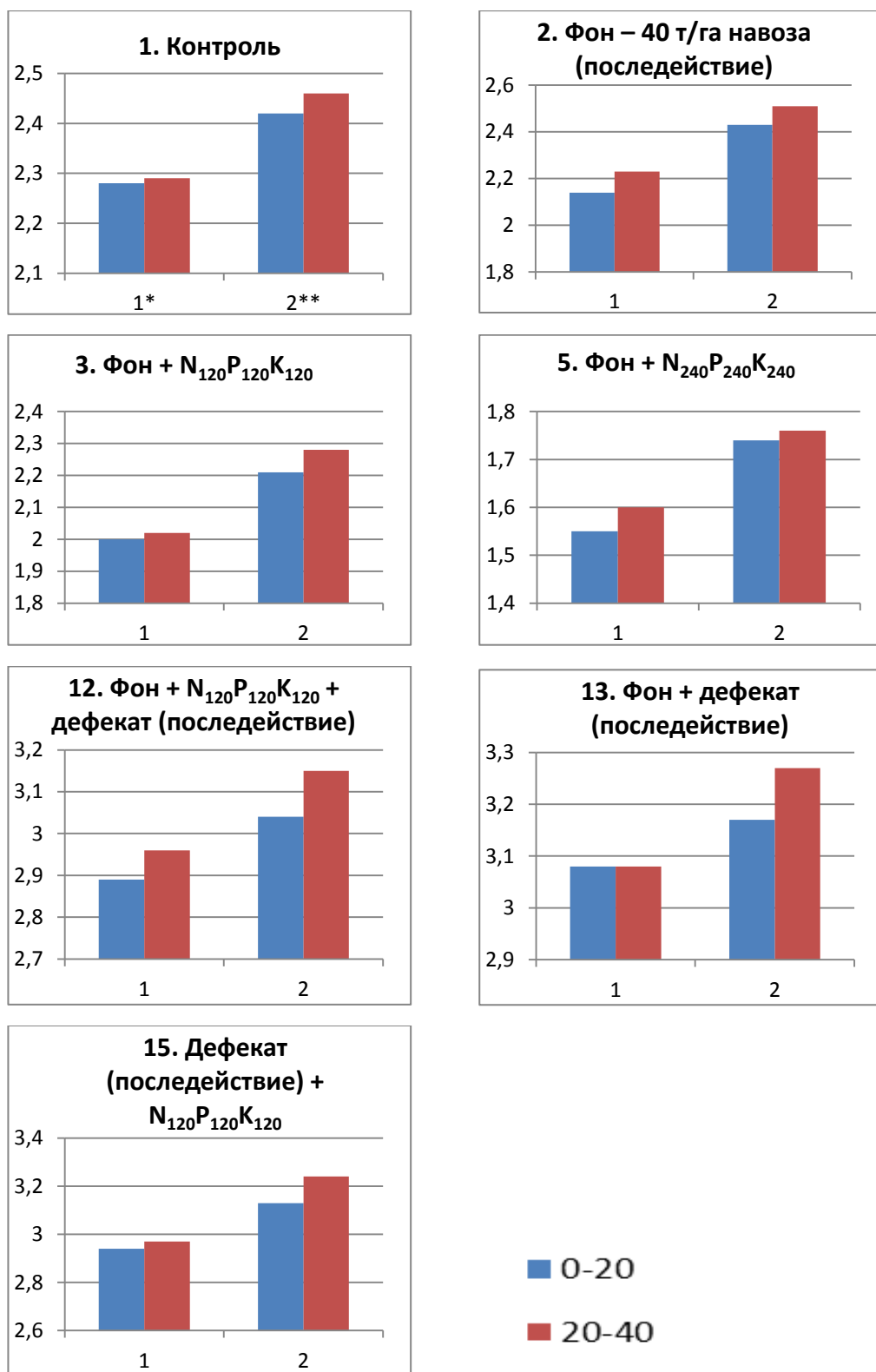
Известкование почвы способствовало увеличению величины калийного потенциала чернозема выщелоченного относительно контроля и удобренных вариантов опыта. В наибольшей степени это наблюдалось при совместном последствии навоза и дефеката (вариант 13), Здесь он возрастал на 0,75 ед. по сравнению с контролем и на 0,85 ед. по сравнению с фоном (вариант 2).

При внесении минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последствия навоза и дефеката и одного дефеката калийный потенциал имел практически одинаковую величину – 2,97 и 3,04 ед., соответственно.

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.

Таким образом, внесение минеральных удобрений на фоне последствия органических способствовало созданию оптимальных условий калийного питания для сахарной свеклы. На известкованных вариантах опыта культура испытывала сильный недостаток калия. При этом стоит отметить, что содержание обменного калия на вариантах с внесением оптимальной дозы минеральных удобрений на различных фонах различалось слабо и варьировало в пределах одного класса обеспеченности почвы. То есть по этой величине можно было сказать, что сахарная свекла достаточно хорошо обеспечена калием. Определение калийного потенциала показало, что даже при практически одинаковом содержании обменного калия в почве доступность его растениям различается.

Анализ изменения калийного потенциала в среднем за три года по слоям почвы (рисунок 9) показал, что перед посевом сахарной свеклы меньшую величину он имел в слое 0–20 см.



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

Рисунок 9. Влияние удобрений и мелиоранта на калийный потенциал чернозема выщелоченного, среднее за 2012–2014 гг.

К концу вегетации величина калийного потенциала по изучаемым слоям почвы, как и в среднем в слое 0–40 см, имела тенденцию к увеличению: в слое почвы 0–20 см – на 0,01–0,11 ед., в слое 20–40 см – на 0,03–0,11 ед.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. 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. Так, внесение $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия только навоза обеспечивало оптимальные условия питания культуры калием, а использование этой же дозы минеральных удобрений на фоне совместного последействия навоза и дефеката и одного дефеката приводило к его снижению до уровня, когда растения испытывали недостаток данного элемента, несмотря на достаточно большое количество калия в почве.

Именно поэтому важно определение содержания обменной формы калия дополнять определением калийного потенциала почвы.

2. Способность калия к переходу из обменного состояния в почвенный раствор более высокой была в слое почвы 0–20 см. К концу вегетации культуры во всех изучаемых слоях почвы наблюдалось снижение активности ионов калия, но в слое 0–20 см она по-прежнему имела большую величину, чем в нижележащем слое.

6 ВЗАИМОВЛИЯНИЕ КАЛИЙНОГО И КАЛЬЦИЕВОГО РЕЖИМОВ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

Установленные нами закономерности изменения содержания различных форм калия и обменного кальция показали, что при известковании чернозема выщелоченного наблюдается тенденция к ухудшению калийного режима. Поэтому интересным представляется рассмотреть взаимовлияние калия и кальция в почве.

На рисунке 10 представлена динамика содержания обменного калия и обменного кальция в период вегетации сахарной свеклы. Для сравнения взята обменная форма калия, определяемая по методу Масловой, как более точный показатель, чем обменная форма элемента, определяемая по методу Чирикова. Для большей наглядности при построении графика содержание обменного калия было выражено в мг/100 г почвы. Содержание обменного кальция не переводилось в мг, т.к. в этом случае оно будет иметь большую величину и не позволит наглядно проследить зависимости между ним и обменным калием (например, содержание обменного кальция 22,7 мг-экв./100 г почвы соответствует 4540 мг/кг почвы или 454 мг/100 г почвы, а калия в этом случае будет всего лишь 254 и 25,4, соответственно).

Из представленных данных видно, что содержание обменного калия на не известкованных вариантах опыта увеличивалось от первого к пятому варианту с одновременным снижением содержания обменного кальция в почве во все сроки отбора почвенных образцов. На известкованных вариантах наблюдалась тенденция к снижению содержания обменного калия и к повышению содержания обменного кальция. При этом расчет коэффициента корреляции (таблица 21) показал, что связь между данными показателями оценивалась как средняя отрицательная.

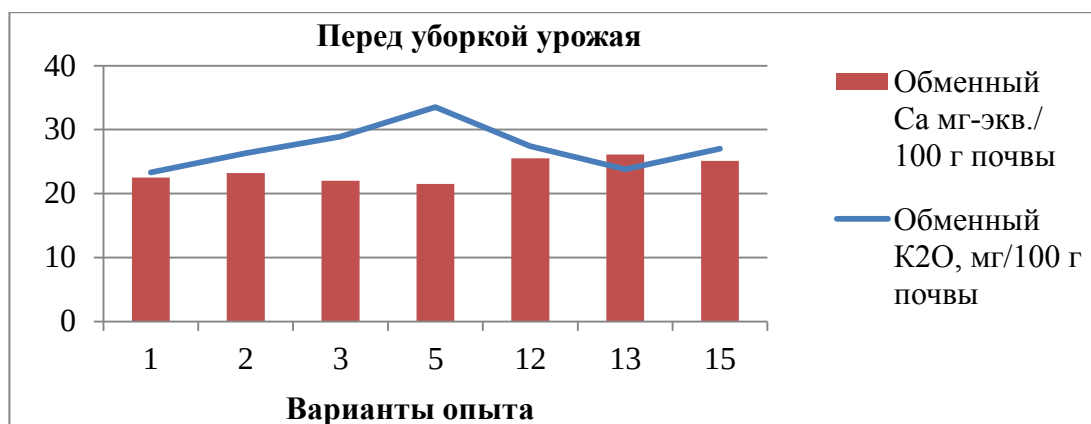
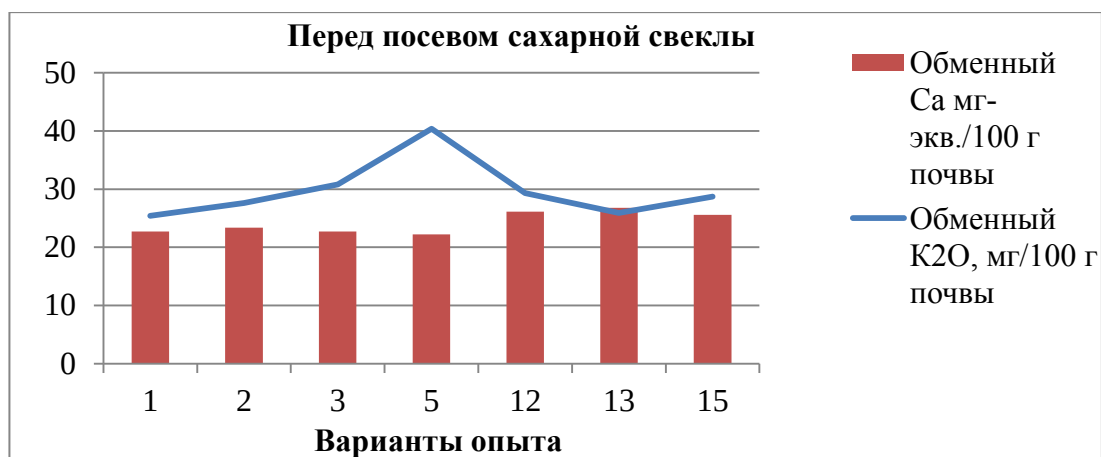


Рисунок 10. Влияние удобрений и мелиоранта на динамику содержания обменных форм калия и кальция в период вегетации сахарной свеклы, среднее за 2012–2014 гг., слой почвы 0–40 см

Таблица 21. Корреляционный анализ данных (слой почвы 0–40 см, среднее за 2012–2014 гг.)

Вид связи	1 группа*		2 группа**	
	1***	2****	1	2
Парный коэффициент корреляции				
K ₂ O _{обм.} – Са _{обм.}	–0,597	–0,670	–0,574	–0,566
K ₂ O _{необм.} – Са _{обм.}	0,255	0,660	0,733	0,079
pK – pCa	–0,675	–0,684	–0,814	–0,500
КП – Кизв.	0,960	0,970	0,966	0,636

*1 группа: 1. Контроль, 2. Фон – 40 т/га навоза (последствие), 3. Фон + N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀, 5. Фон + N₂₄₀P₂₄₀K₂₄₀; ** 2 группа: 12. Фон + N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ + дефекат (последствие), 13. Фон + дефекат (последствие), 15. Дефекат (последствие) + N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀; ***1 – перед посевом сахарной свеклы; ****2 – перед уборкой урожая

Таким образом, увеличение содержания в почве обменной формы кальция приводило к снижению содержания обменной формы калия и, наоборот. Вероятно причиной этого служило то, что кальций, обладая большей способностью к обменному поглощению, чем калий, сильнее притягивался поверхностью почвенных коллоидов. В то же время он способен легко вытеснять калий из обменно-поглощенного состояния.

Стоит отметить, что на контрольном и фоновом вариантах, при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последействия навоза содержание обменного кальция над обменным калием преобладало в 17,9–19,3; 17,0–17,6; 14,8–15,2 и 11,0–12,8 раз, соответственно. А при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последействия навоза и дефеката, одного дефеката и при совместном последействии навоза и дефеката без внесения минеральных удобрений: в 17,8–18,6; 17,8–18,7 и 20,7–21,9 раз, соответственно. То есть известкование почвы даже совместно с внесением минеральных и органических удобрений усиливало преобладание кальция над калием в почвенном поглощающем комплексе. Увеличение соотношения $CaO : K_2O$ на контрольном и фоновом вариантах было связано с низким содержанием обменного калия в почве из-за отсутствия минеральных удобрений.

При анализе содержания в почве необменной формы калия и обменного кальция (рисунок 11), 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, это связано с тем, что здесь в наибольшей степени проявлялось влияние высокой дозы минеральных удобрений, внесение которой способствовало накоплению калия преимущественно в обменной форме.

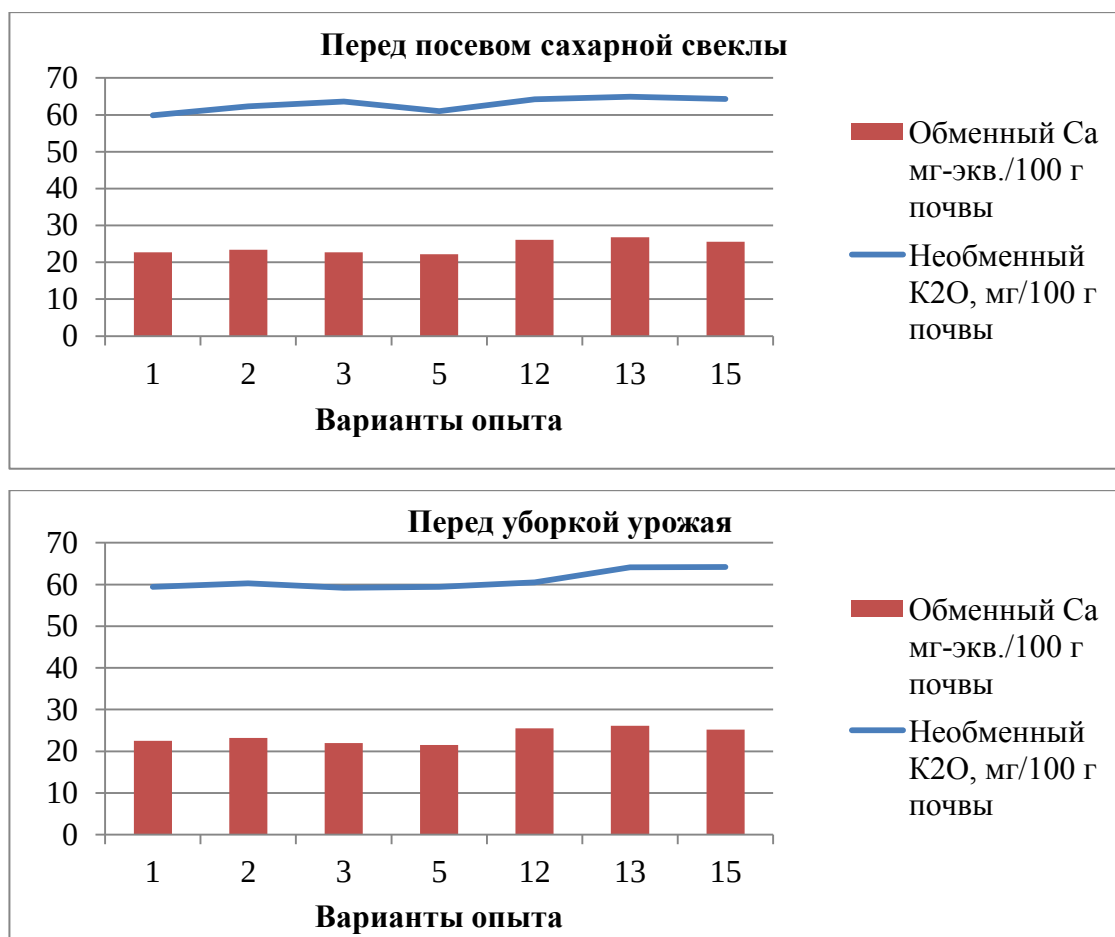


Рисунок 11. Влияние удобрений и мелиоранта на динамику содержания необменной формы калия и обменной кальция в период вегетации сахарной свеклы, среднее за 2012–2014 гг., слой почвы 0–40 см

На вариантах опыта без внесения мелиоранта связь между содержанием необменного калия и обменного кальция характеризовалась как – слабая положительная перед посевом культуры и средняя положительная перед уборкой урожая. А на мелиорируемых вариантах опыта в первый срок отбора образцов она была высокой положительной, а во второй – практически отсутствовала.

Рассматривая взаимовлияние показателей активности ионов калия и кальция в почве (рисунки 12 и 13) видно, что увеличение активности ионов калия сопровождалось снижением активности ионов кальция.

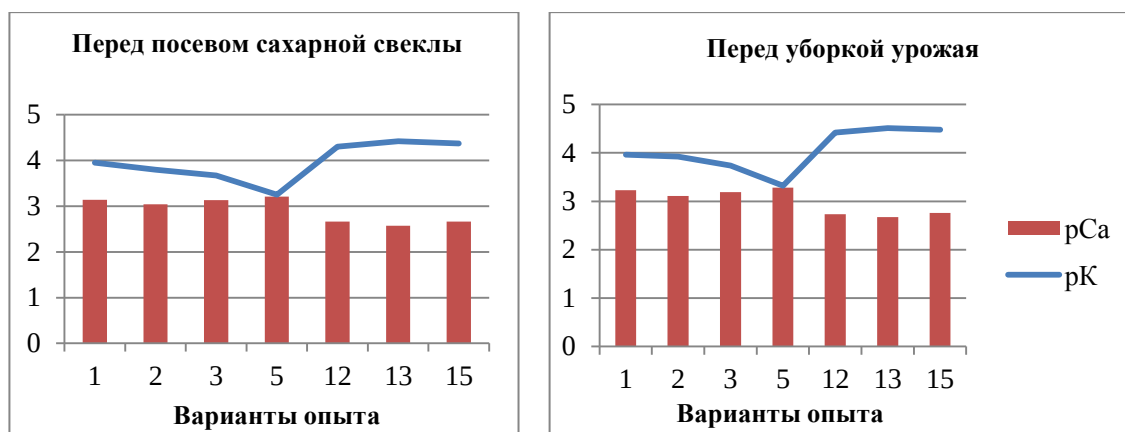


Рисунок 12. Влияние удобрений и мелиоранта на динамику величин pCa и pK в черноземе выщелоченном под сахарной свеклой, среднее за 2012–2014 гг., слой почвы 0–40 см

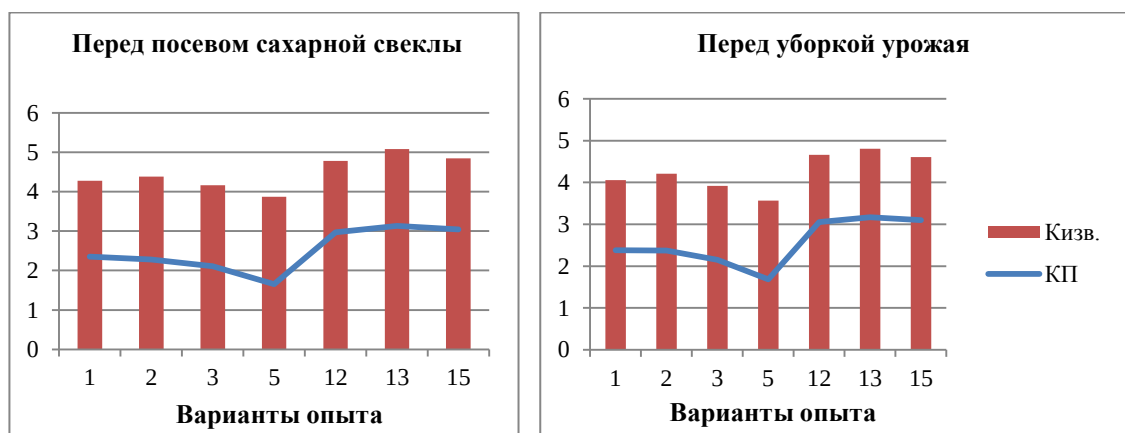


Рисунок 13. Влияние удобрений и мелиоранта на изменение калийного и кальциевого потенциалов чернозема выщелоченного в период вегетации сахарной свеклы, среднее за 2012–2014 гг., слой почвы 0–40 см

Взаимосвязь между величиной pK и pCa на не производственных вариантах опыта характеризовалась как средняя отрицательная. Теснота связи между изучаемыми показателями на мелиорируемых вариантах опыта оценивалась как высокая отрицательная перед посевом культуры и средняя отрицательная перед уборкой урожая.

Таким образом, можно сказать, что чем выше активность ионов калия в почве, тем ниже активность ионов кальция и, наоборот. Взаимовлияние

данных показателей усиливалось при внесении в почву кальцийсодержащих мелиорантов.

Говоря о взаимовлиянии калийного и известкового потенциалов почвы, следует отметить, что снижение калийного потенциала приводило и к снижению известкового. Так, на вариантах опыта, где не проводили химическую мелиорацию (варианты 2–5), калийный потенциал снижался на 0,24–0,70 ед. перед посевом культуры и на 0,23–0,70 ед. перед ее уборкой по отношению к контролю. Одновременно снижался и известковый потенциал почвы – на 0,12–0,41 ед. в первом случае и на 0,14–0,49 ед. во втором.

При этом между данными показателями наблюдалась очень сильная положительная связь ($r = 0,960–0,970$).

На мелиорируемых вариантах опыта по отношению к вариантам без известкования калийный потенциал почвы снижался в среднем на 0,88 ед., а известковый – на 0,68 ед. Теснота связи между ними была очень сильной положительной перед посевом культуры, а к уборке урожая снижалась до средней положительной.

Таким образом, можно сказать, что уменьшение калийного потенциала почвы способствовало уменьшению ее кальциевого потенциала, усиливая тем самым потребность почвы в кальции. В свою очередь, стабилизация кальциевого потенциала вызывала повышение величины калийного потенциала, что свидетельствовало о недостатке калия для питания растений.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. При увеличении содержания в почве обменного кальция наблюдалась тенденция к снижению содержания обменной формы калия и повышению содержания необменной. Однако корреляционная связь между данными показателями не всегда была однозначной. Так, ее теснота между содержанием обменных форм элементов оценивалась как средняя отрицательная. В то же время теснота связи между содержанием необменного калия и обменного кальция перед посевом сахарной свеклы на

не известкованных вариантах характеризовалась как слабая, а на вариантах с последствием известкования – высокая. К концу вегетации в первом случае она увеличивалась до средней, а во втором практически отсутствовала.

2. 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

Нами уже отмечалось выше, что многочисленные исследования по изучению влияния удобрений и мелиорантов на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы доказали, что их внесение увеличивает урожай культуры, и его качество. Это подтверждается и нашими исследованиями (таблица 22, приложения О 1–3).

Таблица 22. Влияние удобрений и дефеката на урожайность
корнеплодов сахарной свеклы

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

Как видно из представленных данных, в среднем за 2012–2014 гг. была получена достаточно высокая урожайность корнеплодов. 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 $N_{120}P_{120}K_{120}$ 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 преимущества перед вариантами с оптимальной дозой удобрений отмечено не было.

Прибавка урожайности при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последействия органических составляла 16,0 и 17,5 т/га, соответственно. Примерно такой же – 16,7 т/га – она была и на варианте с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия дефеката.

Наибольшую величину прибавки урожайности в опыте обеспечивало внесение $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза и дефеката – 18,2 т/га. На вариантах без использования минеральных удобрений (варианты 2 и 13) она была значительно ниже – 10,3–13,7 т/га.

Говоря об изменении урожайности корнеплодов по годам проведения исследований, необходимо отметить, что наибольшая ее величина получена в 2013 году – 51,3–74,5 т/га. При этом прибавки урожайности изменялись от 21,9 до 23,2 т/га. Однако различия между ними математически доказуемы не были. Вероятно, здесь повлияли условия увлажнения периода вегетации культуры. Как известно, современные гибриды сахарной свеклы при благоприятных условиях произрастания могут давать достаточно высокой урожай. Поэтому, так как растения не испытывали недостатка влаги в почве, и условия минерального питания были благоприятными, действие минеральных удобрений на урожайность корнеплодов было сглажено.

В 2014 году получена меньшая урожайность корнеплодов сахарной свеклы. Она изменялась от 49,4 до 68,8 т/га. В условиях этого года прибавки урожайности были достоверны как по отношению к контрольному варианту опыта, так и между удобренными вариантами опыта. При этом наибольшей

эффективностью отличался вариант с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последствия навоза и дефеката.

Значительно меньшей, чем в 2013 и 2014 гг., урожайность сахарной свеклы была в 2012 году и варьировала в пределах 25,9 – 42,1 т/га. В этом случае недостаточное увлажнение в первый период развития культуры негативным образом сказалось на ее урожайности. Не смотря на это, прибавки урожая были математически достоверны к контролю, но между собой варианты, как и в 2013 году, практически не отличались.

То есть неблагоприятные условия увлажнения, как лимитирующий фактор, ограничивали величину урожайности корнеплодов. В то же время при внесении удобрений недостаток влаги в почве несколько сглаживался, так как оптимальные условия питания растений уменьшали потребность растений в воде [283].

Интересно отметить, что в исследованиях, проведенных нами ранее (2007–2010 гг.) урожайность сахарной свеклы была значительно ниже, чем в период выполнения данной работы. Это было связано, главным образом, с неблагоприятными условиями увлажнения и высокой засоренностью посевов [163].

Определение содержания сахара в корнеплодах (таблица 23) показало, что в среднем за 2012–2014 гг. на контрольном и фоновом вариантах оно составляло 18,3–18,4%. Внесение минеральных удобрений на фоне последствия 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 последствия навоза и дефеката и $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия только дефеката создавало условия для практически одинакового накопления сахара в корнеплодах – 18,4–18,5%. А при совместном последствии навоза и дефеката без внесения минеральных удобрений сахаристость корнеплодов была на уровне третьего варианта – 18,0%.

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 последствий навоза и дефеката. При использовании оптимальной дозы минеральных удобрений на других фонах сбор сахара имел несколько меньшие значения – 10,5–10,9 т/га, а при внесении двойной дозы снижался до 9,9 т/га.

Таблица 23. Влияние удобрений и дефеката на содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы

Варианты опыта	Содержание сахара, %				Сбор сахара, т/га (в среднем за 2012–2014 гг.)	Прибавка к контролю	
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	Среднее за 2012–2014 гг.		т/га	%
1. Контроль – без удобрений	16,4	18,9	19,5	18,3	7,7	–	–
2. 40 т/га навоза (последствие) – фон	16,4	19,7	19,0	18,4	9,6	1,9	25,1
3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$	17,2	18,2	18,7	18,0	10,5	2,8	36,2
5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$	15,8	16,8	17,2	16,6	9,9	2,2	28,6
12. Фон + дефекат (последствие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$	17,5	18,8	19,0	18,4	11,1	3,4	44,5
13. Фон + дефекат (последствие)	16,6	17,7	19,6	18,0	10,0	2,3	30,5
15. Дефекат (последствие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$	16,8	19,1	19,5	18,5	10,9	3,2	41,3

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. 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 неудобренным вариантом опыта. Наибольшую эффективность среди изучаемых вариантов опыта показывал

вариант с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствий навоза и дефеката (вариант 12).

При этом стоит отметить, что на данном варианте опыта наблюдалось некоторое ухудшение калийного режима и, в то же время, благоприятные показатели почвенной кислотности. Вероятно, последний факт оказывал решающее влияние на величину урожайности корнеплодов.

2. Влияние минеральных удобрений на урожайность корнеплодов зависело от условий увлажнения. Так, в условиях хорошего (2013 г.) и недостаточного (2012 г.) увлажнения их действие было более «сглаженным», т.е. математически достоверные прибавки урожайности между удобренными вариантами опыта получены не были. Оптимальное увлажнение в период вегетации культуры (2014 г.) способствовало более яркому проявлению влияния минеральных удобрений на урожайность корнеплодов.

3. Внесение минеральных удобрений на фоне последствий только навоза приводило к снижению сахаристости корнеплодов по сравнению с неудобренным вариантом опыта. Причем чем выше была доза, тем сильнее снижалось содержание сахара. Данный факт можно связать с двумя причинами. Во-первых, использование минеральных удобрений создает условия для проявления так называемого «эффекта разбавления», когда содержание сахара снижается за счет увеличения массы урожая. Во-вторых, с высокой дозой азотных удобрений, которые, как известно, снижают сахаристость корнеплодов.

Использование оптимальной дозы минеральных удобрений совместно с внесением органических удобрений и известкованием почвы обеспечивало сахаристость корнеплодов на уровне контроля или даже, в некоторой степени, выше его. Вероятно, это связано с увеличением содержания кальция в почве при ее известковании, который, также как и калий, способствует увеличению синтеза углеводов и, как следствие, повышению сахаристости корнеплодов.

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

Сахарная свекла культура достаточно высокого выноса. Для формирования урожайности корнеплодов 40 т/га и соответствующего количества побочной продукции она выносит около 163 кг/га азота, 69 кг/га фосфора, 276 кг/га калия и 60 кг/га кальция [279]. Величина выноса элементов питания зависит от их содержания в основной и побочной продукции и урожайности культуры. Она заметно изменяется в зависимости от почвенно-климатических условий.

Проведенные нами исследования (таблица 24, приложения Н 1-3) показали, что содержание азота в сухой массе корнеплодов на контрольном варианте составляло 0,41%. На вариантах с последствием только навоза и совместным последствием навоза и донного осадка оно было одинаковым – 0,48%. Внесение минеральных удобрений увеличивало содержание азота в корнеплодах на 0,12–0,22%. При этом использование минеральных удобрений в оптимальной дозе на различных фонах (варианты 3, 12 и 15) обеспечивало примерно одинаковое содержание 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 в зависимости от варианта в пределах 0,59–0,67%.

Таблица 24. Содержание элементов питания в основной и побочной продукции сахарной свеклы, % на абсолютно сухое вещество, среднее за 2012–2014 гг.

Вариант	Корнеплоды				Листья			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1. Контроль – без удобрений	0,41	0,14	0,52	0,11	2,13	0,32	2,34	0,40
2. 40т/га навоза (последствие) – фон	0,48	0,17	0,59	0,11	2,26	0,36	2,41	0,42
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,53	0,25	0,67	0,14	2,47	0,43	2,60	0,44
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0,63	0,28	0,74	0,14	2,70	0,61	2,77	0,43
12. Фон + дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,52	0,25	0,62	0,19	2,50	0,40	2,53	0,49
13. Фон + дефекат (последствие)	0,48	0,18	0,52	0,18	2,26	0,34	2,41	0,52
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,53	0,24	0,59	0,20	2,49	0,40	2,50	0,50

Однако на вариантах с последствием известкования наблюдалось некоторое снижение содержания калия в корнеплодах по сравнению с не известкованными вариантами опыта. Так, если при последствии только 40 т/га навоза оно составляло – 0,59%, то при совместном последствии навоза и дефеката – 0,52%. Использование N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ на фоне последствия органических удобрений обеспечивало содержание калия в корнеплодах на уровне 0,67%, внесение этой же дозы минеральных удобрений на фоне совместного последствия навоза и дефеката и одного дефеката – 0,62 и 0,59%, соответственно.

Такие же тенденции распределения содержания калия наблюдались и в листьях – при известковании почвы оно было на 0,07–0,10 % 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 0,07–0,10% в листьях.

Обнаруженные закономерности, вероятно, были связаны с явлением антагонизма калия и кальция в питании сахарной свеклы. Мы уже отмечали выше, что при последствии дефекаата содержание обменного калия в почве и его потенциал были несколько ниже, чем на вариантах без мелиоранта. А в отношении кальция, наоборот, и его содержание и степень активности в случае известкования увеличивались. Это создавало условия для преимущественного поглощения кальция растениями сахарной свеклы, из-за чего содержание калия в них уменьшалось.

Вынос элементов питания с урожаем сахарной свеклы (таблица 25, приложения II 1-3) 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.

При этом стоит отметить, что вынос азота и фосфора, как и их содержание, увеличивался с повышением дозы внесенных элементов питания. От известкования почвы он зависел только косвенным образом. Во-первых, этот прием повышал содержание доступных форм азота и фосфора в почве и, следовательно, их потребление культурой. А во-вторых, из-за снижения почвенной кислотности улучшались условия роста и развития культуры, что способствовало созданию большей массы урожая и опять-таки увеличивало потребление элементов питания, увеличивая тем самым и их вынос.

В отношении калия и кальция наблюдались иные закономерности. Так, на не произвесткованных вариантах опыта вынос калия увеличивался с увеличением дозы удобрений.

Таблица 25. Вынос элементов питания с урожаем сахарной свеклы, среднее за 2012–2014 гг.

Вариант	Корнеплоды, кг/га				Листья, кг/га				Общий вынос, кг/га				На 1 т основной продукции			
	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	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1. Контроль – без удобрений	44,7	15,8	57,6	12,1	123,7	18,4	135,9	23,4	168,5	34,1	193,5	35,5	3,99	0,81	4,58	0,84
2. 40 т/га навоза (последствие) – фон	65,8	23,3	80,4	15,5	162,7	25,7	173,8	30,0	228,5	49,0	254,1	45,5	4,35	0,93	4,84	0,87
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	79,5	38,3	101,7	21,6	197,9	34,4	208,0	35,2	277,4	72,7	309,7	56,8	4,77	1,25	5,32	0,98
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	98,2	42,9	114,2	21,2	221,1	50,3	227,1	35,0	319,3	93,2	341,3	56,2	5,35	1,56	5,72	0,94
12. Фон + дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	82,2	39,8	97,3	29,8	207,8	33,2	210,0	40,9	289,9	73,0	307,3	70,8	4,80	1,21	5,09	1,17
13. Фон + дефекат (последствие)	70,1	26,6	75,4	26,6	174,0	25,9	185,8	39,8	244,1	52,5	261,2	66,4	4,37	0,94	4,67	1,19
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	81,6	36,7	90,8	30,6	201,4	32,7	202,8	40,8	283,0	69,4	293,6	71,4	4,81	1,18	4,98	1,21
Среднее для ЦЧЗ													4,43	1,29	5,89	1,5

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

На известкованных 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 известкованными 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 ЦЧЗ, а по фосфору и калию ниже. Исключение в отношении фосфора составлял 5 вариант, где вынос элемента 1 т был на 0,27 кг выше, чем среднее значение. Вынос 1 т урожая кальция на всех вариантах опыта был ниже, чем средняя его величина для ЦЧЗ.

Скорее всего, отличие полученного нами выноса элементов питания 1 т основной продукции с учетом соответствующего количества побочной по сравнению со средними показателями для ЦЧЗ связано с конкретными условиями проведения исследований и наименьшей кратностью выборки при расчете этих показателей.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Внесение минеральных удобрений приводило к увеличению содержания всех изучаемых элементов питания как в корнеплодах, так и в листьях. При известковании почвы наблюдалось некоторое снижение содержания калия и увеличение содержания кальция в растениях.

2. 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, а в отношении кальция – при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствий дефеката.

3. При расчете выноса элементов питания 1 т основной продукцией с учетом соответствующего количества побочной получены результаты несколько отличающиеся от средних значений для ЦЧЗ.

8 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД САХАРНУЮ СВЕКЛУ

Прежде чем то или иное мероприятие внедрять в практику сельскохозяйственного производства, вначале необходимо изучить его эффективность путем экономической оценки. Эффективное использование удобрений в настоящее время не возможно без комплексного подхода к этой проблеме. Различные почвенно-климатические условия, появление более требовательных сортов и гибридов культур, внедрение новых энерго- и ресурсосберегающих технологий их возделывания требуют решения организационных, технологических и экономических вопросов применения удобрений на основе выделения наиболее значимых факторов повышения их эффективности.

Использование показателей экономической эффективности позволяет выделить наиболее выгодные варианты систем удобрения, которые могут быть рекомендованы сельскохозяйственному производству [237].

Экономический эффект от внесения удобрений выражается прибавкой урожая, но не свидетельствует о выгодности их использования. Доходность применения удобрений характеризует экономическая эффективность, которая отражает отношение полученного эффекта к затратам на его достижение. Устойчивое производство сахарной свеклы и других сельскохозяйственных культур требует вложения дополнительных ресурсов, что в свою очередь влечет к росту себестоимости продукции, т.е. увеличивает затраты на достижение экономической эффективности производства.

Экономическая эффективность применения удобрений высокая. В частности, минеральные удобрения, внесенные в правильной дозе и надлежащем соотношении под различные культуры, не только окупают все расходы по их применению в первый же год, но и дают прибыль хозяйству.

Экономическую эффективность применения удобрений можно определить при условии правильного учета дополнительного урожая,

полученного в результате их использования. Это достигается путем сравнения урожаев, полученных за счет естественного плодородия почвы и при использовании удобрений. Дополнительные затраты включают в себя затраты на приобретение, доставку, подготовку, внесение удобрений, мелиорантов и уборку дополнительной продукции.

Важным этапом определения основных показателей экономической эффективности является составление обоснованной технологической карты получения продукции. В ней закладывается детальный план мероприятий, отражающий последовательность, сроки, количество и качество всех работ по выращиванию конкретной культуры. А так же в технологической карте определяются материально-денежные затраты, затраты труда на 1 га и на 1 ц продукции, себестоимость.

Расчет экономической эффективности применения удобрений под сахарную свеклу по вариантам опыта представлен в таблице 26.

Все расчеты производственных затрат по возделыванию сахарной свеклы проводились в технологических картах, при этом учитывались затраты на мероприятия по внесению минеральных удобрений, последствие органических (20% от стоимости и затрат на внесение под предшественник) и уборку прибавки урожая.

Для расчета затрат в технологической карте использовались действующие на период исследований нормативы и цены.

Из представленных данных видно, что при внесении минеральных удобрений на фоне последствия навоза и дёfekата, повышалась не только урожайность корнеплодов сахарной свеклы, но 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 дёfekата – 132880 руб.

Таблица 26. Экономическая эффективность применения удобрений и дефеката под сахарную свеклу на черноземе выщелоченном, на 1 га (среднее за 2012–2014 гг.)

Варианты опыта	1. Контроль	2. Фон	3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	13. Фон + дефекат (последствие)	15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀
Урожайность, т	42,2	52,5	58,2	59,7	60,4	55,9	58,9
Прибавка, т	–	10,3	16,0	17,5	18,2	13,7	16,7
Стоимость продукции, руб	92840	115500	128040	131340	132880	122980	129580
Дополнительная стоимость, руб.	–	22660	35200	38500	40040	30140	36740
Материально-денежные затраты, руб.	39827	46773	64699	80676	65612	48183	62378
Дополнительные материально- денежные затраты, руб.	–	6946	24873	40850	25785	8357	22552
Себестоимость 1 т продукции, руб.	943,76	890,91	1111,67	1351,36	1086,29	861,95	1059,06
Условно-чистый доход, руб.	53013	68727	63341	50664	67268	74797	67202
Дополнительный доход, руб.	–	15714	10327	–2350	14255	21783	14188
Уровень рентабельности, %	57,1	59,5	49,5	38,6	50,6	60,8	51,9
Затраты труда, чел.час.	5,98	6,78	8,17	9,16	8,33	7,02	8,22
Затраты труда на 1 т, чел.час.	0,14	0,13	0,14	0,15	0,14	0,13	0,14

Наименьшие материально-денежные затраты были на контрольном варианте. При последствии навоза (вариант 2) и совместном последствии навоза и дефеката (вариант 13) они увеличивались на 6946 и 8356 руб., соответственно. А на вариантах с минеральными удобрениями, в связи с большими затратами на их приобретение и внесение, уборку дополнительной продукции, материально-денежные затраты резко возрастали по отношению к контролю и вариантам 2 и 13. Максимальные затраты в опыте отмечалась при внесении $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последствия навоза (вариант 5).

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. Наибольшей величиной на вариантах с минеральными удобрениями он характеризовался при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последствия навоза и дефеката (67268 руб.). Высокий чистый доход был получен и при совместном последствии навоза и дефеката – 74797 руб., что связано с высокой урожайностью корнеплодов на данном варианте и отсутствием затрат на внесение минеральных удобрений.

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 (варианты 2 и 13). Однако в этом случае неизбежна деградация почвенного плодородия.

Обобщив агрохимические и экономические показатели можно сказать, что внесение высоких доз минеральных удобрений ($N_{240}P_{240}K_{240}$) значительно

снижало уровень рентабельности производства. Внесение $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия дефеката, хотя и обеспечивало самую высокую рентабельность производства из всех вариантов опыта с минеральными удобрениями, но по действию на показатели почвенного плодородия уступало варианту $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне совместного последствия навоза и дефеката.

В связи с этим самыми эффективными в опыте следует считать варианты с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия навоза и дефеката и $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последствия только навоза. Они обеспечивали получение достаточно высокого условно-чистого дохода (67268 и 63341 руб., соответственно) и уровня рентабельности (50,6 и 49,5%, соответственно), одновременно способствуя оптимизации почвенного плодородия.

Для снижения затрат на приобретение и внесение минеральных удобрений, можно рекомендовать замену их простых форм (аммиачная селитра, суперфосфат простой и хлористый калий) на комплексные – нитрофоску, азофоску и т.д.

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 способствовало ее подкислению, переводя из класса слабокислой на контрольном и фоновом вариантах в класс среднекислой. Последствие навоза и дефеката способствовало снижению почвенной кислотности.

2. Максимальные запасы минерального азота в почве 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 приводило к увеличению 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 последействия 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 последействия 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).

Известковый потенциал почвы показал, что на контрольном, фоновом вариантах и при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия навоза потребность в кальции оценивалась как средняя, а на варианте с двойной дозой минеральных удобрений, внесенной на фоне последействия органических была сильной. Слабая потребность почвы в кальции наблюдалась только на варианте с совместным последействием 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 обеспечивало внесение $N_{240}P_{240}K_{240}$ на фоне последействия 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 легкогидролизуемой необменной формы калия в почве было в 1,5–2,5 раза выше, чем обменной.

Содержание легкодоступной формы калия сильно зависело от доз применяемых удобрений ($r = 0,808-0,960$).

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.

Внесение минеральных удобрений в различных дозах и на различных фонах увеличивало содержание обменного калия в почве.

Содержание в почве обменной формы калия сильно зависело от дозы вносимых удобрений ($r = 0,808-0,963$) и от величины почвенной кислотности ($r = (-0,813) - (-0,908)$).

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 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 – $0,636-0,966$.

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 создавало условия для уменьшения содержания калия и увеличения 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 необменного 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 последствий органических. При проведении известкования почвы необходимо увеличить дозу калийных удобрений на 20–30%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абасов М.М. Почвенные запасы калия не безграничны / М.М. Абасов, Ф.К. Мамедгусейнов // Агрохимический вестник. – 2004. – № 4. – С. 11–12.
2. Абашеев В.Д. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы при закладке дренажа и в полевом севообороте при различных дозах удобрений / В.Д. Абашеев, М.И. Пономарева, Н.В. Котельникова // Агрохимия. – 2005. – № 2. – С. 15–19.
3. Агрохимическая характеристика пахотных почв СССР / Л.М. Державин, М.А. Флоренский, А.В. Павлихина // Параметры плодородия основных типов почв. – М.: Агропромиздат, 1988. – С. 16–35.
4. Агрохимия / Б.А. Ягодин [и др.]; под общ. ред. Б.А. Ягодина. – М.: Росагропромиздат, 1993. – 639 с.
5. Адерихин П.Г. Почвы Воронежской области, их генезис, свойства и краткая агропроизводственная характеристика / П.Г. Адерихин. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1963. – 264 с.
6. Азаров В.Б. Влияние удобрений, способов основной обработки почвы и типа севооборота на динамику содержания обменного калия в черноземе типичном / В.Б. Азаров, П.Г. Акулов, В.Д. Соловichenко [и др.] // Агрохимия. – 2003. – № 9. – С. 28–34.
7. Азаров В.Б. Влияние типов севооборотов, способов основной обработки почвы и уровней удобрённости на содержание минерального азота в черноземе типичном / В.Б. Азаров, А.А. Завалин, П.Г. Акулов [и др.] // Агрохимия. – 2003. – № 3. – С. 5–17.
8. Азаров В.Б. Фосфатный режим чернозема типичного в зависимости от интенсивности его использования / В.Б. Азаров, П.Г. Акулов, В.Д. Соловichenко [и др.] // Агрохимия. – 2003. – № 8. – С. 13–25.
9. Аканова Н.И. Значение химической мелиорации в земледелии и потери кальция и магния из почвы / Н.И. Аканова, И.А. Шильников, С.Ю.

Ефремова [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2017. – № 1. – С. 28–35.

10. Аканова Н.И. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистых почв при систематическом применении минеральных удобрений в сочетании с известкованием / Н.И. Аканова // Вопросы известкования почв. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 11–18.

11. Акулов П.Г. Воспроизводство плодородия и продуктивность черноземов / П.Г. Акулов. – М.: Колос, 1992. – 223 с.

12. Алексеева Д.М. Агрохимические методы исследования почв / Д.М. Алексеева. – М.: Наука, 1975. – 420 с.

13. Алексеева Е.Н. Итоги опытов с удобрениями в 1969–1970 гг. / Е.Н. Алексеева, З.Н. Каштанова, В.И. Кураков // Сахарная свекла в РСФСР: материалы Всероссийского научно-методического совещания по сахарной свекле. – Рамонь, 1970–1971 гг., Воронеж, 1973. – С. 79–85.

14. Антонова О.И. Эффективность известкования черноземов выщелоченных средней лесостепи Алтайского края / О.И. Антонова, Л.В. Дымова // Агрохимический вестник. – 2005. – № 1. – С. 5–8.

15. Артемьева З.С. Миграционная доступность калия растениям на легкой дерново-подзолистой почве / З.С. Артемьева, А.С. Фрид, Е.Г. Тюрникова // Агрохимия. – 2003. – № 2. – С. 22–30.

16. Афанасьев Р.А. Содержание подвижного калия в почвах при длительном применении удобрений / Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мёрзлая // Агрохимия. – 2013. – № 6. – С. 5–11.

17. Афанасьева Р.А. Содержание подвижного фосфора в почвах при длительном применении удобрений / Р.А. Афанасьева, Г.Е. Мерзлая // Агрохимия. – 2013. – № 2. – С. 30–36.

18. Бабарина Э.А. Регулирование фосфатного и калийного режимов дерново-подзолистых почв (по результатам длительных опытов с удобрениями) / Э.А. Бабарина, Н.М. Мельникова, Л.В. Никитина [и др.] // Труды ВИУА. – М., 1989. – С. 17–38.

19. Барсова Н.Ю. Калийные удобрения и буферные свойства почвы / Н.Ю. Барсова, В.В. Прокошев, Т.Л. Соколова // Современное развитие научных идей Д.Н. Прянишникова. – М.: Наука, 1991. – С. 230–242.
20. Бердников А.В. Влияние природных бентонитов и минеральных удобрений на накопление сахара в корнеплодах / А.В. Бердников, Ю.С. Колягин // Сахарная свекла. – 2007. – № 5. – С. 27–28.
21. Богомазов Н.П. Эколого-агрохимическая эффективность удобрений на выщелоченных черноземах: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / Н.П. Богомазов. – М., 1995. – 45 с.
22. Брехов П.Т. Формы калия в черноземе типичном при многолетнем внесении удобрений / П.Т. Брехов, Н.Г. Мязин // Агрохимический вестник. – 2012. – № 4. – С. 5–7.
23. Важенин И.Г. Методы определения калия в почве / И.Г. Важенин // Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1965. – С. 128–164.
24. Важенин И.Г. О формах калия в почве и калийном питании растений / И.Г. Важенин, Г.И. Карасева // Почвоведение. – 1959. – № 3. – С. 11–21.
25. Вислобокова Л.Н. Урожайность сортов и гибридов отечественной и иностранной селекции на различных фонах удобренности в условиях ЦЧР / Л.Н. Вислобокова, О.М. Иванова // Сахарная свекла. – 2015. – № 1. – С. 40–41.
26. Вислобокова Л.Н. Эффективность различных известковых материалов в сочетании с удобрениями на черноземах Тамбовской области / Л.Н. Вислобокова // Вопросы известкования почв. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 46–51.
27. Возбущая А.Е. Химия почвы / А.Е. Возбущая. – М.: Высшая школа, 1968. – 427 с.
28. Войтенко А.А. Фосфорно-калийный режим почвы и продуктивность сахарной свеклы при многолетнем применении удобрений и

дефеката / А.А. Войтенко, Ю.И. Столповский // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 68-й научной студенческой конференции. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2017. – С. 75–85.

29. Воронин А.Н. Влияние агрогенных ресурсов на почвенный поглощающий комплекс чернозема типичного / А.Н. Воронин, В.В. Никитин, А.П. Карабутов // Сахарная свекла. – 2016. – № 10. – С. 24–27.

30. Воронин В.М. Азотные удобрения и продуктивность культур / В.М. Воронин // Сахарная свекла. – 2000. – № 1. – С. 10–13.

31. Воронин В.М. Влияние азотных удобрений на плодородие выщелоченных черноземов и величину урожая корнеплодов сахарной свёклы / В.М. Воронин // Итоги научно-исследовательских работ агрономического факультета. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2004. – С. 106–110.

32. Воронкова Н.А. Влияние длительного применения удобрений в севообороте на фосфатный режим черноземов выщелоченных Западной Сибири / Н.А. Воронкова // Агрохимия. – 2010. – № 12. – С. 10–17.

33. Галеева Л.П. Изменение свойств чернозема выщелоченного лесостепи Приобья при различном сельскохозяйственном использовании / Л.П. Галеева // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 236–249.

34. Галеева Л.П. Физико-химические свойства и фосфатный режим черноземов выщелоченных Приобья при внесении сидератов / Л.П. Галеева // Агрохимия. – 2009. – № 5. – С. 22–28.

35. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г.П. Гамзиков. – М.: Наука, 1981. – 267 с.

36. Гасанова Е.С. Влияние удобрений и мелиоранта на качество органического вещества чернозема выщелоченного: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Е.С. Гасанова. – Воронеж, 2006. – 24 с.

37. Гасанова Е.С. Изменение агрохимических свойств чернозема выщелоченного в опыте с удобрениями и мелиорантом при выращивании топинамбура / Е.С. Гасанова, К.Е. Стекольников, Н.Г. Мязин [и др.] // Плодородие. – 2014. – № 5 (80). – С. 29–31.

38. Гасанова Е.С. Трансформация состава гумуса чернозема выщелоченного под воздействием удобрений и мелиоранта / Е.С. Гасанова, К.Е. Стекольников, Н.Д. Верзилина // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.В. Докучаева. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2016. – С. 192–198.

39. Гедройц К.К. Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрений / К.К. Гедройц. – М.: Сельхозиздат, 1935. – 243 с.

40. Глазунов Г.П. Влияние борсодержащих удобрений на урожайность сахарной свеклы и повреждаемость корнеплодов гнилью сердечка и дуплистостью / Г.П. Глазунов, А.И. Богачев, О.А. Митрохина [и др.] // Сахарная свекла. – 2016. – № 5. – С. 12–14.

41. Гречишкина Ю.И. Изменение агрохимических показателей чернозема выщелоченного под влиянием оптимизации систем удобрения в севообороте / Ю.И. Гречишкина, А.Н. Есаулко, О.А. Подколзин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 1. – С. 3–7.

42. Гречишкина Ю.И. Изменение реакции среды почвенного раствора чернозема выщелоченного в связи с длительным применением систем удобрений / Ю.И. Гречишкина, А.Н. Есаулко, М.С. Сигида [и др.] // Агрохимический вестник. – 2016. – № 3. – С. 7–10.

43. Гришин Г.Е. Влияние известкования и систем удобрения на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность звена севооборота / Г.Е. Гришин // Вопросы известкования почв. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 64–74.

44. Громовик А.И. Изменение содержания и состава гумуса черноземов лесостепи ЦЧР при распашке / А.И. Громовик. – Сахарная свекла. – 2016. – № 6. – С. 24–26.

45. Гуревич С.М. Влияние длительного применения минеральных удобрений на агрохимические свойства и плодородие мощного чернозема. Сообщение I / С.М. Гуревич, В.И. Скороход // Агрохимия. – 1975. – № 9. – С.

77–82.

46. Гуреев И.И. Эффективность комплексных удобрений при выращивании сахарной свеклы / И.И. Гуреев, А.В. Агибалов, С.П. Колтунов // Сахарная свекла. – 2005. – № 3. – С. 24–26.

47. Датта С. Расчет баланса калия по штатам Индии с представлением данных в картографической форме / С. Датта, К. Маджумдар, Г. Сулевски [и др.] // Вестник международного института питания растений. – 2014. – № 4. – С. 9–12.

48. Девятова Т.А. Изменение физико-химических и агрохимических свойств черноземов центра Русской равнины при их сельскохозяйственном использовании / Т.А. Девятова, А.П. Щербаков // Агрохимия. – 2006. – № 4. – С. 5–8.

49. Дедов А.В. Влияние удобрений на плодородие почвы и урожайность сахарной свеклы. / А.В. Дедов, Г.Н. Ткачев // Актуальные направления стабилизации и развития агропромышленного производства: тезисы докладов. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 1998. – С. 36–37.

50. Дедов А.В. Система удобрения, продуктивность культур и плодородие чернозема выщелоченного // А.В. Дедов, Н.И. Придворев, В.В. Верзилин [и др.] // Агрохимия. – 2004. – № 5. – С. 36–46.

51. Державин Л.М. Научное обеспечение повышения плодородия почв в современных условиях / Л.М. Державин // Агрохимический вестник. – 1997. – № 5. – С. 16–18.

52. Джанаев Г.Г. Влияние системы удобрений на интенсивность микробиологических процессов, агрохимические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность севооборота / Г.Г. Джанаев, А.Т. Фарниев, З.Г. Джанаев // Агрохимия. – 2006. – № 12. – С. 3–10.

53. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования) / Б.А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

54. Дроздова В.В. Влияние минеральных удобрений на питательный

режим почвы, урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы / В.В. Дроздова, Н.Е. Редина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 111. – С. 1643–1657.

55. Дымова Л.В. Эффективность известкования слабо- и среднекислых выщелоченных черноземов лесостепи Алтайского края: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Л.В. Дымова. – Барнаул, 2005. – 28 с.

56. Дьяков Д.А. Влияние питательного режима, погодных условия и агротехники на продуктивность сахарной свеклы / Д.А. Дьяконов, О.А. Минакова, О.К. Боронтов [и др.] // Сахарная свекла. – 2015. – № 10. – С. 33–36.

57. Ерёмин Д.И. Влияние длительного использования органоминеральной системы удобрения зернового севооборота на динамику подвижного калия чернозема выщелоченного / Д.И. Ерёмин // Плодородие. – 2016. – № 2 (89). – С. 28–31.

58. Ермохин Ю.И. Диагностика питания растений / Ю.И. Ермохин. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 1995. – 207 с.

59. Ефимова Л.А. Экологические аспекты применения удобрений на черноземе 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.

60. Жукова Л.М. Влияние длительного применения удобрений на фиксацию калия и аммония в различных почвах / Л.М. Жукова // Удобрение и плодородие почв: труды ВИУА. – 1978. – Вып. 5. – С. 100–120.

61. Жукова Л.М. Накопление и превращение калия в почвах разного типа при систематическом применении удобрений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Л.М. Жукова. – М., 1966. – 28 с.

62. Жукова Л.М. Накопление и превращение калия в различных почвах при длительном применении удобрений и его доступность растениям

/ Л.М. Жукова, В.Е. Силаева // Удобрение и плодородие почв: сборник научных трудов. – М.: Колос, 1966. – С. 125–168.

63. Жуковский А.С. Система азотного питания в условиях Юго-Западной зоны ЦЧР / А.С. Жуковский, А.А. Хмельницкий // Сахарная свекла. – 2004. – № 6. – С. 31–32.

64. Завьялова Н.Е. Методические подходы к изучению гумусного состояния пахотных почв / Н.Е. Завьялова. – Плодородие. – 2006. – № 1. – С. 11–15.

65. Заришняк А.С. Действие удобрений в различных севооборотах / А.С. Заришняк, В.В. Иванина, Н.К. Шиманска [и др.] // Сахарная свекла. – 2011. – № 8. – С. 19–22.

66. Заришняк А.С. Фосфатный режим чернозема оподзоленного при длительном применении удобрений / А.С. Заришняк, В.В. Иванина, Т.В. Колибабчук // Агрохимия. – 2014. – № 4. – С. 20–26.

67. Заришняк А.С. Химическая мелиорация почвы и продуктивность сахарной свеклы / А.С. Заришняк, А.А. Сыпко // Сахарная свекла. – 2010. – № 1. – С. 21–24.

68. Зубенко В.Ф. Сахарная свекла: основы агротехники / В.Ф. Зубенко. – Киев: Урожай, 2007. – 416 с.

69. Иванов А.И. Влияние окультуренности дерново-подзолистой почвы и ее водного режима на эффективность калийных удобрений / А.И. Иванов // Агрохимия. – 1998. – № 11. – С. 45–48.

70. Иванов А.И. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения / А.И. Иванов, И.А. Иванов, В.А. Воробьев [и др.] // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 21–26.

71. Иванова С.Е. Эффективность калийных удобрений при интенсивных технологиях возделывания с.-х. культур в ЦФО / С.Е. Иванова, В.А. Романенков, Л.В. Никитина // Почвоведение – залог продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества

почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции. – Москва, Белгород, 2016. – Ч. I. – С. 325–326.

72. Ивойлов А.В. Основные результаты исследований и проблемы известкования выщелоченных черноземов республики Мордовия / А.В. Ивойлов // Вопросы известкования почв. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 74–78.

73. Известкование кислых почв / Н.С. Авдонин, А.В. Петербургский, С.Г. Шедеров [и др.]. – М.: Колос, 1976. – 304 с.

74. Ильюшенко И.В. Влияние агрохимических свойств черноземов ЦЧЗ на эффективность применения минеральных удобрений под сахарную свеклу / И.В. Ильюшенко // Плодородие. – 2015. – № 4 (85). – С. 8–9.

75. Ильюшенко И.В. Оптимизация применения минеральных удобрений под сахарную свеклу в зависимости от агрохимических свойств черноземов / И.В. Ильюшенко, С.А. Шафран // Агрохимический вестник. – 2015. – № 3. – С. 39–42.

76. Карабутов А.П. Изменение агрохимических показателей чернозема при длительном применении удобрений и обработок / А.П. Карабутов, Г.И. Уваров // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 3. – С. 19–20.

77. Каранкевич Е.В. Агроэкономическая и энергетическая эффективность применения удобрений под ячмень на антропогенно-преобразованных торфяных почвах / Е.В. Каранкевич, Н.Н. Семененко // Мелиорация. – 2013. – № 1 (69). – С. 124–130.

78. Караулова Л.Н. Динамика подвижных соединений азота в черноземах типичных пахотных склонов ЦЧЗ: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Л.Н. Караулова. – Курск, 2005. – 22 с.

79. Кильчевский А.Л. Вынос питательных веществ сахарной свеклой на выщелоченном черноземе при повышенных дозах минеральных удобрений / А.Л. Кильчевский, А.А. Дудкин // Сборник научных трудов. – Воронеж: Изд-во ВСХИ, 1975. – Т. 78. – С. 73–76.

80. Кирпичников Н.А. Действие и последствие фосфорных

удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве при различной степени известкования / Н.А. Кирпичников, С.Н. Адрианов // Агрохимия. – 2007. – № 10. – С. 14–23.

81. Когут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании / Б.М. Когут // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 794–802.

82. 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.

83. 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.

84. 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 ГАУ, 2017. – С. 29–30.

85. 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.

86. Козлова О.Н. Вклад различных гранулометрических фракций в

обеспечение супесчаной дерново-подзолистой почвы обменным и необменным калием / О.Н. Козлова, С.М. Лукин, Т.А. Соколова [и др.] // *Агрохимия*. – 1981. – № 12. – С. 26–32.

87. Козлова О.Н. О содержании калия в различных вытяжках из черноземов и дерново-подзолистых почв разного гранулометрического и минералогического состава / О.Н. Козлова, Т.А. Соколова, В.В. Носов [и др.] // *Агрохимия*. – 2003. – № 10. – С. 13–21.

88. Козловский Е.В. Известкование почв / Е.В. Козловский, А.Н. Небольсин, Ю.В. Алексеев. – Л.: Колос, 1983. – 286 с.

89. Коломейченко А.С. Повышение экономической эффективности использования сельскохозяйственных земель на основе оптимизации применения удобрений / А.С. Коломейченко // *Наука и мир*. – 2015. – № 8 (24). – С. 75–77.

90. Королев В.А. Изменение основных показателей плодородия выщелоченных черноземов под влиянием удобрений / В.А. Королев, Л.Д. Стахурлова // *Почвоведение*. – 2004. – № 5. – С. 604–611.

91. Корчагин В.И. Баланс элементов питания и гумуса в земледелии Воронежской области / В.И. Корчагин, Ю.А. Кошелев, Н.Г. Мязин // *Инновационные технологии производства зерновых, зернобобовых, технических и кормовых культур: сборник научных трудов международной научной конференции*. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2016. – С. 290–296.

92. Корчагин В.И. Мониторинг агрохимических показателей плодородия почв и урожайность основных сельскохозяйственных культур Воронежской области / В.И. Корчагин, Ю.А. Кошелев, Н.Г. Мязин // *Плодородие*. – 2016. – № 3 (90). – С. 10–13.

93. Корченкина Н.А. Влияние минеральных удобрений и последствий известкования на динамику содержания подвижных форм калия в светло-серой лесной почве / Н.А. Корченкина, Р.М. Махалов // *Плодородие*. – 2015. – № 3. – С. 8–10.

94. Костин С.И. Климат / С.И. Костин // Воронежская область. Природные условия. Ч. 1. – Воронеж, 1952. – 340 с.
95. Котов В.В. Фульвокислоты чернозема выщелоченного / В.В. Котов, К.Е. Стекольников, Е.С. Гридяева // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2006. – № 5. – С. 722–731.
96. Кудашкин М.И. Роль извести, удобрений и микроэлементов при проектировании севооборотов / М.И. Кудашкин, И.А. Гайсин, М.М. Гераськин // Агрохимический вестник. – 2006. – № 4. – С. 5–7.
97. Кулаковская Т.Н. Влияние известкования и минеральных удобрений на вымывание элементов питания из почвы / Т.Н. Кулаковская, В.Ю. Агеец // Химия в сельском хозяйстве. – 1978. – № 9. – С. 53–55.
98. Кураков В.И. Влияние длительного применения удобрений на воспроизводство почвенного плодородия и качество продукции / В.И. Кураков, О.А. Минакова, В.В. Ситникова // Сахарная свекла. – 2004. – № 1. – С. 12–14.
99. Кураков В.И. Влияние удобрений на воспроизводство почвенного плодородия, урожайность и качество сахарной свеклы в севообороте: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / В.И. Кураков. – М.: ВИУА, 1992. – 36 с.
100. Кураков В.И. Питательный режим почвы и продуктивность сахарной свеклы в зависимости от норм удобрений / В.И. Кураков, В.В. Ситникова // Научные основы интенсификации свеклосахарного производства. – Рамонь: ВНИИСС, 1990. – 90 с.
101. Кушниренко Ю.Д. О значении предшественника при установлении доз азотных удобрений на черноземах / Ю.Д. Кушниренко // Агрохимия. – 1972. – № 6. – С. 11–22.
102. Лазарев В.И. Влияние природных и антропогенных факторов на продуктивность сахарной свеклы / В.И. Лазарев, В.Д. Муха, Ж.И. Горобец // Сахарная свекла. – 2009. – № 6. – С. 25–27.
103. Левенец П. Трансформация азотных удобрений в черноземе и

использование азота растениями / П. Левенец, Р. Разумная, Е. Юрко // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – М., 1978. – Вып. 19. – С. 12–19.

104. Липкина Г.С. Изменение агрохимических свойств легких дерново-подзолистых почв при длительном удобрении / Г.С. Липкина // Почвоведение. – 1980. – № 10. – С. 103–111.

105. Липкина Г.С. Содержание и соотношение форм подвижного калия в легких дерново-подзолистых почвах Нечерноземного Центра РСФСР, формирующихся на разных по генезису почвообразующих породах / Г.С. Липкина // Агрохимия. – 1981. – № 10. – С. 47–51.

106. Литвак Ш.И. Баланс фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах / Ш.И. Литвак, Э.А. Бабарина, Л.В. Никитина // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 10. – С. 18–20.

107. Литвак Ш.И. Влияние различных систем удобрения на продуктивность полевого севооборота и фосфорно-калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы / Ш.И. Литвак, Э.А. Бабарина, Л.В. Никитина, В.П. Чожик // Агрохимия. – 1990. – № 3. – С. 43–49.

108. Литвинович А.В. Влияние возрастающих доз известкового удобрения на закрепление кальция в составе гуминовых кислот / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, А.В. Лаврищев [и др.] // Агрохимия. – 2016. – № 5. – С. 3–9.

109. Лицуков С.Д. Оптимальная доза азотного удобрения / С.Д. Лицуков // Сахарная свекла. – 2004. – № 6. – С. 32–33.

110. Ломако Е.И. Эффективность известкования выщелоченного чернозема при ресурсосберегающих системах обработки / Е.И. Ломако, Ш.А. Алиев, Л.М.-Х. Биккинина // Агрохимический вестник. – 2007. – № 6. – С. 12–14.

111. Лукин С.В. Влияние удобрений на урожайность и качество корнеплодов / С.В. Лукин // Сахарная свекла. – 1993. – № 1. – С. 11–12.

112. Лукин С.В. Калийный режим черноземов и эффективность калийных удобрений / С.В. Лукин, Л.И. Иноземцева // Агрохимический вестник. – 2014. – № 1. – С. 8–11.
113. Лукин С.В. Влияние известкования на изменение показателей почвенного плодородия / С.В. Лукин // Сахарная свекла. – 2006. – № 6. – С. 20–22.
114. Лукин С.В. Перспектива химической мелиорации черноземов в Белгородской области / С.В. Лукин // Сахарная свекла. – 2011. – № 10. – С. 14–16.
115. Лукин С.В. Эколого-агрохимические основы адаптивных систем земледелия для эрозионно-опасных и загрязненных тяжелыми металлами агроландшафтов в ЦЧР России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / С.В. Лукин. – М.: ВИУА, 1999. – 46 с.
116. Лукин С.М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений / С.М. Лукин // Агрохимия. – 2012. – № 12. – С. 5–14.
117. Луценко Р.Н. Систематическое применение удобрений в севообороте и продуктивность сахарной свеклы / Р.Н. Луценко, Н.Г. Мязин // Земледелие. – 2012. – № 6. – С. 10–11.
118. Лыскова И.В. Влияние удобрений и извести на агрохимические показатели и фосфатный режим дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы / И.В. Лыскова, О.Н. Рылова, Н.А. Веселкова [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2015. – № 2. – С. 27–31.
119. Лямцева Е.Г. Трансформация калия почвы на фоне калийдефицитных систем удобрения / Е.Г. Лямцева, А.И. Иванов // Агрохимический вестник. – 2008. – № 4. – С. 14–16.
120. Макаров В.И. Влияние хелатов меди и молибдена на урожайность и качество корнеплодов / В.И. Макаров, В.В. Кужнуров // Сахарная свекла. – 2007. – № 4. – С. 21–23.
121. Макаров И.П. Плодородие почв и устойчивость земледелия / И.П.

Макаров, В.Д. Муха, И.С. Кочетов // Плодородие почв и устойчивость земледелия. – М.: Колос, 1995. – 288 с.

122. Маслова А.Л. О способах определения содержания обменного калия в почве / А.Л. Маслова // В кн. Калийные удобрения. – М.: Сельхозиздат, 1938. – С. 82–171.

123. Маслова А.Л. Калий как элемент почвенного плодородия / А.Л. Маслова // В кн. Калийные удобрения. – М.: Сельхозиздат, 1938. – С. 1–52.

124. Маслова И.Я. Оценка изменения почвенных ресурсов подвижного калия под влиянием растений / И.Я. Маслова, Т.Г. Якушева // Агрохимия. – 2011. – № 11. – С. 52–63.

125. Медведева О.П. Необменно-фиксированный калий удобрений как показатель обеспеченности растений доступным калием / О.П. Медведева // Агрохимия. – 1983. – № 1. – С. 25–31.

126. Меркушева М.Г. Калийное состояние неорошаемых и орошаемых аллювиальных дерновых почв Забайкалья / М.Г. Меркушева, Л.Л. Убугунов, Л.Н. Болонева // Агрохимический вестник. – 2008. – № 4. – С. 10–11.

127. Методика определения энергетической эффективности применения минеральных, органических и известковых удобрений: методические указания / Составители Г.В. Василюк, И.М. Богдевич, Н.В. Клебанович [и др.]. – Минск: Изд-во БелНИИПА, 1996. – 50 с.

128. Милащенко Н.З. Научные основы расширенного воспроизводства плодородия почв в ЦЧО / Н.З. Милащенко, П.Г. Акулов // Повышение эффективности земледелия и агропромышленного производства Белгородской области. – М.: ВИУА, 1990. – С. 61–77.

129. Минакова О.А. Влияние 70-летнего применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного лесостепи ЦЧР и урожайность культур зерносвекловичного севооборота / О.А. Минакова, Л.В. Александрова, Л.В. Тамбовцева // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 31–37.

130. Минакова О.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений и навоза на гумусовое и азотное состояние чернозема

выщелоченного в зерносвекловичном севообороте лесостепи ЦЧЗ / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, А.И. Громовик // *Агрохимия*. – 2011. – № 5. – С. 18–25.

131. Минакова О.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений и навоза на калийный режим чернозема выщелоченного / О.А. Минакова, Л.В. Александрова, О.В. Кустова // *Агрохимия*. – 2015. – № 8. – С. 42–48.

132. Минакова О.А. Влияние длительного применения удобрений на азотный режим чернозема выщелоченного и баланс азота в зернопаропропашном севообороте / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, Л.В. Александрова // *Агрохимия*. – 2016. – № 8. – С. 11–22.

133. Минакова О.А. Влияние длительного применения удобрений на подвижность азотистых соединений и баланс азота / О.А. Минакова, Л.В. Александрова, Л.В. Тамбовцева // *Сахарная свекла*. – 2010. – № 10. – С. 7–9.

134. Минакова О.А. Влияние минеральных удобрений на плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность культуры / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, А.И. Громовик // *Сахарная свекла*. – 2009. – № 5. – С. 14–17.

135. Минакова О.А. Динамика урожайности при длительном применении удобрений в условиях климатических изменений / О.А. Минакова, А.И. Громовик, Л.В. Александрова // *Сахарная свекла*. – 2011. – № 1. – С. 22–26.

136. Минакова О.А. Динамика фосфатного режима чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в зернопаропропашном севообороте лесостепи ЦЧР / О.А. Минакова, Л.В. Александрова, М.Г. Мельникова // *Агрохимия*. – 2013. – № 5. – С. 9–17.

137. Минакова О.А. Изменение агроэкологического состояния чернозема выщелоченного под влиянием длительно применяемых удобрений в зерносвекловичном севообороте / О.А. Минакова, Л.В. Александрова, В.М. Вилков [и др.] // *Сахарная свекла*. – 2017. – № 1. – С. 29–32.

138. Минакова О.А. Калийный режим чернозема выщелоченного при

длительном применении удобрений в севообороте с сахарной свеклой / О.А. Минакова, О.В. Гамуев, О.В. Кустова // Плодородие. – 2013. – № 4. – С. 27–29.

139. Минакова О.А. Почвенные подкормки – залог повышения плодородия почвы и продуктивности сахарной свеклы / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, Л.В. Александрова // Сахарная свекла. – 2016. – № 8. – С. 20–24.

140. Минакова О.А. Применение навоза в севообороте – фактор повышения продуктивности сахарной свеклы в условиях ЦЧР / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, Л.В. Александрова // Сахарная свекла. – 2015. – № 3. – С. 27–29/

141. Минакова О.А. Продуктивность и вынос NPK гибридами сахарной свеклы отечественной и иностранной селекции на различных фонах основной удобренности / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, Л.В. Александрова // Сахарная свекла. – 2014. – № 5. – С. 40–42.

142. Минакова О.А. Продуктивность сахарной свеклы на различных фонах основной удобренности при применении корневых и некорневых подкормок / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, Л.В. Александрова // Агрохимия. – 2013. – № 9. – С. 40–47.

143. Минакова О.А. Реакция сортов и гибридов сахарной свеклы на минеральное питание / О.А. Минакова, Л.В. Александрова // Сахарная свекла. – 2007. – № 5. – С. 21–22.

144. Минакова О.А. Сезонная динамика кальция, магния и серы в почве под сахарной свеклой под влиянием длительного применения удобрений / О.А. Минакова, Е.А. Санин // Инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Нечерноземье: сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию образования Владимирского НИИСХ Россельхозакадемии. – Владимир: Изд-во НИИСХ Россельхозакадемии, 2013. – С. 220–224.

145. Минакова О.А. Система удобрения в зоне неустойчивого увлажнения ЦЧР / О.А. Минакова, Л.В. Александрова // Сахарная свекла. –

2010. – № 8. – С. 11–13.

146. Минакова О.А. Трансформация гумусного состояния чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений / О.А. Минакова, А.И. Громовик // Сахарная свекла. – 2008. – № 9. – С. 19–20.

147. Минакова О.А. Факторы и приемы повышения продуктивности сахарной свеклы / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, А.Г. Ступаков // Сахарная свекла. – 2011. – № 10. – С. 17–19.

148. Минакова О.А. Фосфатный режим чернозема выщелоченного на фоне длительного применения удобрений в зерносвекловичном севообороте лесостепи ЦЧР / О.А. Минакова, М.Г. Мельникова // Сахарная свекла. – 2009. – № 8. – С. 21–25.

149. Минакова О.А. Эффективность использования нитроаммофоски с бором и гуматом калия / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, Л.В. Александрова // Сахарная свекла. – 2015. – № 5. – С. 24–26.

150. Минеев В.Г. Агрохимические и экологические функции калия / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.

151. Минеев В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – М.: ВНИИА, 2017. – 853 с.

152. Минеев В.Г. Изменение свойств и калийного состояния дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при 40-летнем применении агрохимических средств / В.Г. Минеев, Н.Ф. Гомонова, Е.В. Морачевская // Агрохимия. – 2013. – № 10. – С. 3–12.

153. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, О.А. Амелянчик [и др.] – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

154. Минеев В.Г. Тенденции изменения калийного состояния почв и экологические функции калия почвы и калийных удобрений / В.Г. Минеев // Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных удобрений. – М.: ЦИНАО, 2002. – 246 с.

155. Митрофанова Е.М. Влияние длительного применения минеральных удобрений и последствий известки на фосфатный режим

дерново-поверхностноподзолистой почвы Предуралья / Е.М. Митрофанова // Агрохимия. – 2016. – № 7. – С. 36–43.

156. Митрофанова Е.М. Кальций и магний в дерново-подзолистых почвах Предуралья / Е.М. Митрофанова // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 2 (81). – С. 9–11.

157. Музычкин Е.Т. Роль удобрений и севооборотов в регулировании плодородия мощных черноземов и круговорота питательных веществ в земледелии / Е.Т. Музычкин, А.И. Потапова, В.М. Рябнина // Повышение плодородия почв и продуктивности сельского хозяйства при интенсивной химизации. – М.: Наука, 1983. – С. 152–167.

158. Мусич В.Н. Влияние азотных удобрений на динамику азота в почве, урожай и качество сахарной свеклы / В.Н. Мусич, И.И. Чередничек // Удобрение сахарной свеклы: Сборник научных трудов – Киев, 1975. – С. 54–62.

159. Муха В.Д. Изменение физико-химических свойств чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании / В.Д. Муха, В.И. Лазарев // Агрохимия. – 2003. – № 1. – С. 5–7.

160. Мухина С.В. Влияние агрохимических факторов на продуктивность / С.В. Мухина, С.В. Супрун, Е.А. Балюнова // Сахарная свекла. – 2010. – № 6. – С. 18–23.

161. Мухина С.В. Динамика показателей чернозема обыкновенного под сахарной свеклой при различных системах удобрения / С.В. Мухина, С.В. Супрун, Е.А. Балюнова // Сахарная свекла. – 2010. – № 1. – С. 26–31.

162. 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.

163. 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.

164. Мязин Н.Г. Агроэкологический мониторинг при длительном применении агрохимических средств в севообороте лесостепи ЦЧЗ / Н.Г. Мязин, П.Т. Брехов, Р.Н. Луценко [и др.] // Результаты длительных исследований в системе географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации. – М.: ВНИИА, 2012. – С. 246–267.

165. 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.

166. 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. – № 2–4 (47). – С. 26–33.

167. 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.

168. Мязин Н.Г. Пищевой режим чернозема выщелоченного под сахарной свеклой в зависимости от доз минеральных удобрений / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина, Ю.И. Столповский [и др.] // Аграрная наука. – 2017.

– № 9–10. – С. 14–16.

169. Мязин Н.Г. Почвенное плодородие и продуктивность пашни в ЦЧР в зависимости от минерального питания / Н.Г. Мязин, Р.А. Павлов, В.В. Шеина // Плодородие. – 2003. – № 6. – С. 34–36.

170. Мязин Н.Г. Продуктивность почвы и ее агрохимические свойства / Н.Г. Мязин, П.Т. Брехов // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.В. Докучаева. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2016. – С. 99–107.

171. Мязин Н.Г. Система удобрения: учебное пособие / Н.Г. Мязин. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2009. – 350 с.

172. Надежкин С.М. Влияние известкования и применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность зернопропашного севооборота / С.М. Надежкин, Т.Б. Лебедева, М.В. Арефьева // Агрохимия. – 2006. – № 10. – С. 5–14.

173. Небытов В.Г. Влияние длительного последействия фосфорных удобрений и навоза на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и урожайность культур севооборота / В.Г. Небытов // Агрохимия. – 2005. – № 3. – С. 5–14.

174. Небытов В.Г. Влияние известкования на агрохимические показатели чернозема выщелоченного, урожайность культур в севообороте при применении минеральных удобрений / В.Г. Небытов // Агрохимия. – 2004. – № 9. – С. 48–55.

175. Никитин В.В. Изменение гумуса как показателя плодородия чернозема типичного в Юго-Западной части Центрально-Черноземного региона / В.В. Никитин, В.Д. Соловиченко // Проблемы агрохимии и экологии. – 2012. – № 2. – С. 3–7.

176. Никитин В.В. Изменение фосфатного режима чернозема типичного в Юго-Западной части Центрально-Черноземного региона / В.В. Никитин, В.Д. Соловиченко // Проблемы агрохимии и экологии. – 2012. – №

3. – С. 6–8.

177. Никитин В.В. Методические основы диагностики азотного режима чернозема типичного в зерносвекловичном севообороте / В.В. Никитин. – Агрохимия. – 2013. – № 2. – С. 15–21.

178. Никитин В.В. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур зерносвекловичного севооборота Юго-Западной части ЦЧЗ: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / В.В. Никитин. – М.: ВНИИ «Агроэкоинформ», 1998. – 42 с.

179. Никитин В.В. Продуктивность свеклы в зависимости от удобрений / В.В. Никитин // Сахарная свекла. – 1985. – № 10. – С. 33–34.

180. Никитина Л.В. Влияние длительного применения удобрений в зернопропашном севообороте на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы / Л.В. Никитина // Агрохимия. – 2012. – № 12. – С. 15–23.

181. Никитина Л.В. Влияние органического вещества на содержание форм калия в суглинистых дерново-подзолистых почвах / Л.В. Никитина, И.А. Володарская // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 1. – С. 13–17.

182. Никитина Л.В. Действие и последствие разных систем удобрения в длительном полевом опыте на калийный режим суглинистой почвы / Л.В. Никитина // Плодородие. – 2015. – № 6. – С. 3–5.

183. Никитина Л.В. Методические подходы при разработке параметров калийного режима пахотных почв / Л.В. Никитина, Т.А. Соколова, В.Н. Якименко // Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями. – 2011. – Вып. 12. – 40 с.

184. Никитина Л.В. Динамика калийного режима пахотных почв Нечерноземной зоны / Л.В. Никитина, Т.А. Соколова, В.Н. Якименко // Агрохимия. – 2013. – № 5. – С. 23–28.

185. Никитина Л.В. Оценка калийного режима разных типов почв и эффективность калийных удобрений в длительных опытах: дис. ... д-ра с.-х.

наук: 06.01.04 / Л.В. Никитина. – М., 1994. – 431 с.

186. Никитина Л.В. Трансформация форм калия в суглинистой почве при длительном применении удобрений / Л.В. Никитина // 75 лет Географической сети опытов с удобрениями: материалы Всероссийского совещания научных учреждений – участников Географической сети опытов с удобрениями. – М.: ВНИИА, 2016. – С. 190–196.

187. Никитишен В.И. Адаптивная функция сбалансированного удобрения в агроэкосистемах южного Нечерноземья / В.И. Никитишен, В.И. Личко // Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2008. – С. 128–140.

188. Никитишен В.И. Роль почвы и удобрения в обеспечении калийного питания культур севооборота / В.И. Никитишен, Л.К. Дмитрикова, В.И. Личко // Агрохимия. – 2000. – № 12. – С. 30–35.

189. Никульников И.М. Гумусное состояние и продуктивность культур в севооборотах в системах зяблевой обработки чернозема в Центрально-Черноземной полосе / И.М. Никульников // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2005. – С. 20–26.

190. Никульников И.М. Физико-химические свойства чернозема в системах основной обработки почвы / И.М. Никульников, О.К. Боронтов, А.Ю. Удалых // Сахарная свекла. – 2008. – № 8. – С. 24–25.

191. Никульников И.М. Физико-химические свойства чернозема и продуктивность культур в системах основной обработки почвы в севообороте / И.М. Никульников, О.К. Боронтов // Доклады российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 2. – С. 32–34.

192. Носко Б.С. Динамика фракционного состава минеральных фосфатов чернозема типичного при длительном применении удобрений / Б.С. Носко, В.И. Бабынин, Т.А. Юнакова [и др.] // Агрохимия. – 2003. – № 3. – С. 27–34.

193. Носко Б.С. Подвижность остаточных фосфатов и фосфатная

буферность чернозема типичного / Б.С. Носко, Т.А. Юнакова, Л.Н. Бурлакова [и др.] // Агрохимия. – 2004. – № 6. – С. 5–10.

194. Носов В.В. Применение калийных удобрений в развитых странах Европы и Америки / В.В. Носов // Агрохимия. – 2013. – № 2. – С. 37–41.

195. Носов В.В. Влияние калийных и магниевых удобрений и известкования на подвижность калия, кальция и магния в супесчаных дерново-подзолистых почвах (по результатам полевого опыта) / В.В. Носов, Т.А. Соколова, В.В. Прокошев // Агрохимия. – 1995. – № 10. – С. 3–9.

196. Носов В.В. Влияние содержания и состава глинистого материала на калийное состояние дерново-подзолистых почв: автореф. дис. ... канд. биол. Наук: 03.00.27 / В.В. Носов. – М., 1997. – 31 с.

197. Носов В.В. Изменение некоторых показателей калийного состояния дерново-подзолистых почв под влиянием применения калийных удобрений в длительных полевых опытах / В.В. Носов, Т.Л. Соколова, В.В. Прокошев [и др.] // Агрохимия. – 1997. – № 5. – С. 13–19.

198. Окорков В.В.. Влияние извести и минеральных удобрений на агрохимические свойства серой лесной почвы Владимирского Ополя и продуктивность севооборота / В.В. Окорков, А.А. Григорьев // Агрохимия. – 1997. – № 2. – С. 20–25.

199. Окорков В.В. О механизме и эффективности взаимодействия извести с кислыми почвами / В.В. Окорков // Агрохимия. – 2004. – № 7. – С. 11–21.

200. Ониани О.Г. Агрохимия калия / О.Г. Ониани. – М.: Наука, 1981. – 200 с.

201. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 401 с.

202. Павлов К.В. Влияние локального внесения калийных удобрений в чернозем на урожайность ячменя / К.В. Павлов, М.М. Новиков // Агрохимия. – 2013. – № 4. – С. 48–54.

203. Павлов К.В. Оптимизация калийного питания ячменя при

локальном внесении калийных удобрений / К.В. Павлов // Агрохимия. – 2009. – № 2. – С. 28–34.

204. Павлов К.В. Оценка калийного состояния почвы по соотношению разных форм калия / К.В. Павлов // Почвоведение. – 2007. – № 7. – С. 881–884.

205. Пестряков А.М. Влияние известкования на плодородие темно-серой лесной почвы и продуктивность севооборота / А.М. Пестряков, Г.Д. Рощина, Е.А. Блинкова // Вопросы известкования почв. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 156–158.

206. Петербургский А.В. Формы калия в почвах при многолетнем применении удобрений / А.В. Петербургский, Ф.В. Янишевский // Известия ТСХА. – 1963. – № 3. – С. 113–125.

207. Плодородие черноземов России / Н.Э. Милащенко [и др.]; под общ. ред. Н.Э. Милащенко. – М.: Агроконсалт, 1998. – 688 с.

208. Подколзин А.И. Влияние длительного применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного и накопление в нем свинца, меди, марганца / А.И. Подколзин // Агрохимия. – 2002. – № 10. – С. 21–24.

209. Подколзин В.В. География Воронежской области / В.В. Подколзин. – Воронеж, 1994. – 110 с.

210. Почвенный покров Среднерусского Черноземья / Б.П. Ахтырцев, А.Б. Ахтырцев. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993. – 216 с.

211. Придворев Н.И. Зависимость чернозема выщелоченного от приемов его воспроизводства в севообороте / Н.И. Придворев, В.В. Верзилин, В.А. Маслов [и др.] // Агрохимия. – 2009. – № 3. – С. 18–27.

212. Прижукова В.Г. Оценка калийного состояния почв / В.Г. Прижукова, М.В. Тюхов, Е.Ф. Завьялова // Плодородие. – 2003. – № 3. – С. 5–7.

213. Проберж Э.С. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных растений на южных черноземных почвах засушливой степи: Монография / Э.С. Проберж. – Челябинск: Изд-во Челябинский

государственный агроинженерный университет, 2002. – 172 с.

214. Прокошев В.В. Актуальные вопросы агрохимии калийных удобрений / В.В. Прокошев // Агрохимия. – 1985. – № 4. – С. 32–41.

215. Прокошев В.В. Калий и калийные удобрения. Практическое руководство / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.

216. Прокошев В.В. Место и значение калия в агроэкосистеме / В.В. Прокошев // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2005. – Т. XLIX. – № 3. – С. 35–43.

217. Прокошев В.В. Методы оценки калийного состояния почв и их практическое значение / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин., В.В. Носов // Научное обеспечение и совершенствование методологии агрохимического обслуживания земледелия страны: материалы международной научно-практической конференции. – М.: ЦИНАО, 1999. – С. 248–256.

218. Прокошев В.В. О методах определения доступных форм калия в почве / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин, Е.Н. Ефремов // Плодородие. – 2005. – № 5. – С. 15–18.

219. Прокошев В.В. Оптимизация калийного питания растений / В.В. Прокошев // Параметры плодородия основных типов почв. – М.: Агропромиздат, 1988. – С. 95–106.

220. Прокошев В.В. Уровень калийного питания – одно из условий устойчивого земледелия в Центральном Черноземье / Теория и практика использования агрохимических средств в современном земледелии Центрально-Черноземных областей России. – Белгород: Крестьянское дело, 2002. – С. 120–125.

221. Проценко Е.П. Влияние удобрений и размещения в агроландшафте на продуктивность и особенности водопотребления / Е.П. Проценко, А.А. Проценко, Н.В. Шустрова // Сахарная свекла. – 2007. – № 2. – С. 16–20.

222. Проценко Е.П. Особенности азотного режима чернозема

типичного на склонах и поступления его в растения / Е.П. Проценко, Г.А. Чуян, И.В. Траутвах // Русский чернозем. 2000: материалы научной конференции. – М., 2001. – С. 198–201.

223. Путилина Л.Н. Влияние применения удобрений в основное внесение и подкормку на продуктивность и технологические качества корнеплодов / Л.Н. Путилина, О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева [и др.] // Сахарная свекла. – 2016. – № 7. – С. 12–16.

224. Пухальская Н.В. Особенности калийного питания сельскохозяйственных растений в оптимальных и неблагоприятных условиях / Н.В. Пухальская, В.Г. Сычев, А.А. Собачкин [и др.]. – М.: ВНИИА, 2009. – 192 с.

225. Пчелкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения / В.У. Пчёлкин. – М: Колос, 1966. – 336 с.

226. Пчелкин В.У. Формы калия в почве и их доступность растениям / В.У. Пчелкин. – М.: Колос, 1969. – 123 с.

227. Роик Н.В. Адаптация гибридов сахарной свеклы к различным фонам питания / Н.В. Роик, А.С. Заришняк, Ю.С. Ионицей // Сахарная свекла. – 2014. – № 3. – С. 24–27.

228. Рымарь В.Т. Питательный фон и продуктивность сахарной свеклы / В.Т. Рымарь, С.В. Мухина, С.В. Супрун [и др.] // Сахарная свекла. – 2008. – № 2. – С. 26–28.

229. Рымарь С.В. Оптимизация системы удобрений и способов основной обработки для повышения урожайности корнеплодов / С.В. Рымарь, В.М. Гармашов // Сахарная свекла. – 2009. – № 5. – С. 6–7.

230. Сдобникова О.В. Сбалансированное питание макро- и микроэлементами на основе данных многофакторных опытов и метода балансового расчета доз / О.В. Сдобникова, Н.С. Сокорев // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – № 6. – С. 26–29.

231. Середина В.П. Термодинамические показатели калийного состояния агрогенных почв подтаежной зоны Западной Сибири / В.П.

Середина // Отражение био-, гео- антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов VI всероссийской конференции с международным участием, посвященной 125-летию со дня рождения Ростислава Сергеевича Ильина. – 2016. – С. 218–222.

232. Синченко В.Н. Формирование урожая в зависимости от минерального питания / В.Н. Синченко // Сахарная свекла. – 2011. – № 10. – С. 20–23.

233. Синченко В.Н. Формирование урожая в зависимости от минерального питания / В.Н. Синченко // Сахарная свекла. – 2011. – № 10. – С. 20–23.

234. Сиряк И.И. Влияние норм и сроков внесения удобрений на урожай и качество свеклы / И.И. Сиряк // Сахарная свекла. – 1987. – № 6. – С. 34–35.

235. Смуров С.И. Адаптация сортов и гибридов к различным фонам питания / С.И. Смуров, Д.М. Иевлев, Ф.Л. Кошин // Сахарная свекла. – 2005. – № 4. – С. 10–15.

236. Сокаев К.Е. Калийный режим почв сельхозугодий РСО-Алания / К.Е. Сокаев, В.В. Бестаев // Плодородие. – 2016. – № 6. – С. 39–42.

237. Соловиченко В.Д. Действие удобрений на пищевой режим почвы и продуктивность сахарной свеклы в условиях Белгородской области / В.Д. Соловиченко, В.Н. Самыкин, Н.К. Шаповалов // Сахарная свекла. – 2007. – № 5. – С. 23–26.

238. Солошенко Р.В. Экономическая эффективность повышения устойчивости производства сахарной свеклы / Р.В. Солошенко, Е.В. Векленко, Е.Н. Ноздрачева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4. – С. 12–16.

239. Стахурлова Л.Д. Ферментативная активность черноземов выщелоченных в длительном опыте с удобрениями / Л.Д. Стахурлова, А.Ф. Стулин // Сахарная свекла. – 2016. – № 1. – С. 30–33.

240. Стекольников К.Е. Декальцирование как механизм деградации

черноземных почв / К.Е. Стекольников // Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: материалы международной научной конференции. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГАУ, 2011. – С. 159–161.

241. Степанова Т.А. Пути повышения экономической эффективности производства сахарной свеклы в Калачеевском, Павловском и Аннинском районах Воронежской области / Т.А. Степанова, О.В. Ключникова // Альманах современной науки и образования. – 2010. – № 6. – С. 150–151.

242. Столповский Ю.И. Влияние применения удобрений на азотный режим чернозёма выщелоченного и продуктивность сахарной свёклы / Ю.И. Столповский // Химизация и экология в земледелии ЦЧЗ: сборник научных трудов. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 1999. – С. 126-133.

243. Столповский Ю.И. Изменение физико-химических показателей чернозема выщелоченного и урожайности сахарной свеклы при многолетнем применении удобрений и мелиорантов / Ю.И. Столповский, Т.В. Ходунова // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.В. Докучаева. – Воронеж: Изд-во Воронежский ГАУ, 2016. – С. 149–158.

244. Ступаков А.Г. Агрохимическое обоснование системы удобрения зерносвекловичного севооборота на черноземе выщелоченном: автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / А.Г. Ступаков. – Москва, 1998. – 40 с.

245. Сушков М.Д. Минеральное питание и листовая подкормка сахарной свеклы – залог высокого урожая / М.Д. Сушков // Сахарная свекла. – 2016. – № 2. – С.19–22.

246. Сычев В.Г. Возможности совершенствования градаций содержания «доступного» калия / В.Г. Сычев // Агрохимический вестник. – 2000. – № 5. – С. 30–34.

247. Сычев В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь / В.Г. Сычев. – М.: ЦИНАО, 2003. – 126 с.

248. Тимофеева А.И. Сроки уборки и урожайность / А.И. Тимофеева // Сахарная свекла. – 1995. – № 8. – С.6–7.
249. Трапезников В.К. Азотный фонд выщелоченного чернозема при различных способах внесения удобрений / В.К. Трапезников, Н.А. Середа, А.В. Шкиль // Агрохимия. – 1996. – № 5. – С. 3–7.
250. Тюрникова Е.Г. Влияние калийных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и калийное состояние почв Нижегородской области / Е.Г. Тюрникова, В.И. Титова, Е.П. Ренжина [и др.] // Агрохимический вестник. – 2011. – № 2. – С. 10–12.
251. Тютюнов С.И. О методике программирования урожаев на черноземах Центрально-Черноземного региона / С.И. Тютюнов, В.В. Никитин, А.Н. Воронин // Агрохимия. – 2013. – № 9. – С. 48–54.
252. Тютюнов С.И. Условия формирования урожайности сахарной свеклы в условиях ЦЧР / С.И. Тютюнов, А.Н. Воронин, В.В. Никитин [и др.] // Сахарная свекла. – 2015. – № 6. – С. 9–13.
253. Уваров Г.И. Азотный режим чернозема в зависимости от приемов агротехники / Г.И. Уваров, А.П. Карабутов, Я.Ю. Боровская // Сахарная свекла. – 2014. – № 8. – С. 14–17.
254. Уваров Г.И. Азотный режим чернозема типичного при возделывании культур в севооборотах / Г.И. Уваров, В.Д. Соловиченко // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 5–10.
255. Уваров Г.И. Влияние агротехнологии на сахаристость и элементный состав корнеплодов / Г.И. Уваров, Я.Ю. Боровская // Сахарная свекла. – 2011. – № 8. – С. 23–25.
256. Уваров Г.И. Влияние удобрений и способов обработки почвы на содержание форм азота в черноземе типичном / Г.И. Уваров, А.П. Карабутов // Агрохимия. – 2014. – № 2. – С. 13–19.
257. Уваров Г.И. Изменение агрохимических свойств чернозема типичного при применении удобрений в длительном полевом опыте / Г.И. Уваров, А.П. Карабутов // Агрохимия. – 2012. – № 4. – С. 14–20.

258. Уваров Г.И. Приемы регулирования кислотности чернозема в севообороте / Г.И. Уваров, А.П. Карабутов, Я.Ю. Боровская // Сахарная свекла. – 2011. – № 4. – С. 26–28.

259. Удобрения, их свойства и способы использования / Под общ. ред. Коренькова Д.А. – М.: Колос, 1982. – 415 с.

260. Ульянова О.А. Влияние системы удобрения на плодородие чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи / О.А. Ульянова, Н.Л. Кураченко, В.В. Чупрова // Агрохимия. – 2010. – № 1. – С. 10–19.

261. Ушаков Р.Н. Калийная буферность – показатель плодородия почвы / Р.Н. Ушаков, Н.А. Головина // Плодородие. – 2016. – № 1. – С. 17 – 19.

262. Филимонов И.Н. Эффективность использования органических и минеральных удобрений при выращивании сахарной свеклы / И.Н. Филимонов, О.Г. Котлярова // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 7. – С. 25–27.

263. Фрунзе Н.И. Фракционный состав азота почвы и его запасы / Н.И. Фрунзе // Агрохимия. – 2015. – № 8. – С. 23–31.

264. Хлыстовский А.Д. Плодородие почвы при длительном применении удобрений и извести / А.Д. Хлыстовский. – М.: Наука, 1992. – 190 с.

265. Христенко А.А. Калийное состояние почв Украины и эффективность калийных удобрений / А.А. Христенко, С.Е. Иванова, Е.Ю. Гладких [и др.] // Питание растений. – 2011. – № 4. – С. 2–5.

266. Цвей Я.П. Продуктивность сахарной свеклы в зависимости от форм и способов применения удобрений / Я.П. Цвей, В.С. Власенко // Сахарная свекла. – 2015. – № 4. – С. 32–33.

267. Цуриков А.Т. Дефицит кальция в почвах как лимитирующий фактор получения высоких урожаев в условиях ЦЧЗ / А.Т. Цуриков // Эффективность применения удобрений и мелиорантов на почвах Центрально-Черноземной зоны: сборник научных трудов. – Воронеж: Изд-во

ВСХИ, 1986. – С. 94–97.

268. Цыганок С.И. Действие минеральных удобрений, извести и цеолитов на продуктивность и питательную ценность зеленой массы кукурузы и их энергетическая и экономическая эффективность на выщелоченном черноземе Среднего Поволжья / С.И. Цыганок // Вопросы известкования почв. – М.: Агроконсалт, 2002. – С. 218–220.

269. Чебан В.М. Влияние длительного применения калийных удобрений на продуктивность культур полевого и кормового севооборотов на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В.М. Чебан. – М.: ВИУА, 1987. – 28 с.

270. Чекмарев П.А. Мониторинг кислотности пахотных почв Центрально-Черноземного района / П.А. Чекмарев, С.В. Лукин, Ю.И. Сискевич [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 7. – С. 6–8.

271. Чекмарёв П.А. Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России / П.А. Чекмарёв, С.В. Лукин // Агрохимия. – 2013. – № 4. – С. 11–12.

272. Чекмарев П.А. Состояние плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России / П.А. Чекмарев // Агрохимический вестник. – 2015. – № 3. – С. 8–11.

273. Чириков Ф.В. Агрохимия калия и фосфора / Ф.В. Чириков. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 464 с.

274. Шаймухаметов М.Ш. Калийное состояние пахотных почв Европейской территории России / М.Ш. Шаймухаметов, Л.С. Травиикова // Почвоведение. – 2000. – № 3. – С. 329–339.

275. Шафран С.А. Прогноз содержания фосфора и калия в почве центральных районов Нечерноземной зоны / С.А. Шафран, В.А. Прошкин. – М.: НИИСХ ЦРНЗ, 2006. – 40 с.

276. Шафран С.А. Влияние удобрений и агрохимических свойств черноземов выщелоченных на урожайность сахарной свеклы / С.А. Шафран, О.А. Минакова, И.В. Ильюшенко [и др.] // Плодородие. – 2015. – № 5 (86). –

С. 27 – 29.

277. Шафран С.А. Использование балансового метода для прогнозирования последствий удобрений / С.А. Шафран // Плодородие. – 2004. – № 1. – С. 13–14.

278. Шеуджен А.Х. Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / А.Х. Шеуджен, Т.Ф. Бочко, Л.М. Онищенко [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 2. – С. 8–11.

279. Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений кальция в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условия агрогенеза / А.Х. Шеуджен, Т.Ф. Бочко, Л.М. Онищенко [и др.] // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – С. 604–615.

280. Шильников И.А. Значение известкования и потребность в известковых удобрениях / И.А. Шильников, Н.И. Аканова, В.Н. Темников // Агрохимический вестник. – 2008. – № 6. – С. 28–30.

281. Шильников И.А. Известкование почв / И.А. Шильников, Л.А. Лебедева. – Известкование почв. – М.: Агропромиздат, 1987. – 171 с.

282. Шляпин П.Н. Основные результаты и перспективы исследования азотного питания сахарной свеклы методом стабильных изотопов / П.Н. Шляпин, В.М. Бондаренко // Удобрения и продуктивность сахарной свеклы: сборник научных трудов. – Киев, 1989. – С. 7–8.

283. Шпаар Д. Сахарная свекла / Д.Шпаар, Д. Дрегер, А. Захаренко [и др.]. – Минск: ЧУП «Орех», 2012. – 326 с.

284. Шустикова Е.П. Изменение калийного режима чернозема обыкновенного под влиянием систематического внесения минеральных удобрений / Е.П. Шустикова, Н.Н. Шаповалова // Агрохимический вестник. – 2012. – № 2. – С. 5–7.

285. Щербаков А.П. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ / А.П. Щербаков, И.Л. Рудай. – М.: Колос, 1983. – 189

с.

286. Эжеринскас В.П. Исследование миграции кальция в известкованных почвах Западной части Литовской ССР: автореф. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В.П. Эжеринскас. – Каунас, 1975. – 33 с.

287. Ягодин Б.А. Основы агрономии / Б.А. Ягодин, Н.Н. Третьяков. – М.: Академия, 1998. – 359 с.

288. Якименко В.Н. Действие и последствие калийных удобрений в Западной Сибири / В.Н. Якименко, Т.В. Нечаева // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции. – Москва, Белгород. – 2016. – Ч. I. – С. 330–331.

289. Якименко В.Н. Длительность последствия калийных удобрений на урожайность картофеля и калийное состояние почвы / В.Н. Якименко // Плодородие. – 2015. – № 2. – С. 11–13.

290. Якименко В.Н. Изменение содержания форм калия в почве при последствии калийных удобрений / В.Н. Якименко // Отражение био-, гео-, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. – 2015. – С. 297–300.

291. Якименко В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах / В.Н. Якименко // Агрохимия. – 2007. – № 3. – С. 8–11.

292. Якименко В.Н. К вопросу оценки калийного состояния почв агроценозов / В.Н. Якименко // Плодородие. – 2009. – № 4. – С. 8–10.

293. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири / В.Н. Якименко. – Новосибирск: СО РАН, 2003. – 231 с.

294. Якименко В.Н. Фиксация калия и аммония почвой агроценозов / В.Н. Якименко / Агрохимия. – 2011. – № 8. – С. 3–7.

295. Якименко В.Н. Эффективность регулирования режима калия в

агроценозах / В.Н. Якименко // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 2. – С. 3–6.

296. Янова Г.Н. Влияние органических и минеральных удобрений на продуктивность сахарной свеклы / Г.Н. Янова // Агрохимия. – 1975. – № 9. – С. 83–87.

297. Beckett P.H.T. Potassium – calcium exchange equilibria in soils: the location of non-specific (Capon) and specific exchange sites / P.H.T. Beckett, M.N.M. Nafagy // Journal of Soil Science. – 1967. – V. 24. – № 12. – P. 263–281.

298. Beckett P.H.T. Studies on soil potassium / P.H.T. Beckett // Journal of Soil Science. – 1964. – V. 15. – № 1. – P. 1–23.

299. Curtin D. Lime-induced changes in indices of soil phosphate availability / D. Curtin, J.K. Syers // Soil Science Society of America Journal. – 2001. – V. 5. – Is. 1. – P. 147–152.

300. De Nobili M. K-uptake from subsoil / M. De Nobili, L.V. Antisari, P. Sequi // Proc. 22nd IPI Coll. Soligorsk, USSR, 1990. – P. 133–144.

301. Gasser J.K.R. An assessment of the importance of some factors causing losses of lime from agricultural soils / J.K.R. Gasser // Experimental Husbandry. – 1974. – V. 25. – P. 6–95.

302. Hannay Y.Y. Potassium nutrition of soybean / Y.Y. Hannay, J.W. Johnson // Potassium in agriculture. – ASA. Madison, Wis., USA, 1985. – P. 754–764.

303. Horn D. Bedarfsgerechte düngung im qualitätsrübenanbau / D. Horn, F. Fürstenfeld // Fortschritte im Zuckerrübenanbau. Südzucker AG Mannheim. – Ochsenfurt, 2001. – S. 38–45.

304. Landebout H. Nutrient balances and the need for fertilizers in arid and semiarid regions / H. Landebout // Nutrient balances and the need for potassium: International Potash Institute, 1986. – P. 9–11.

305. Mengel K. Principles of plant nutrition / K. Mengel, E.A. Kirkby // International Potash Institute. – Worblaufen Bern, 1978. – 593 p.

306. Merkes R. Produktionstechnik zu zuckerrüben im jahr 2000 –

kostensenkung, umweltschonung, nachhaltigkeit / R. Merkes, M. Kröhl, H. muggele, M. Sauer // Zuckerindustri. – 2001. – № 126. – S. 804–811.

307. Mutscher H. Measurement and assessment of soil potassium / H. Mutscher // IPI Research Topic. Int. Potash Inst., Basel, 1995. – 102 p.

308. Naidu R. Effect of liming on phosphate sorption by acid soils / R. Naidu, J.K. Syers, R.W. Tillman, J.H. Kirkman // European Journal of Soil Science. – 1990. – V. 41. – Is. 1. – P. 165–175.

309. Rhizoctonia. Herkunft, verbreitung. Bedeutung / KWS-Ratgeber. – Einbeck, 2003. – 35 s.

310. Röstel H.-J. Zuckerrübe / H.-J. Röstel. – Eugen ulmer stuttgart, 1999. – S. 319–355.

311. Schofield R.K. Can a precise meaning be given to «avail – able» soil phosphate / R.K. Schofield // Soil and fertilizers.– 1975. – № 15. – P. 373–375.

312. Scott A.D. Cemical extraction of potassium from soils and micacrous minerals witch solution containing sodium tetraphenylborn / A.D. Scott, N.K. Hunziker, J.J. Hanway // Soil science society of America. – 1960. – № 3. – P. 353–358.

313. Scott A.D. Realease of nonexchangeable soil, potassium durung short periods of cropping and sodium tetraphenylbornex-fraction / A.D. Scott, L.F. Welch // Soil science society of America. – 1962. – № 2. – P. 115–120.

314. Sturn H. Gezielter düngen. Integrient. Wirtschaftlich. Umweltgerecht / H. Sturn, A. Büchner, W. Zerrula. DLG-Verlag Frankfurt, Main, 1994. – 471 s.

315. Wichman H. Phosphor – Verteilung in Boden bei Dongungmit Superphosphat und Thomasphosphat / H. Wichman // Zeitschrift fur pflanzennoherung, Dongung, Bodenrunde. – 1966. – № 2. – S. 114–123.

316. Winner C. Wie kann die erzeugung von qualitätsrüben gefördert warden? / C. Winner // Zuckerindustrie. – 1978. – № 103. – S. 119–128.

317. Wolling J. Ansätze für eine teilflächenspezifische N–düngung bei zuckerrüben / J. Wolling, S. Reusch // Zuckerrübe. – 2000. – № 49. – S. 30–33.

318. Woodruff C.M. Testing soil for K / C.M. Woodruff, J.L. Mcintosh //

Proceedings of the 7-th International Congress Soil Science. – 1961. – V. 3. – P. 80–85.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Содержание гумуса в черноземе выщелоченном по годам исследований, %

Вариант	Слой, см	2012 г.	2013 г.	2014 г.	Среднее за 2012–2014 гг.
1. Контроль	0–20	3,91	3,75	3,80	3,82
	20–40	3,63	3,51	3,60	3,58
	0–40	3,77	3,63	3,70	3,70
2. Фон – 40 т/га навоза (последействие)	0–20	4,23	4,12	3,99	4,11
	20–40	3,92	3,83	3,77	3,84
	0–40	4,08	3,98	3,88	3,98
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,30	4,17	4,13	4,20
	20–40	4,14	4,04	3,87	4,02
	0–40	4,22	4,11	4,00	4,11
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	4,30	4,25	4,20	4,25
	20–40	4,17	4,06	4,02	4,08
	0–40	4,24	4,16	4,11	4,17
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последействие)	0–20	4,37	4,29	4,27	4,31
	20–40	4,24	4,18	4,20	4,21
	0–40	4,31	4,24	4,24	4,26
13. Фон + дефекат (последействие)	0–20	4,26	4,22	4,16	4,21
	20–40	4,14	4,04	4,10	4,09
	0–40	4,20	4,13	4,13	4,15
15. Дефекат (последействие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,30	4,19	4,26	4,23
	20–40	4,13	3,98	4,00	4,04
	0–40	4,22	4,09	4,13	4,14

Приложение Б. Динамика обменной кислотности (pH_{KCl}) чернозема
выщелоченного по годам исследований

Вариант	Слой, см	2012 г.		2013 г.		2014 г.	
		Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	5,2	5,0	5,2	5,1	5,1	5,0
	20–40	5,2	5,0	5,3	5,3	5,2	5,1
	0–40	5,2	5,0	5,3	5,2	5,2	5,1
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	5,3	5,1	5,1	5,1	5,2	5,1
	20–40	5,3	5,1	5,3	5,1	5,3	5,3
	0–40	5,3	5,1	5,2	5,1	5,3	5,2
3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$	0–20	4,9	4,6	4,9	4,8	4,8	4,7
	20–40	5,0	4,7	5,0	4,9	5,0	4,8
	0–40	5,0	4,7	5,0	4,9	4,9	4,8
5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$	0–20	4,6	4,4	4,9	4,8	4,5	4,3
	20–40	4,8	4,7	4,9	4,8	4,7	4,6
	0–40	4,7	4,6	4,9	4,8	4,6	4,5
12. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последствие)	0–20	5,7	5,6	5,4	5,2	5,6	5,3
	20–40	5,6	5,4	5,4	5,1	5,7	5,6
	0–40	5,7	5,5	5,4	5,2	5,7	5,5
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	6,3	6,2	5,8	5,4	6,1	5,7
	20–40	6,1	5,8	5,7	5,2	6,0	5,7
	0–40	6,2	6,0	5,8	5,3	6,1	5,7
15. Дефекат (последствие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$	0–20	5,5	5,4	5,5	5,3	5,6	5,6
	20–40	5,5	5,3	5,5	5,2	5,4	5,3
	0–40	5,5	5,4	5,5	5,3	5,5	5,5

Приложение В. Динамика гидролитический кислотности (Нг)
чернозема выщелоченного по годам исследований, мг–экв./100 г почвы

Вариант	Слой, см	2012 г.		2013 г.		2014 г.	
		Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	3,7	4,1	3,9	4,1	3,8	4,1
	20–40	3,6	4,2	3,5	3,6	3,6	3,9
	0–40	3,7	4,2	3,7	3,9	3,7	4,0
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	3,3	4,0	3,6	4,0	3,7	4,1
	20–40	3,2	3,7	3,3	3,8	3,7	3,9
	0–40	3,3	3,9	3,5	3,9	3,7	4,0
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,2	4,8	4,8	5,1	4,6	4,9
	20–40	4,1	4,5	3,9	4,9	4,0	4,5
	0–40	4,2	4,7	4,4	5,0	4,3	4,7
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	5,0	5,5	4,9	5,1	5,0	5,5
	20–40	4,8	5,2	4,4	5,0	4,5	5,1
	0–40	4,9	5,4	4,7	5,2	4,8	5,3
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	0–20	2,5	2,6	2,7	3,5	2,4	3,0
	20–40	2,7	3,3	2,9	3,4	2,9	3,5
	0–40	2,6	3,0	2,8	3,5	2,7	3,3
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	1,2	1,9	2,1	2,9	1,8	2,4
	20–40	1,3	2,2	2,6	3,3	2,2	2,6
	0–40	1,3	2,1	2,4	3,1	2,0	2,5
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	2,1	3,0	2,6	3,7	2,5	3,0
	20–40	2,9	3,3	2,8	3,8	3,1	3,7
	0–40	2,5	3,2	2,7	3,8	2,8	3,4

Приложение Г. Динамика суммы кальция и магния (Ca+Mg) в черноземе выщелоченном по годам исследований, мг–экв./100 г почвы

Вариант	Слой, см	2012 г.		2013 г.		2014 г.	
		Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	25,9	25,6	30,5	30,3	27,7	27,1
	20–40	26,4	26,2	30,6	30,5	28,0	27,3
	0–40	26,2	25,9	30,6	30,4	27,9	27,2
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	26,3	26,0	30,3	29,5	28,4	28,4
	20–40	26,6	26,2	30,5	31,0	29,1	29,1
	0–40	26,5	26,1	30,4	30,3	28,8	28,8
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	25,7	24,9	28,5	27,7	27,5	26,5
	20–40	26,5	25,2	29,4	28,7	28,2	27,8
	0–40	26,1	25,1	29,0	28,2	27,9	27,2
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	25,3	24,4	27,9	27,0	27,0	26,0
	20–40	26,8	25,9	28,7	27,7	27,7	26,2
	0–40	26,1	25,2	28,3	27,4	27,4	26,1
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	0–20	30,8	29,6	32,1	30,9	32,4	30,5
	20–40	30,6	30,1	31,6	31,3	31,8	30,5
	0–40	30,7	29,9	31,9	31,1	32,1	30,5
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	32,0	30,8	32,7	30,7	32,4	31,0
	20–40	31,6	31,2	32,2	32,3	32,1	30,9
	0–40	31,8	31,0	32,5	31,5	32,3	31,0
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	30,8	30,1	31,7	30,3	30,6	29,4
	20–40	30,2	29,7	31,6	31,7	29,9	29,0
	0–40	30,5	29,9	31,7	31,0	30,3	29,2

Приложение Д. Динамика емкости поглощения (Т) чернозема
выщелоченного по годам исследований, мг–экв./100 г почвы

Вариант	Слой, см	2012 г.		2013 г.		2014 г.	
		Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	29,6	29,7	34,4	34,4	31,5	31,2
	20–40	30,0	30,4	34,1	34,1	31,6	31,2
	0–40	29,9	30,1	34,3	34,3	31,6	31,2
2. Фон – 40 т/га навоза (последействие)	0–20	29,6	30,0	33,9	33,5	32,1	32,5
	20–40	29,8	29,9	33,8	34,8	32,8	33,0
	0–40	29,8	30,0	33,9	34,2	32,5	32,8
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	29,9	29,7	33,3	32,8	32,1	31,4
	20–40	30,6	29,7	33,3	33,6	32,2	32,3
	0–40	30,3	29,8	33,4	33,2	32,2	31,9
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	30,3	29,9	32,8	32,1	32,0	31,5
	20–40	31,6	31,1	33,1	32,7	32,2	31,3
	0–40	31,0	30,6	33,0	32,6	32,2	31,4
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последействие)	0–20	33,3	32,2	34,8	34,4	34,8	33,5
	20–40	33,3	33,4	34,5	34,7	34,7	34,0
	0–40	33,3	32,9	34,7	34,6	34,8	33,8
13. Фон + дефекат (последействие)	0–20	33,2	32,7	34,8	33,6	34,2	33,4
	20–40	32,9	33,4	34,8	35,6	34,3	33,5
	0–40	33,1	33,1	34,9	34,6	34,3	33,5
15. Дефекат (последействие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	32,9	33,1	34,3	34,0	33,1	32,4
	20–40	33,1	33,0	34,4	35,5	33,0	32,7
	0–40	33,0	33,1	34,4	34,8	33,1	32,6

Приложение Е. Динамика степени насыщенности основаниями (V)
чернозема выщелоченного по годам исследований, %

Вариант	Слой, см	2012 г.		2013 г.		2014 г.	
		Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	87,5	86,2	88,7	88,1	87,9	86,9
	20–40	88,0	86,2	89,7	89,4	88,6	87,5
	0–40	87,6	86,0	89,2	88,6	88,3	87,2
2. Фон – 40 т/га навоза (последействие)	0–20	88,9	86,7	89,4	88,1	88,5	87,4
	20–40	89,3	87,6	90,2	89,1	88,7	88,2
	0–40	88,9	87,0	89,7	88,6	88,6	87,8
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	86,0	83,8	85,6	84,5	85,7	84,4
	20–40	86,6	84,8	88,3	85,4	87,6	86,1
	0–40	86,1	84,2	86,8	84,9	86,6	85,3
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	83,5	81,6	85,1	84,1	84,4	82,5
	20–40	84,8	83,3	86,7	84,7	86,0	83,7
	0–40	84,2	82,4	85,8	84,0	85,1	83,1
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последействие)	0–20	92,5	91,9	92,2	89,8	93,1	91,0
	20–40	91,9	90,1	91,6	90,2	91,6	89,7
	0–40	92,2	90,9	91,9	89,9	92,2	90,2
13. Фон + дефекат (последействие)	0–20	96,4	94,2	94,0	91,4	94,7	92,8
	20–40	96,0	93,4	92,5	90,7	93,6	92,2
	0–40	96,1	93,7	93,1	91,0	94,2	92,5
15. Дефекат (последействие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	93,6	90,9	92,4	89,1	92,4	90,7
	20–40	91,2	90,0	91,9	89,3	90,6	88,7
	0–40	92,4	90,3	92,2	89,1	91,5	89,6

Таблица 1. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в черноземе выщелоченном перед посевом сахарной свеклы, 2012 г.

Вариант	Слой, см	Содержание азота, мг/кг почвы		
		N-NO_3^-	N-NH_4^+	$\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$
1. Контроль	0–20	9,11	2,51	11,62
	20–40	8,84	2,03	10,87
	40–60	7,82	1,90	9,72
	60–80	3,79	1,33	5,12
	80–100	1,38	1,02	2,40
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	10,70	3,11	13,81
	20–40	9,07	2,63	11,70
	40–60	7,27	2,48	9,75
	60–80	3,78	2,35	6,13
	80–100	2,68	1,41	4,09
3. Фон + $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$	0–20	22,97	5,00	27,97
	20–40	17,00	3,77	20,77
	40–60	10,96	3,51	14,47
	60–80	11,94	2,95	14,89
	80–100	8,16	2,17	10,33
5. Фон + $\text{N}_{240}\text{P}_{240}\text{K}_{240}$	0–20	32,94	5,23	38,17
	20–40	27,05	4,39	31,44
	40–60	17,90	3,54	21,44
	60–80	14,22	3,00	17,22
	80–100	8,89	2,01	10,90
12. Фон + $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ + дефект (последствие)	0–20	28,73	5,17	33,90
	20–40	27,19	3,69	30,88
	40–60	17,30	3,45	20,75
	60–80	14,13	2,70	16,83
	80–100	7,84	1,80	9,64
13. Фон + дефект (последствие)	0–20	11,71	3,11	14,82
	20–40	10,01	2,77	12,78
	40–60	11,61	2,60	14,21
	60–80	5,02	2,40	7,42
	80–100	3,70	1,66	5,36
15. Дефект (последствие) + $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$	0–20	26,20	4,66	30,86
	20–40	21,24	3,30	24,54
	40–60	15,30	3,20	18,50
	60–80	14,20	2,41	16,61
	80–100	8,45	1,90	10,35

Таблица 2. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в черноземе выщелоченном в середине вегетации сахарной свеклы, 2012 г.

Вариант	Слой, см	Содержание азота, мг/кг почвы		
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁺ N-NH ₄ ⁺
1. Контроль	0–20	4,00	4,27	8,27
	20–40	3,90	2,90	6,80
	40–60	3,32	2,71	6,03
	60–80	2,70	2,31	5,01
	80–100	2,38	2,39	4,77
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	3,84	4,86	8,70
	20–40	3,11	4,09	7,20
	40–60	2,00	3,11	5,11
	60–80	1,92	3,00	4,92
	80–100	1,90	2,90	4,80
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	5,88	4,83	10,71
	20–40	7,92	4,38	12,30
	40–60	4,80	3,85	8,65
	60–80	3,90	3,24	7,14
	80–100	4,16	2,91	7,07
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	7,80	6,04	13,84
	20–40	8,88	5,10	13,98
	40–60	6,35	5,05	11,40
	60–80	5,80	4,36	10,16
	80–100	3,85	4,03	7,88
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефект (последствие)	0–20	6,03	5,50	11,53
	20–40	8,02	4,60	12,62
	40–60	4,61	4,00	8,61
	60–80	4,33	3,51	7,84
	80–100	4,28	3,84	8,12
13. Фон + дефект (последствие)	0–20	4,10	4,96	9,06
	20–40	3,25	4,27	7,52
	40–60	2,01	3,46	5,47
	60–80	1,93	3,19	5,12
	80–100	1,99	3,02	5,01
15. Дефект (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	6,06	5,08	11,14
	20–40	8,10	4,36	12,46
	40–60	5,00	3,70	8,70
	60–80	4,26	3,20	7,46
	80–100	4,34	3,10	7,44

Таблица 3. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в черноземе выщелоченном перед уборкой урожая сахарной свеклы, 2012 г.

Вариант	Слой, см	Содержание азота, мг/кг почвы		
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ + N-NH ₄ ⁺
1. Контроль	0–20	2,21	4,11	6,32
	20–40	2,01	2,77	4,78
	40–60	2,13	2,61	4,74
	60–80	2,50	2,30	4,80
	80–100	3,68	1,89	5,57
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	2,46	4,24	6,70
	20–40	2,35	3,36	5,71
	40–60	2,51	3,02	5,53
	60–80	3,00	2,90	5,90
	80–100	3,31	1,33	4,64
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,25	4,67	8,92
	20–40	4,21	4,00	8,21
	40–60	4,12	3,36	7,48
	60–80	4,39	2,99	7,38
	80–100	4,43	2,10	6,53
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	4,20	5,00	9,20
	20–40	4,10	4,20	8,30
	40–60	4,15	3,29	7,44
	60–80	4,19	2,90	7,09
	80–100	4,40	2,85	7,25
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	0–20	4,00	4,70	8,70
	20–40	4,18	3,98	8,16
	40–60	4,20	3,41	7,61
	60–80	4,38	2,96	7,34
	80–100	4,45	2,37	6,82
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	2,36	4,36	6,72
	20–40	2,50	3,50	6,00
	40–60	2,41	3,09	5,50
	60–80	2,60	2,85	5,45
	80–100	2,66	1,47	4,13
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,00	4,55	8,55
	20–40	3,00	3,88	6,88
	40–60	3,01	3,40	6,41
	60–80	4,18	2,80	6,98
	80–100	4,20	1,96	6,16

Таблица 4. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в черноземе выщелоченном перед посевом сахарной свеклы, 2013 г.

Вариант	Слой, см	Содержание азота, мг/кг почвы		
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁺ N-NH ₄ ⁺
1. Контроль	0–20	10,15	1,95	12,10
	20–40	9,26	1,80	11,06
	40–60	8,13	1,66	9,79
	60–80	4,22	1,17	5,39
	80–100	1,63	0,84	2,47
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	11,00	2,81	13,81
	20–40	11,05	2,41	13,46
	40–60	9,13	2,33	11,46
	60–80	4,76	2,21	6,97
	80–100	3,86	1,33	5,19
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	24,11	4,77	28,88
	20–40	18,16	3,12	21,28
	40–60	12,64	3,06	15,70
	60–80	12,96	2,11	15,07
	80–100	7,93	1,69	9,62
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	35,56	4,76	40,32
	20–40	28,03	4,00	32,03
	40–60	17,11	3,27	20,38
	60–80	11,30	2,66	13,96
	80–100	8,12	1,80	9,92
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефект (последствие)	0–20	27,47	4,70	32,17
	20–40	26,95	3,21	30,16
	40–60	16,00	3,20	19,20
	60–80	13,35	2,40	15,75
	80–100	5,90	1,96	7,86
13. Фон + дефект (последствие)	0–20	11,00	2,94	13,94
	20–40	8,20	2,51	10,71
	40–60	8,42	2,37	10,79
	60–80	4,46	2,25	6,71
	80–100	3,69	1,30	4,99
15. Дефект (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	24,70	4,44	29,14
	20–40	19,94	3,09	23,03
	40–60	14,02	2,91	16,93
	60–80	12,66	2,10	14,76
	80–100	7,03	1,62	8,65

Таблица 5. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в черноземе выщелоченном в середине вегетации сахарной свеклы, 2013 г.

Вариант	Слой, см	Содержание азота, мг/кг почвы		
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ + N-NH ₄ ⁺
1. Контроль	0–20	3,02	4,00	7,02
	20–40	2,94	3,11	6,05
	40–60	2,57	2,60	5,17
	60–80	1,40	2,58	3,98
	80–100	1,53	2,10	3,63
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	2,90	4,71	7,61
	20–40	2,41	4,25	6,66
	40–60	1,60	3,33	4,93
	60–80	1,53	3,28	4,81
	80–100	1,55	2,74	4,29
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,80	5,20	10,00
	20–40	6,91	4,10	11,01
	40–60	3,60	3,52	7,12
	60–80	3,62	3,00	6,62
	80–100	3,80	3,00	6,80
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	6,70	6,22	12,92
	20–40	6,60	5,40	12,00
	40–60	5,90	5,32	11,22
	60–80	4,40	4,76	9,16
	80–100	3,05	4,31	7,36
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	0–20	5,70	5,22	10,92
	20–40	7,60	4,28	11,88
	40–60	4,11	3,80	7,91
	60–80	3,86	3,09	6,95
	80–100	3,84	3,00	6,84
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	3,14	4,80	7,94
	20–40	2,24	4,15	6,39
	40–60	1,44	3,15	4,59
	60–80	1,43	3,00	4,43
	80–100	1,51	2,85	4,36
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	5,34	4,83	10,17
	20–40	7,42	4,17	11,59
	40–60	3,58	3,44	7,02
	60–80	3,12	3,05	6,17
	80–100	3,12	3,07	6,19

Таблица 6. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в черноземе выщелоченном перед уборкой урожая сахарной свеклы, 2013 г.

Вариант	Слой, см	Содержание азота, мг/кг почвы		
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁺ N-NH ₄ ⁺
1. Контроль	0–20	1,55	3,50	5,05
	20–40	1,50	2,41	3,91
	40–60	1,95	2,25	4,20
	60–80	2,20	2,01	4,21
	80–100	3,15	1,70	4,85
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	2,10	3,73	5,83
	20–40	2,21	3,10	5,31
	40–60	2,37	2,74	5,11
	60–80	2,50	2,63	5,13
	80–100	3,11	1,11	4,22
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	3,90	4,21	8,11
	20–40	3,80	3,67	7,47
	40–60	4,00	3,05	7,05
	60–80	4,21	2,70	6,91
	80–100	4,17	2,00	6,17
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	4,00	4,50	8,50
	20–40	4,16	3,81	7,97
	40–60	4,52	3,02	7,54
	60–80	4,60	2,85	7,45
	80–100	4,61	2,71	7,32
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефект (последствие)	0–20	4,11	4,43	8,54
	20–40	4,47	3,77	8,24
	40–60	4,50	3,00	7,50
	60–80	4,72	2,80	7,52
	80–100	4,85	2,00	6,85
13. Фон + дефект (последствие)	0–20	2,48	3,91	6,39
	20–40	2,50	3,22	5,72
	40–60	2,59	2,94	5,53
	60–80	2,89	2,83	5,72
	80–100	3,02	1,46	4,48
15. Дефект (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,11	4,24	8,35
	20–40	4,12	3,52	7,64
	40–60	4,10	2,93	7,03
	60–80	4,46	2,66	7,12
	80–100	4,60	1,91	6,51

Таблица 7. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в черноземе выщелоченном перед посевом сахарной свеклы, 2014 г.

Вариант	Слой, см	Содержание азота, мг/кг почвы		
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁺ N-NH ₄ ⁺
1. Контроль	0–20	9,43	1,81	11,24
	20–40	8,99	1,75	10,74
	40–60	7,93	1,81	9,74
	60–80	3,93	1,25	5,18
	80–100	1,52	1,11	2,63
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	10,66	2,90	13,56
	20–40	9,23	2,46	11,69
	40–60	8,06	2,42	10,48
	60–80	4,20	2,19	6,39
	80–100	3,21	1,31	4,52
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	23,51	4,63	28,14
	20–40	17,14	2,95	20,09
	40–60	12,22	2,88	15,10
	60–80	12,55	1,96	14,51
	80–100	8,06	1,57	9,63
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	34,21	4,68	38,89
	20–40	26,93	4,12	31,05
	40–60	16,74	3,18	19,92
	60–80	13,91	2,65	16,56
	80–100	7,76	2,16	9,92
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефект (последствие)	0–20	27,01	4,62	31,63
	20–40	26,81	3,39	30,20
	40–60	16,07	3,04	19,11
	60–80	13,14	2,28	15,42
	80–100	6,97	1,88	8,85
13. Фон + дефект (последствие)	0–20	10,74	3,07	13,81
	20–40	7,87	2,67	10,54
	40–60	10,06	2,41	12,47
	60–80	4,63	2,28	6,91
	80–100	3,33	1,45	4,78
15. Дефект (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	25,15	4,64	29,79
	20–40	20,50	3,18	23,68
	40–60	14,20	2,83	17,03
	60–80	13,12	2,30	15,42
	80–100	6,51	1,73	8,24

Таблица 8. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в черноземе выщелоченном в середине вегетации сахарной свеклы, 2014 г.

Вариант	Слой, см	Содержание азота, мг/кг почвы		
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁺ N-NH ₄ ⁺
1. Контроль	0–20	3,28	4,00	7,28
	20–40	3,10	2,93	6,03
	40–60	2,69	2,61	5,30
	60–80	2,00	2,46	4,46
	80–100	1,70	2,35	4,05
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	3,21	4,62	7,83
	20–40	2,55	4,02	6,57
	40–60	1,48	3,04	4,52
	60–80	1,41	2,93	4,34
	80–100	1,54	2,97	4,51
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	5,02	4,97	9,99
	20–40	7,35	4,30	11,65
	40–60	3,73	3,52	7,25
	60–80	3,30	3,09	6,39
	80–100	3,55	3,24	6,79
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	7,06	6,22	13,28
	20–40	6,91	5,31	12,22
	40–60	5,57	5,14	10,71
	60–80	4,33	4,47	8,80
	80–100	2,80	4,11	6,91
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефект (последствие)	0–20	5,53	5,57	11,10
	20–40	7,00	4,32	11,32
	40–60	3,70	3,99	7,69
	60–80	3,56	3,30	6,86
	80–100	3,65	3,96	7,61
13. Фон + дефект (последствие)	0–20	3,05	4,85	7,90
	20–40	2,63	4,12	6,75
	40–60	1,80	3,29	5,09
	60–80	1,60	3,08	4,68
	80–100	1,60	3,07	4,67
15. Дефект (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,98	4,79	9,77
	20–40	6,82	4,19	11,01
	40–60	3,84	3,39	7,23
	60–80	3,80	3,02	6,82
	80–100	4,21	3,22	7,43

Таблица 9. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в черноземе выщелоченном перед уборкой урожая сахарной свеклы, 2014 г.

Вариант	Слой, см	Содержание азота, мг/кг почвы		
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ + N-NH ₄ ⁺
1. Контроль	0–20	1,34	3,76	5,10
	20–40	1,29	2,71	4,00
	40–60	1,92	2,34	4,26
	60–80	2,38	2,05	4,43
	80–100	3,07	1,75	4,82
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	2,04	3,94	5,98
	20–40	2,34	3,20	5,54
	40–60	2,32	2,82	5,14
	60–80	2,90	2,78	5,68
	80–100	3,18	1,37	4,55
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	3,82	4,62	8,44
	20–40	3,99	3,73	7,72
	40–60	4,15	3,25	7,40
	60–80	4,30	2,92	7,22
	80–100	4,45	2,08	6,53
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	4,25	4,81	9,06
	20–40	4,28	4,08	8,36
	40–60	4,23	3,20	7,43
	60–80	4,11	2,98	7,09
	80–100	4,31	2,96	7,27
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	0–20	4,19	4,64	8,83
	20–40	4,25	3,92	8,17
	40–60	4,20	3,19	7,39
	60–80	4,55	2,91	7,46
	80–100	4,65	2,20	6,85
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	2,15	4,00	6,15
	20–40	2,26	3,45	5,71
	40–60	2,62	3,00	5,62
	60–80	2,70	2,87	5,57
	80–100	2,93	1,42	4,35
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,10	4,29	8,39
	20–40	3,08	3,67	6,75
	40–60	3,09	3,00	6,09
	60–80	4,14	2,76	6,90
	80–100	3,98	1,92	5,90

Приложение 3. Динамика содержания подвижного фосфора в
черноземе выщелоченном по годам исследований, мг/кг почвы

Вариант	Слой, см	2012 г.		2013 г.		2014 г.	
		Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	84,1	53,3	93,5	91,9	90,7	74,2
	20–40	69,3	49,2	80,6	83,9	84,9	70,6
	0–40	76,7	51,3	87,1	87,9	87,8	72,4
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	86,1	73,8	125,3	110,7	110,1	93,5
	20–40	69,7	57,4	121,1	85,2	100,5	75,1
	0–40	77,9	65,6	123,2	98,0	105,3	84,3
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	108,7	102,5	187,8	168,7	168,3	137,5
	20–40	90,2	86,1	141,9	123,2	127,9	114,7
	0–40	99,5	94,3	164,9	146,0	148,1	126,1
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	135,3	82,0	268,0	182,9	218,8	141,6
	20–40	114,8	82,0	196,2	139,4	165,5	117,6
	0–40	125,1	82,0	232,1	161,2	192,2	129,6
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	0–20	114,8	49,2	199,9	173,6	164,4	114,1
	20–40	86,1	41,0	155,3	131,9	123,8	86,5
	0–40	100,5	45,1	177,6	152,8	144,1	100,3
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	92,7	62,3	134,9	129,9	120,5	101,6
	20–40	88,5	47,5	123,6	112,7	101,9	89,4
	0–40	90,6	54,9	129,3	121,3	111,2	95,5
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	103,0	49,8	182,9	169,2	150,3	119,4
	20–40	90,3	47,5	157,8	134,5	129,7	92,7
	0–40	96,7	48,7	170,4	151,9	140,0	106,1

**Приложение И. Динамика актуальной кислотности (pH_{H_2O}) чернозема
выщелоченного по годам исследований**

Вариант	Слой, см	2012 г.		2013 г.		2014 г.	
		Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	5,82	5,60	5,84	5,60	5,78	5,58
	20–40	5,86	5,65	5,93	5,90	5,85	5,76
	0–40	5,84	5,63	5,89	5,75	5,82	5,67
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	5,93	5,72	5,80	5,78	5,82	5,71
	20–40	5,96	5,78	5,95	5,82	5,94	5,80
	0–40	5,95	5,75	5,88	5,80	5,88	5,76
3. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$	0–20	5,60	5,44	5,75	5,51	5,63	5,45
	20–40	5,65	5,49	5,81	5,62	5,88	5,53
	0–40	5,63	5,47	5,78	5,57	5,76	5,49
5. Фон + $N_{240}P_{240}K_{240}$	0–20	5,44	5,15	5,47	5,20	5,41	5,15
	20–40	5,50	5,28	5,54	5,23	5,47	5,23
	0–40	5,47	5,22	5,51	5,22	5,44	5,19
12. Фон + $N_{120}P_{120}K_{120}$ + дефекат (последствие)	0–20	6,21	6,16	6,15	5,96	6,10	6,04
	20–40	6,12	6,00	6,03	6,04	6,08	6,00
	0–40	6,17	6,08	6,09	6,00	6,09	6,02
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	6,68	6,42	6,20	6,00	6,40	6,21
	20–40	6,53	6,18	6,12	5,98	6,29	6,08
	0–40	6,61	6,30	6,16	5,99	6,35	6,15
15. Дефекат (последствие) + $N_{120}P_{120}K_{120}$	0–20	6,25	5,99	6,26	5,99	6,20	6,04
	20–40	6,14	5,93	6,15	5,97	6,10	6,00
	0–40	6,20	5,96	6,21	5,98	6,15	6,02

Приложение К. Динамика величины рСа в черноземе выщелоченном по годам исследований

Вариант	Слой, см	2012 г.		2013 г.		2014 г.	
		Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	3,26	3,31	3,18	3,25	3,11	3,23
	20–40	3,18	3,27	3,04	3,13	3,09	3,19
	0–40	3,22	3,29	3,11	3,19	3,10	3,21
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	3,08	3,15	3,08	3,18	3,00	3,17
	20–40	3,05	3,11	3,07	3,00	2,95	3,02
	0–40	3,07	3,13	3,08	3,09	2,98	3,10
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	3,12	3,19	3,19	3,30	3,21	3,26
	20–40	3,10	3,13	3,15	3,07	3,01	3,17
	0–40	3,11	3,16	3,17	3,19	3,11	3,22
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	3,14	3,21	3,24	3,28	3,35	3,40
	20–40	3,07	3,19	3,15	3,25	3,29	3,34
	0–40	3,11	3,20	3,20	3,27	3,32	3,37
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	0–20	2,43	2,50	2,83	2,96	2,64	2,76
	20–40	2,49	2,56	2,88	2,80	2,70	2,80
	0–40	2,46	2,53	2,86	2,88	2,67	2,78
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	2,26	2,40	2,70	2,89	2,58	2,70
	20–40	2,39	2,50	2,81	2,79	2,68	2,73
	0–40	2,33	2,45	2,76	2,84	2,63	2,72
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	2,49	2,56	2,81	2,99	2,60	2,74
	20–40	2,54	2,65	2,83	2,83	2,69	2,77
	0–40	2,52	2,61	2,82	2,91	2,65	2,76

Приложение Л. Динамика известкового потенциала чернозема
выщелоченного по годам исследований

Вариант	Слой, см	2012 г.		2013 г.		2014 г.	
		Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	4,19	3,95	4,25	3,98	4,23	3,97
	20–40	4,27	4,02	4,41	4,34	4,31	4,17
	0–40	4,23	3,99	4,34	4,16	4,27	4,07
2. Фон – 40 т/га навоза (последействие)	0–20	4,39	4,15	4,26	4,19	4,32	4,13
	20–40	4,44	4,23	4,42	4,32	4,47	4,29
	0–40	4,42	4,19	4,34	4,26	4,39	4,21
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	4,04	3,85	4,16	3,86	4,03	3,82
	20–40	4,10	3,93	4,24	4,09	4,38	3,95
	0–40	4,08	3,89	4,20	3,98	4,21	3,88
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	3,87	3,55	3,85	3,56	3,74	3,45
	20–40	3,97	3,69	3,97	3,61	3,83	3,56
	0–40	3,92	3,62	3,91	3,59	3,78	3,51
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последействие)	0–20	5,00	4,91	4,74	4,48	4,78	4,66
	20–40	4,88	4,72	4,59	4,64	4,73	4,60
	0–40	4,94	4,82	4,66	4,56	4,76	4,63
13. Фон + дефекат (последействие)	0–20	5,55	5,22	4,85	4,56	5,11	4,86
	20–40	5,34	4,93	4,72	4,59	4,95	4,72
	0–40	5,45	5,08	4,78	4,57	5,04	4,79
15. Дефекат (последействие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	5,01	4,71	4,86	4,50	4,90	4,67
	20–40	4,87	4,61	4,74	4,56	4,76	4,62
	0–40	4,94	4,66	4,80	4,53	4,83	4,64

Приложение М. Динамика калийного потенциала чернозема
выщелоченного по годам исследований

Вариант	Слой, см	2012 г.		2013 г.		2014 г.	
		Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой	Перед посевом	Перед уборкой
1. Контроль	0–20	2,05	2,07	2,45	2,43	2,35	2,37
	20–40	2,20	2,35	2,54	2,56	2,51	2,50
	0–40	2,13	2,21	2,50	2,49	2,43	2,43
2. Фон – 40 т/га навоза (последствие)	0–20	2,02	2,12	2,29	2,42	2,09	2,15
	20–40	2,41	2,44	2,43	2,58	2,46	2,52
	0–40	2,21	2,28	2,36	2,50	2,27	2,33
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	2,00	1,96	2,04	2,06	2,04	2,03
	20–40	2,20	2,23	2,24	2,38	2,16	2,25
	0–40	2,15	2,12	2,18	2,26	2,14	2,16
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0–20	1,80	1,83	1,40	1,47	1,59	1,60
	20–40	1,90	1,94	1,57	1,62	1,64	1,64
	0–40	2,13	2,13	1,49	1,57	1,76	1,78
12. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + дефекат (последствие)	0–20	2,84	2,92	2,90	2,97	2,93	2,98
	20–40	3,17	3,26	2,92	3,08	3,04	3,10
	0–40	3,00	3,09	2,91	3,03	2,99	3,04
13. Фон + дефекат (последствие)	0–20	3,10	3,14	3,18	3,11	3,00	2,99
	20–40	3,24	3,36	3,17	3,20	3,11	3,25
	0–40	3,17	3,25	3,17	3,15	3,06	3,12
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0–20	2,84	2,90	3,00	3,01	2,98	3,00
	20–40	3,24	3,27	3,04	3,20	3,13	3,25
	0–40	3,04	3,08	3,02	3,10	3,05	3,12

Приложение Н

Таблица 1. Содержание элементов питания в основной и побочной продукции сахарной свеклы, % на абсолютно сухое вещество, 2012 г.

Вариант	Корнеплоды				Листья			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1. Контроль – без удобрений	0,43	0,18	0,47	0,08	2,10	0,38	2,23	0,46
2. 40т/га навоза (последствие) – фон	0,43	0,21	0,49	0,09	2,19	0,45	2,32	0,49
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,48	0,27	0,53	0,11	2,34	0,57	2,65	0,51
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0,56	0,29	0,62	0,10	2,81	0,98	2,93	0,50
12. Фон + дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ – КАХОП	0,44	0,25	0,50	0,15	2,45	0,52	2,52	0,55
13. Фон + дефекат (последствие)	0,40	0,22	0,40	0,18	2,11	0,41	2,45	0,58
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,44	0,25	0,48	0,17	2,35	0,51	2,51	0,54

Таблица 2. Содержание элементов питания в основной и побочной продукции сахарной свеклы, % на абсолютно сухое вещество, 2013 г.

Вариант	Корнеплоды				Листья			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1. Контроль – без удобрений	0,32	0,13	0,54	0,15	1,70	0,24	2,00	0,33
2. 40т/га навоза (последствие) – фон	0,42	0,15	0,60	0,15	1,95	0,27	2,05	0,34
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,46	0,22	0,77	0,17	2,32	0,33	2,20	0,36
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0,51	0,24	0,78	0,18	2,40	0,44	2,38	0,34
12. Фон + дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ – КАХОП	0,48	0,21	0,71	0,24	2,31	0,30	2,17	0,45
13. Фон + дефекат (последствие)	0,44	0,16	0,57	0,25	1,99	0,25	2,00	0,52
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,49	0,22	0,70	0,24	2,34	0,31	2,13	0,47

Таблица 3. Содержание элементов питания в основной и побочной продукции сахарной свеклы, % на абсолютно сухое вещество, 2014 г.

Вариант	Корнеплоды				Листья			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1. Контроль – без удобрений	0,47	0,12	0,56	0,10	2,60	0,33	2,80	0,42
2. 40т/га навоза (последствие) – фон	0,59	0,15	0,67	0,10	2,64	0,35	2,87	0,42
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,64	0,27	0,72	0,15	2,76	0,39	2,95	0,45
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	0,83	0,30	0,81	0,13	2,88	0,42	3,00	0,44
12. Фон + дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ – КАХОП	0,65	0,30	0,65	0,18	2,75	0,38	2,90	0,48
13. Фон + дефекат (последствие)	0,61	0,17	0,59	0,12	2,68	0,35	2,79	0,45
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,67	0,25	0,60	0,19	2,77	0,39	2,87	0,50

Таблица 1. Урожайность сахарной свеклы, 2012 год

Вариант опыта	Повторности, т/га				Средняя урожайность, т/га
	1	2	3	4	
1	24,7	27,4	23,2	28,3	25,9
2	33,1	34,8	35,5	34,8	34,8
3	38,9	43,2	39,3	39,9	40,3
5	40,2	41,2	36,9	42,2	40,1
12	36,0	37,4	40,2	42,2	38,9
13	37,4	36,9	40,4	32,2	36,7
15	45,9	40,7	42,4	39,7	42,1

Опыт достоверен

L = 14

M = 37,59 ц/га

S = 2,59 ц/га

HCP_{0,95} = 3,80 ц/га

n = 4

F_{факт.} = 9,65S_x = 1,30 ц/га

V = 6,90

N = 56

F_{табл.} = 2,23S_{x%} = 3,45%S_d = 1,83 ц/га

Таблица 2. Урожайность сахарной свеклы, 2013 год

Вариант опыта	Повторности, т/га				Средняя урожайность, т/га
	1	2	3	4	
1	50,3	50,9	51,8	52,0	51,3
2	67,9	67,0	66,8	69,4	67,8
3	71,3	73,1	73,9	75,0	73,3
5	73,8	77,4	73,9	73,0	74,5
12	74,4	74,9	73,2	71,0	73,4
13	74,2	77,9	71,6	73,4	74,3
15	73,7	72,5	74,0	72,6	73,2

Опыт достоверен

L = 14

M = 71,56 ц/га

S = 1,81 ц/га

HCP_{0,95} = 2,53 ц/га

n = 4

F_{факт.} = 45,46S_x = 0,90 ц/га

V = 2,52

N = 56

F_{табл.} = 1,67S_{x%} = 1,26%S_d = 1,28 ц/га

Таблица 3. Урожайность сахарной свеклы, 2014 год

Вариант опыта	Повторности, т/га				Средняя урожайность, т/га
	1	2	3	4	
1	47,5	53,1	50,1	49,0	49,4
2	50,8	61,5	53,6	53,0	54,8
3	57,1	65,9	57,7	62,8	60,9
5	60,9	67,7	65,3	63,7	64,4
12	71,2	65,3	69,1	70,0	68,8
13	57,9	55,6	58,9	54,7	56,8
15	59,7	57,3	63,5	65,0	61,4

Опыт достоверен

L = 14

M = 58,36 ц/га

S = 2,73 ц/га

HCP_{0,95} = 3,91 ц/га

n = 4

F_{факт.} = 11,94S_x = 1,37 ц/га

V = 4,69

N = 56

F_{табл.} = 1,67S_{x%} = 2,34%S_d = 1,93 ц/га

Таблица 1. Вынос элементов питания с урожаем сахарной свеклы, 2012 г.

Вариант	Корнеплоды, кг/га				Листья, кг/га				Общий вынос, кг/га				На 1 т основной продукции			
	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	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1. Контроль – без удобрений	29,0	12,1	31,6	5,4	74,8	13,5	79,4	16,4	103,8	25,6	111,0	21,8	4,01	0,99	4,29	0,84
2. 40 т/га навоза (последствие) – фон	38,9	19,0	44,3	8,1	104,8	21,5	111,0	23,4	143,7	40,5	155,3	31,5	4,13	1,16	4,46	0,91
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	50,3	28,3	55,5	11,5	129,7	31,6	146,8	28,3	180,0	59,9	202,3	39,8	4,47	1,49	5,02	0,99
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	58,4	30,2	64,6	10,4	154,9	54,0	161,6	27,6	213,3	84,2	226,2	38,0	5,32	2,10	5,64	0,95
12. Фон + дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	44,5	25,3	50,6	15,2	131,0	27,8	134,8	29,4	175,5	53,1	185,4	44,6	4,51	1,37	4,77	1,15
13. Фон + дефекат (последствие)	38,2	21,0	38,2	17,2	106,5	20,7	123,6	29,3	144,7	41,7	161,8	46,5	3,94	1,14	4,41	1,27
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	48,2	27,4	52,5	18,6	136,0	29,5	145,3	31,3	184,2	56,9	197,8	49,9	4,38	1,35	4,70	1,19

Таблица 2. Вынос элементов питания с урожаем сахарной свеклы, 2013 г.

Вариант	Корнеплоды, кг/га				Листья, кг/га				Общий вынос, кг/га				На 1 т основной продукции			
	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	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1. Контроль – без удобрений	42,7	17,3	72,0	20,0	119,9	16,9	141,1	23,3	162,6	34,2	213,1	43,3	3,17	0,67	4,15	0,84
2. 40 т/га навоза (последствие) – фон	74,0	26,4	105,8	26,4	181,8	25,2	191,1	31,7	255,8	51,6	296,9	58,1	3,77	0,76	4,38	0,86
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	87,7	41,9	146,7	32,4	233,8	33,3	221,7	36,3	321,5	75,2	368,4	68,7	4,39	1,03	5,03	0,94
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	98,8	46,5	151,1	34,9	245,9	45,1	243,8	34,8	344,7	91,6	394,9	69,7	4,63	1,23	5,30	0,94
12. Фон + дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	91,6	40,1	135,5	45,8	233,1	30,3	219,0	45,4	324,7	70,4	354,5	91,2	4,42	0,96	4,83	1,24
13. Фон + дефекат (последствие)	85,0	30,9	110,1	48,3	203,3	25,5	204,3	53,1	288,3	56,4	314,4	101,4	3,88	0,76	4,23	1,36
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	93,3	41,9	133,2	45,7	235,5	31,2	214,4	47,3	328,8	73,1	347,6	93,0	4,49	1,00	4,75	1,27

Таблица 3. Вынос элементов питания с урожаем сахарной свеклы, 2014 г.

Вариант	Корнеплоды, кг/га				Листья, кг/га				Общий вынос, кг/га				На 1 т основной продукции			
	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	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1. Контроль – без удобрений	60,4	15,4	71,9	12,8	176,6	22,4	190,2	28,5	237,0	37,8	262,1	41,3	4,80	0,77	5,31	0,84
2. 40 т/га навоза (последствие) – фон	84,1	21,4	95,5	14,2	198,9	26,4	216,3	31,6	283,0	47,8	311,8	45,8	5,16	0,87	5,69	0,84
3. Фон + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	101,3	42,8	114,0	23,8	231,1	32,7	247,0	37,7	332,4	75,5	361	61,5	5,46	1,24	5,93	1,01
5. Фон + N ₂₄₀ P ₂₄₀ K ₂₄₀	139,0	50,2	135,6	21,8	255,0	37,2	265,7	39,0	394,0	87,4	401,3	60,8	6,12	1,36	6,23	0,94
12. Фон + дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	116,3	53,7	116,3	32,2	260,2	35,9	274,3	45,4	376,5	89,6	390,6	77,6	5,47	1,30	5,68	1,13
13. Фон + дефекат (последствие)	90,1	25,1	87,1	17,7	209,3	27,3	217,9	35,1	299,4	52,4	305,0	52,8	5,27	0,92	5,37	0,93
15. Дефекат (последствие) + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	107,0	39,9	95,8	30,3	233,9	32,9	242,3	42,2	340,9	72,8	338,1	72,5	5,55	1,19	5,51	1,18