

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

*На правах рукописи*

Стур

**СТОЛЯРОВ МАКСИМ ЕВГЕНЬЕВИЧ**

**КАЛЬЦИЕВЫЙ РЕЖИМ ЯБЛОНЕВОГО САДА НА ФОНЕ АЗОТНЫХ И  
КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ И ДИАГНОСТИКА КАЛЬЦИЕВОГО ПИТАНИЯ  
ЯБЛОНИ**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение,  
защита и карантин растений

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в лаборатории агрохимии ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» и на кафедре почвоведения и прикладной биологии института естественных наук и биотехнологий ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»

- Научный руководитель:** – **Леоничева Елена Вячеславна**  
кандидат биологических наук
- Официальные оппоненты:**
- **Кузин Андрей Иванович**  
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», отдел агротехники и агрохимии сада, заведующий отделом, ведущий научный сотрудник
  - **Малюкова Людмила Степановна**  
доктор биологических наук, профессор РАН; ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», лаборатория агрохимии и почвоведения, главный научный сотрудник
  - **Попова Валентина Петровна**  
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», заведующая научным центром агрохимии и почвоведения

Защита диссертации состоится «28» февраля 2023 г. в 15:30 на заседании диссертационного совета МГУ.015.2 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, г. Москва, ул. Ленинские горы, д.1, стр. 12, биологический факультет, аудитория 389. Тел: 8(495)-939-35-46

E-mail: [nvkostina@mail.ru](mailto:nvkostina@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/526654332/>

Автореферат разослан «24» января 2023г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



Н.В. Костина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** Основными агрономическими проблемами, сдерживающими развитие садоводства в России, являются: низкая продуктивность насаждений, нерегулярность плодоношения, недостаточная устойчивость насаждений, низкие товарные и потребительские качества плодов (Трунов, 2013). Важную роль в обеспечении качества яблок играет кальциевое питание яблони, поскольку с содержанием кальция связаны их лёжкость и ряд важных технологических свойств. При недостатке кальция плоды яблони подвержены разнообразным физиологическим расстройствам, из которых наиболее известна горькая ямчатость – физиологическое заболевание, существенно снижающее товарные качества плодовой продукции и приводящее к раннему старению плодов (Причко и др., 2015; Biggs, Peck, 2015; Сидорова и др., 2016; Jemric et al, 2016).

Выявление проблем в кальциевом питании яблони на более ранних стадиях формирования плодов даёт дополнительные возможности повысить содержание Са в плодах в течение периода вегетации за счёт применения Са-содержащих удобрений. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на поиск и усовершенствование методов раннего выявления проблем в кальциевом питании яблони, проводимые с учётом биологических особенностей культуры, почвенно-климатических условий различных зон садоводства и применяемых агротехнологий.

**Степень разработанности темы исследования.** Проблемы кальциевого питания яблони изучаются с 70-х гг. XX века, когда была установлена роль Са в формировании качества и лёжкоспособности плодов. К настоящему времени исследованы особенности транспорта Са в плодовых деревьях (Hangera, 1979; Terblanchea, 1979; Lewis, 1980; Vang-Petersen, 1980; Rosen et al., 2006), определена физиологическая роль Са, как структурного компонента клеточных стенок в плодах (Demarty et al., 1984; Roy et al., 1993), установлены некоторые природные и агротехнические факторы, влияющие на накопление Са в яблоках (Perring, 1975, 1979; Valz et al., 2006; Miqueloto et al., 2011, 2014; Причко, Чалая, 2015), доказана возможность снизить проявления Са-зависимых расстройств при помощи корневого и некорневого применения Са-содержащих удобрений (Hogue et al., 1983; Porro et al., 2006; Biggs and Peck, 2015; Пугачёв, 2004; Кузин, 2018), определены некоторые критерии элементного состава плодов, позволяющие выявить риск развития физиологических расстройств при хранении (Гудковский, 1990; Причко и соавт., 2011, 2015). Указанные характеристики элементного состава определены для плодов съёмной зрелости и предназначены для оценки риска возникновения физиологических расстройств во время хранения. В дополнение к ним продолжается поиск и усовершенствование методов более ранней диагностики на основе анализа изменений элементного состава плодов и вегетативных органов в течение всего периода вегетации (Причко и соавт., 2015; Uçgun, et al., 2021). Прогнозу кальциевого статуса плодов на основе почвенной диагностики внимание практически не уделяется. Причиной этого может быть тот факт, что Са-дефицитные физиологические расстройства наблюдаются у плодов, выращенных как на кислых почвах, так и на карбонатных (Hogue et al., 1983; Пугачёв, 2004; Torres et al., 2017).

В отечественной науке проблемам оптимизации кальциевого питания растений уделялось много внимания в связи с разработкой теоретических и практических аспектов применения известковых удобрений (Кедров – Зихман, 1925, 1955; Шильников, 1984, 2012; Шеуджен, 2013; Аканова, 2011 и др.), но все эти исследования проводились с полевыми культурами. Большинство отечественных публикаций по вопросам кальциевого питания яблони посвящены испытаниям кальцийсодержащих листовых удобрений (Кузин и соавт., 2018; Причко и соавт., 2015, 2019). Анализ публикаций, отражающих проблемы питания яблони кальцием, показывает недостаток системных исследований, учитывающих одновременно состояние кальция в растении и связи растительного организма с окружающей средой.

**Цель исследования** - изучить режим кальция в различных компонентах агроэкосистемы яблоневого сада и выявить диагностические показатели для характеристики условий кальциевого питания яблони.

**Задачи исследования:**

- Изучить кальциевый режим агросерой почвы садового агроценоза и выявить основные факторы, влияющие на уровень доступных соединений кальция в корнеобитаемом слое.

- Изучить изменение основных агрохимических показателей агросерой почвы под садом при регулярном применении азотных и калийных удобрений.

- Оценить влияние природных и агротехнических факторов на накопление Са в плодах и вегетативных органах яблони.

- Получить количественные данные о составляющих баланса Са в агроэкосистеме яблоневого сада.

- При помощи статистических методов изучить взаимосвязи между состоянием почвенного Са и его содержанием в плодах и вегетативных органах яблони.

- Выявить диагностические показатели, наиболее полно характеризующие условия кальциевого питания яблони.

**Научная новизна исследования.** Впервые, для изучения кальциевого режима яблоневого сада был применен системный подход, когда в течение нескольких периодов вегетации проводилась сопряжённая оценка уровня кальция в различных компонентах садовой агроэкосистемы, была изучена сезонная динамика обменных и водорастворимых форм кальция в садовой почве, определён ежегодный вынос кальция из среднерослого яблоневого сада. Предложены показатели для почвенной диагностики кальциевого питания яблони, позволяющие прогнозировать дефицит кальция в плодах на более раннем сроке.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Изучение годичной и сезонной динамики комплекса агрохимических параметров агросерой почвы неорошаемого сада позволило выявить тренды и скорость изменения почвенных свойств под монокультурой яблони. Практическая значимость результатов исследования связана с использованием в агрохимической практике результатов почвенной и растительной диагностики для прогноза кальциевого статуса плодов. Результаты изучения азотного и калийного режима агросерой почвы под садом могут быть использованы для

корректировки программ удобрения яблони в почвенно-климатических условиях Центрально-Чернозёмной зоны и юга Нечерноземья.

**Методология и методы исследования.** Основой методологического подхода к решению поставленных задач была сопряжённая оценка уровня кальция в почве сада, а также листьях, плодах и ветвях яблони, проводимая в течение пяти последовательных периодов вегетации. При помощи статистического анализа полученных результатов были выявлены связи между годичной и сезонной динамикой соединений кальция в почве и различных частях растения яблони, применением удобрений и метеоусловиями.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Основным процессом, определяющим кальциевый режим агросерой почвы неорошаемого яблоневого сада в первое десятилетие после посадки, является постепенное снижение запасов обменного кальция в корнеобитаемом слое, сочетающееся со значительными сезонными колебаниями концентрации водорастворимых форм элемента, которые зависят от гидротермического режима почвы и усиливаются при внесении удобрений. Потребление кальция среднерослыми деревьями яблони в первые годы жизни сада не оказывает существенного влияния на кальциевый режим почвы.

2. Наиболее значимое влияние на содержание кальция в плодах, листьях и ветвях яблони оказывают природные факторы (метеоусловия), что подтверждается значительным варьированием этих показателей по годам. Внесение азотных и калийных удобрений влияет на содержание кальция в плодах ежегодно, а на кальциевый статус листьев удобрения влияют только когда его уровень близок к оптимуму (1,3% сух. в-ва).

3. Количество водорастворимого кальция в почве в значительной мере определяет условия кальциевого питания яблони. При этом содержание кальция в листьях коррелирует с количеством водорастворимого кальция в почве в середине текущего периода вегетации, а содержание кальция в плодах наиболее тесно коррелирует с уровнем водорастворимого кальция во второй половине предшествующего периода вегетации. Достоверная корреляция между водорастворимым кальцием почвы и кальциевым статусом плодов позволяет использовать почвенную диагностику для прогноза дефицита кальция в плодах на более раннем сроке.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Диссертационное исследование проводили в лаборатории агрохимии ФГБНУ ВНИИСПК и на кафедре почвоведения и прикладной биологии института естественных наук и биотехнологии ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» согласно программе, утверждённой на заседании Учёного совета института и на заседании кафедры. Изучение кальциевого режима неорошаемых садов проводили в многофакторных полевых опытах с сортом яблони Синап орловский, районированным в областях Центрального, Центрально-Чернозёмного и Северо-Западного регионов РФ. Закладка в ведение полевых опытов соответствуют методическим требованиям, предъявляемым к исследованиям в многолетних плодовых насаждениях. Для анализа почвенных и растительных проб применялось современное аналитическое и лабораторное оборудование. Анализ и обобщение результатов исследования

проводились с использованием современных методов статистической обработки экспериментальных данных, в том числе дисперсионного и корреляционного анализа.

Результаты исследования доложены на научных конференциях, в т.ч. на международном научно-практическом форуме «Селекция – основа развития интенсивного садоводства» (2018 г., г. Орёл, ФГБНУ ВНИИСПК), международном молодёжном научном форуме «Ломоносов» (2018, 2019 гг., г. Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова), всероссийской научно-практической конференции «Природные ресурсы Центрального региона России и их рациональное использование» (2019 г., г. Орёл, ОГУ им. И.С. Тургенева), международной научной конференции «XXII Докучаевские молодежные чтения» (2019 г., г. Санкт-Петербург, СПбГУ).

**Личный вклад соискателя.** Соискатель самостоятельно разработал программу исследований, сформулировал цели и задачи исследования. Участвовал в закладке полевых опытов и выполнении лабораторных работ, лично проводил наблюдения и учёты. Проанализировал экспериментальный материал, выполнил математическую обработку полученных в опыте данных. Подготовил и опубликовал научные статьи в рецензируемых научных изданиях, написал диссертационную работу, участвовал в апробации результатов исследования, принимал участие в научных и практических конференциях в роли докладчика. Личный вклад соискателя составляет свыше 90%.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 166 страницах компьютерного текста, и состоит из введения, 7 глав, заключения, выводов, рекомендаций к производству, списка литературы на 218 источников, в том числе 106 источников от иностранных авторов. Диссертационная работа содержит 28 таблиц, 9 рисунков и 14 приложений.

**Публикации.** По результатам диссертационного исследования опубликовано 15 печатных работ, из них 5 статей в изданиях, индексируемых в базах данных RSCI, Scopus и Web of Science, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность своему руководителю, к.б.н., зав. лабораторией агрохимии ФГБНУ ВНИИСПК Леоничевой Е.В., сотрудникам лаборатории агрохимии ФГБНУ ВНИИСПК к.с.-х.н. Роевой Т.А. и к.с.-х.н. Леонтьевой Л.И., зав. кафедрой почвоведения и прикладной биологии Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, к.с.-х.н. Федотовой И.Э., и всему коллективу кафедры. Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №19-316-90016.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР. ПРОБЛЕМЫ В КАЛЬЦИЕВОМ ПИТАНИИ ЯБЛОНИ И СПОСОБЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

В главе сделан обзор научных публикаций по проблеме кальциевого питания яблони. Рассмотрен и систематизирован отечественный и зарубежный опыт в области кальциевого питания растений, обеспечения яблони оптимальным количеством доступного кальция, борьбы с развитием физиологических заболеваний плодов и

диагностикой кальциевого питания яблони. На основании обзора дано теоретическое обоснование выбора темы исследования.

## ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ, ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования были агросерая почва и деревья яблони сорта Синап орловский, произрастающие в опытно-производственных насаждениях ФГБНУ ВНИИСПК (Орловская область). Исследования проводились в садах, посаженных в 1992 и 2013 гг. и имеющих схему размещения деревьев 6×3 м.

Агросерые почвы на территории опытного хозяйства сформированы на лессовидных суглинках, подстилаемых доломитовыми известняками, агрохимические показатели почвы в исследуемых садах, представлены в Таблице 1.

**Таблица 1** - Агрохимические показатели почвы полевого опыта

Глубина, см	рН <sub>KCl</sub>	Гумус, %	N <sub>общ</sub> , мМоль /100 г	Содержание			
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
				мг/кг		мМоль/100 г	
0...20	5,39	4,61	3,94	177,12	75,68	14,98	4,39
20...40	5,16	3,81	4,22	129,18	58,00	15,59	4,58
40...60	6,36	2,78	2,86	128,48	56,12	14,76	4,77

**Опыт 1.** В саду 1992 г. посадки с 2011 по 2015 гг. проводился полевой опыт, целью которого было изучить влияние отдельных и совместных некорневых подкормок борной кислотой, сульфатом калия и хлористым кальцием на накопление калия, кальция и магния в плодах яблони. Пятикратно за период вегетации (в фазы: «розовый бутон», «полное цветение», «опадение лепестков», «грецкий орех» и за 30–40 дней до съема плодов) изучаемые деревья опрыскивали растворами удобрений по схеме: 1. Контроль (обработка водой); 2. Борная кислота (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) - 0,1%; 3. Сульфат калия (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) - 0,3%; 4. Хлористый кальций (CaCl<sub>2</sub>) - 1%; 5. H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> + K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 6. H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> + CaCl<sub>2</sub>; 7. K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + CaCl<sub>2</sub>; 8. H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> + K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + CaCl<sub>2</sub>. Повторность опыта 3-х кратная, в варианте 6 учетных деревьев. Площадь делянки 36 м<sup>2</sup>, размещение делянок рендомизированное.

Для выполнения задач диссертационной работы ежегодно в *Опыте 1* проводилось определение уровня Са в плодах и листьях. Образцы листьев отбирали в фазу затухания роста (последняя декада июля) из средней части однолетних приростов. Образцы плодов съёмной зрелости отбирали в фазу съёмной зрелости. В образцах плодов, кожицу и мякоть анализировали отдельно.

**Опыт 2.** В саду 2013 г. посадки, начиная с 2015 г., лабораторией агрохимии ФГБНУ ВНИИСПК проводится полевой опыт по изучению эффективности азотных и калийных удобрений при их корневом и некорневом применении. Схема опыта двухфакторная и включает внесение в почву удобрений в дозах: N30K40, N60K80, N90K120 (1-й фактор) и некорневые подкормки растворами мочевины (1%) и сульфата калия (0,3%) (2-й фактор). Азотные и калийные удобрения в форме гранулированных NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> и KCl вносили ежегодно весной на глубину 10-15 см. Некорневые подкормки проводились три раза за период вегетации: 1) 1% раствор мочевины в фазу «розовый бутон»; 2) совместно 1% раствор мочевины и 0,3% раствор сульфата калия в фазу

«грецкий орех»); 3) 0,3% раствор сульфата калия за 30-40 дней до съёма плодов. Повторность опыта - четырёхкратная, на каждой учётной делянке расположено 5 деревьев.

Этот опыт послужил удобным объектом для выполнения целей и задач диссертационной работы, поскольку он проводился с деревьями сорта Синап орловский, плоды которого подвержены Са-дефицитным физиологическим расстройством. В контрольном варианте опыта изучалось влияние природных факторов на кальциевый режим сада, а варианты с применением удобрений позволили исследовать влияние агротехнических факторов.

Ежегодно с мая по сентябрь в подкормочной зоне деревьев на расстоянии 1,0...1,5 м от штамба с глубин 0...20, 20...40 и 40...60 см отбирали почвенные пробы, в которых определяли содержание обменных и водорастворимых соединений кальция и калия, а также содержание нитратов и обменного аммония.

Обменный кальций экстрагировали 1,0 М раствором NaCl при соотношении почва:раствор 1:20. Для извлечения водорастворимых форм кальция использовали соотношение почва:вода 1:5. Определение других агрохимических показателей проводилось по стандартным методикам.

Образцы листьев отбирали в последней декаде июля, образцы плодов - в фазу съёмной зрелости. Растительные пробы после сухого озоления при температуре 450°C, растворяли в 20% HCl. Определение кальция в растворе золы и в экстрактах из почвы проводили комплексонометрическим методом.

Учёт урожая плодов проводили в 2017, 2018 и 2019 гг., весовым методом, учитывая массу плодов с каждого учётного дерева.

Статистическая обработка экспериментального материала проведена методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием компьютерных программ Microsoft excel, TVA, Statistica 10.

### **ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК БОР-, КАЛИЙ- И КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИМИ УДОБРЕНИЯМИ НА СОДЕРЖАНИЕ КАЛЬЦИЯ В ПЛОДАХ И ЛИСТЬЯХ ЯБЛОНИ (ОПЫТ 1)**

Исследования, проведённые с 20-летними деревьями яблони показали, что наиболее значимыми факторами, влияющими на накопление кальция в плодах и листьях, были метеоусловия и плодовая нагрузка деревьев, а эффект фолиарных удобрений проявлялся слабее. Содержание кальция в плодах и листьях в разные годы различалось в 2...2,5 раза, а применение удобрений изменяло значения показателя не более, чем на 30...60%. Влияние некорневых подкормок на накопление кальция в тканях плодов и в листьях было нестабильным. Ни один из вариантов опыта не давал одинакового эффекта на протяжении всех пяти лет проведения исследований. Наличие Са в составе удобрений не гарантировало более высокую его концентрацию в плодах. Опрыскивание растений растворами отдельных веществ либо многокомпонентными смесями усложняло естественные процессы формирования минерального состава плодов.

## **ГЛАВА 4. ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ ЯБЛОНЕВОГО САДА ПРИ РЕГУЛЯРНОМ ПРИМЕНЕНИИ АЗОТНЫХ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ (ОПЫТ 2)**

### **4.1. Влияние азотных и калийных удобрений на показатели кислотности и содержание подвижного фосфора**

В результате 6 лет ежегодного применения азотных и калийных удобрений в почве сада произошло существенное увеличение кислотности:  $pH_{KCl}$  снизился на 0,4 ед., а  $N_{общ.}$  увеличилась на 2,00...2,25 ммоль/100 г. Подкисление произошло только в слое почвы 0...20 см, куда непосредственно вносили удобрения. Также установлено, что в почве сада независимо от применения азотных и калийных удобрений происходило постепенное снижение количества подвижного фосфора (на 30...40 мг/кг за 5 лет) во всех изучаемых слоях почвы. Несмотря на снижение запасов подвижного фосфора в почве сада, в 2020 г. его содержание во всех изученных слоях почвы оставалось высоким (более 100 мг/кг).

Эти наблюдения представляют интерес для понимания изменений состояния почвенного кальция, поскольку в агросерых почвах кальций является одним из основных катионов в почвенном растворе и почвенном поглощающем комплексе, и его активность во многом определяет кислотно-основные характеристики. Наиболее подвижной формой фосфора в агросерых почвах является однозамещённый фосфат кальция, поэтому фосфорный и кальциевый режимы почвы – взаимосвязаны.

### **4.2. Динамика минерального азота в почве сада при внесении удобрений**

Изучение азотного режима почвы показало совокупное влияние на него метеоусловий, продуктивности деревьев и особенностей потребления ими азота в разные фазы вегетации. Внесение азотных удобрений в дозах 30...90 кг/га д.в. способствовало увеличению содержания минерального азота ( $N_{min}$ ) в 1,5...5 раз в зависимости от дозы азота. При этом динамика  $N_{min}$  в почве удобренных и неудобренных участков была аналогичной. Практически ежегодно во всех вариантах опыта и во всех изучаемых слоях почвы наблюдалось уменьшение содержания  $N_{min}$  в августе, вероятно, связанное с наиболее интенсивным потреблением элемента деревьями в период роста и созревания плодов.

При внесении аммиачной селитры в дозе  $N_{90}$  кг/га д.в., уровень  $N_{min}$  в почве под садом в отдельные месяцы был экстремально высоким, что способствует непродуктивным потерям азота за счёт вымывания.

Преобладающим азотистым минеральным соединением в корнеобитаемом слое почвы был аммоний. Периодическое увеличение концентрации этого катиона в первые месяцы после внесения удобрений может быть причиной ослабления связей катионов кальция с компонентами почвенного поглощающего комплекса и увеличения подвижности кальция в почвенном профиле.

### **4.3. Динамика доступных растениям соединений калия в почве сада при внесении удобрений**

В течение 6 лет внесения калийных удобрений в дозах 40...120 кг/га д.в. в агросерой почве яблоневого сада, изначально имевшей низкие запасы обменного калия, происходило постепенное его накопление. Высокий уровень показателя (более 200 мг/кг) был достигнут при внесении N90K120 на 6-й год применения удобрений.

В первые годы плодоношения деревьев потребление калия на формирование плодов незначительно отразилось на калийном статусе почвы. Это может быть связано с низким выносом калия с урожаем (3...5 кг/га) и его реутилизацией в вегетативных органах.

Вертикальная миграция калия в профиле почвы способствовала повышению уровня доступного калия на глубине до 60 см при внесении калийных удобрений в дозах 80 кг/га д.в. и выше. Даже разовое внесение таких количеств хлористого калия в сочетании с аммиачной селитрой, приводило к возрастанию доли наиболее подвижных форм элемента, что подтверждает ежегодное сезонное увеличение уровня калия в водной вытяжке.

Повышение доли калия в общем количестве обменных катионов должно повлечь за собой снижение относительной доли обменных катионов других элементов, в том числе кальция, который занимает 70...80% обменной ёмкости почвенного поглощающего комплекса агросерых почв. Новые равновесные соотношения ионов в почвенном растворе и почвенном поглощающем комплексе обуславливают изменения в условиях почвенного питания яблони кальцием.

## **ГЛАВА 5. КАЛЬЦИЕВЫЙ РЕЖИМ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ ЯБЛОНЕВОГО САДА (ОПЫТ 2)**

В течение 5 периодов вегетации, был получен массив данных, описывающий динамику обменных и водорастворимых соединений кальция в корнеобитаемом слое почвы сада.

Для слоя почвы 0...20 см годовая динамика *обменного кальция* представлена в Таблице 3, сезонная динамика – на Рисунке 1. Содержание обменного кальция в течение 5 лет исследования находилось между повышенным и высоким уровнем, но при этом с увеличением возраста сада наблюдалось статистически значимое уменьшение показателя во всех вариантах опыта. На контроле эти изменения происходили менее интенсивно, чем при внесении удобрений. К концу периода вегетации 2020 г. уровень обменного кальция снизился на 7...14% в зависимости от варианта опыта (Таблица 3).

Метеоусловия оказали существенное влияние на годовую и сезонную динамику почвенного кальция. Во всех изучаемых слоях почвы достоверное снижение уровня обменного кальция произошло независимо от вариантов опыта в 2018 г., при наибольшей сумме осадков в предшествующий осенне-зимний период (Таблицы 2 и 3). Снижение уровня обменного кальция в неудобренной почве может быть связано не только с метеоусловиями, но и с возрастающим воздействием растущих и плодоносящих деревьев, а также с изменением системы содержания почвы (2013...2017 гг. – чёрный

пар, 2018...2020 гг. – залужение), поскольку потребление кальция травами могло повлиять на равновесное соотношение катионов в почвенном поглощающем комплексе.

**Таблица 2** - Распределение осадков (мм) в период проведения исследований

Месяцы	Годы				
	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
октябрь-март	242,4	181,1	294,7	207,1	152,8
	2016	2017	2018	2019	2020
апрель-сентябрь	283,1	361,0	243,4	287,7	276,6
Σ	525,5	542,1	538,1	494,8	430,4

**Таблица 3** - Средние за период вегетации уровни содержания обменного кальция (ммоль/100 г) в почве (слой 0-20 см) полевого опыта при внесении азотных и калийных удобрений, 2016...2020 гг.

Фактор А (дозы удобрений)	Фактор В (годы исследований)					Средние А
	2016	2017	2018	2019	2020	
Контроль (без удобрений)	15,65	15,87	15,12	15,50	14,36	15,30
N30K40	15,58	14,99*	14,88	14,95*	13,73*	14,82**
N60K80	15,67	15,70	14,99	15,09	13,76*	15,04**
N90K120	15,88	15,87	14,84	14,81*	13,75*	15,03**
Средние В	15,69	15,61	14,96	15,08	13,90	
$HCP_{05A} = 0,20$ $HCP_{05B} = 0,22$ $HCP_{05AB} = 0,44$ $HCP_{01A} = 0,26$ $HCP_{01B} = 0,29$ по АВ $F_{\phi} < F_T$						

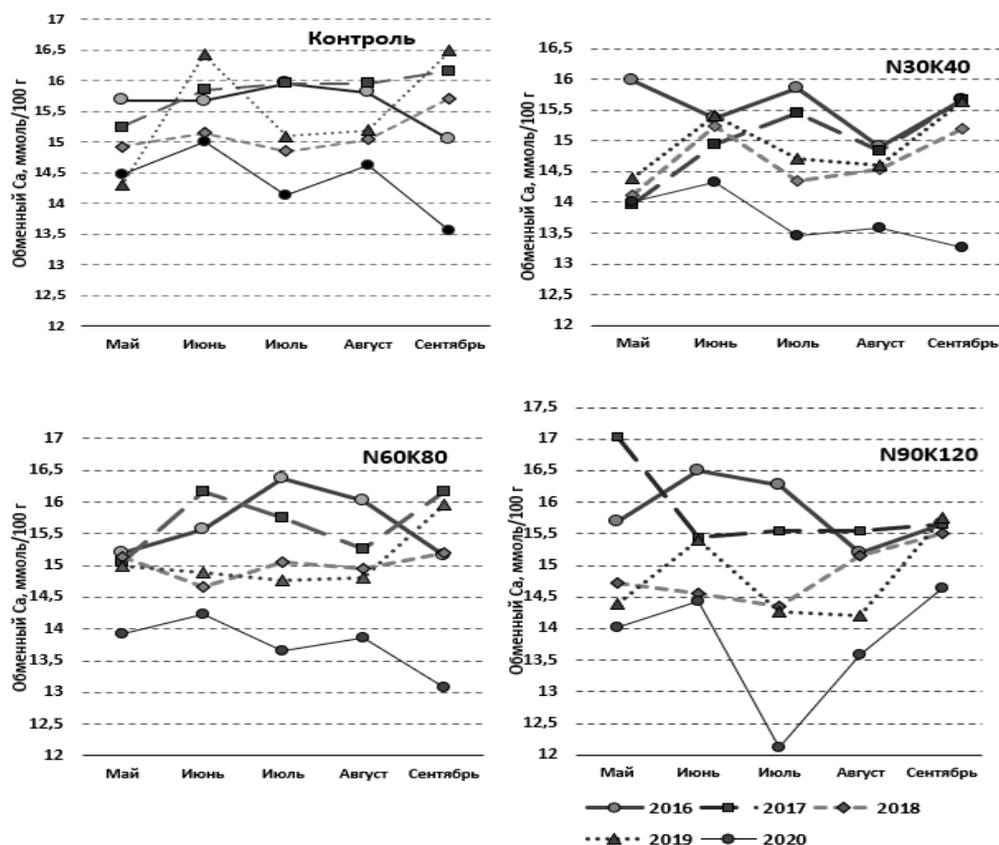
Здесь и в Таблицах 4-6:\* различия с контролем достоверны при уровне значимости 5%

\*\* различия с контролем достоверны при уровне значимости 1%

Внесение азотных и калийных удобрений в дозах N30K40, N60K80 и N90K120 способствовало уменьшению уровня обменного Са преимущественно в слое почвы 0...20 см, причём эффект от удобрений имел накопительный характер и усиливался с годами (Таблица 3). В среднем за 5 лет снижение содержания обменного кальция в верхнем слое почвы составило 3% относительно контроля на варианте с использованием N30K40, 2% в вариантах N60K80 и N90K120.

Изучение сезонной динамики обменного Са показало, что в агросерой почве под садом этот показатель в период с мая по сентябрь варьировал незначительно. На контроле и при внесении удобрений в дозах N30K40 и N60K80 различия между минимальным и максимальным значением показателя в течение одного периода вегетации были в пределах 1,5...3,5 ммоль/100 г (Рисунок 1).

Внесение рекомендуемой для садов ЦЧЗ дозы N90K120 заметнее повлияло на динамику показателя, особенно в конце пятилетнего периода наблюдений. В 2020г. в почве этого варианта содержание обменного кальция с в июле уменьшилось на 2,5 ммоль/100 г по сравнению с июньским уровнем, а в течение двух последующих месяцев вернулось к исходному значению (Рисунок 1). Такие резкие колебания подтверждают снижение буферности почвы по отношению к кальцию в этом варианте опыта.



**Рисунок 1.** Динамика обменного Са (ммоль/100 г) в слое почвы 0...20 см, 2016...2020 гг.

Уровень *водорастворимого кальция* был показателем более отзывчивым на внесение удобрений. В среднем за 5 лет исследований во всех вариантах с удобрениями содержание водорастворимых форм элемента в слоях почвы 0...20, 20...40 и 40...60 см было существенно выше контроля. При этом, значения показателя в слое почвы 0...20 см в варианте с дозой N90K120 были достоверно выше, чем при внесении более низких доз (Таблица 4, средние по фактору А).

Во второй год от начала внесения в почву азотных и калийных удобрений (2016 г.) во всех слоях почвы удобренных участков установлено существенное увеличение концентрации водорастворимых соединений кальция.

В 2017 и 2018 гг. концентрация водорастворимого кальция в почве сада уменьшилась в 4...8 раз по сравнению с уровнем 2016 г. Это снижение можно объяснить вымыванием водорастворимых соединений кальция в переувлажнённый летний период 2017 г., за которым последовала снежная зима 2017...2018 гг. В вариантах с удобрениями снижение уровня водорастворимого кальция в эти годы было более выраженным, чем на контроле (Таблица 4).

В 2019 г. в слое почвы 0...20 см удобренных участков концентрация водорастворимого кальция увеличилась по сравнению с уровнем 2018 г., тогда как на контроле значения показателя в эти годы достоверно не различались. В более глубоких слоях почвы возрастание количества водорастворимых форм Са в 2019 г. было статистически значимым во всех вариантах, включая контроль. В 2020 г. уровень водорастворимого кальция снова уменьшился во всех вариантах, за исключением самой

большой дозы удобрений N90K120, где среднее за период вегетации содержание водорастворимых форм оставалось на уровне предыдущего года.

**Таблица 4** - Средние за период вегетации уровни содержания водорастворимого кальция (ммоль/100 г) в почве полевого опыта (слой 0-20 см) при внесении азотных и калийных удобрений, 2016 – 2020 гг.

Фактор А (дозы удобрений)	Фактор В (годы исследований)					Средние А
	2016	2017	2018	2019	2020	
Контроль (без удобрений)	0,78	0,42	0,17	0,49	0,22	0,42
N30K40	1,57**	0,30	0,20	0,59	0,28	0,59*
N60K80	1,53**	0,38	0,20	0,78	0,41	0,66**
N90K120	2,54**	0,61	0,26	0,68	0,68*	0,95**
Средние В	1,61	0,43	0,21	0,64	0,39	
$HCP_{05A} = 0,15$ $HCP_{05B} = 0,17$ $HCP_{05AB} = 0,33$ $HCP_{01A} = 0,20$ $HCP_{01B} = 0,22$ $HCP_{01AB} = 0,44$						

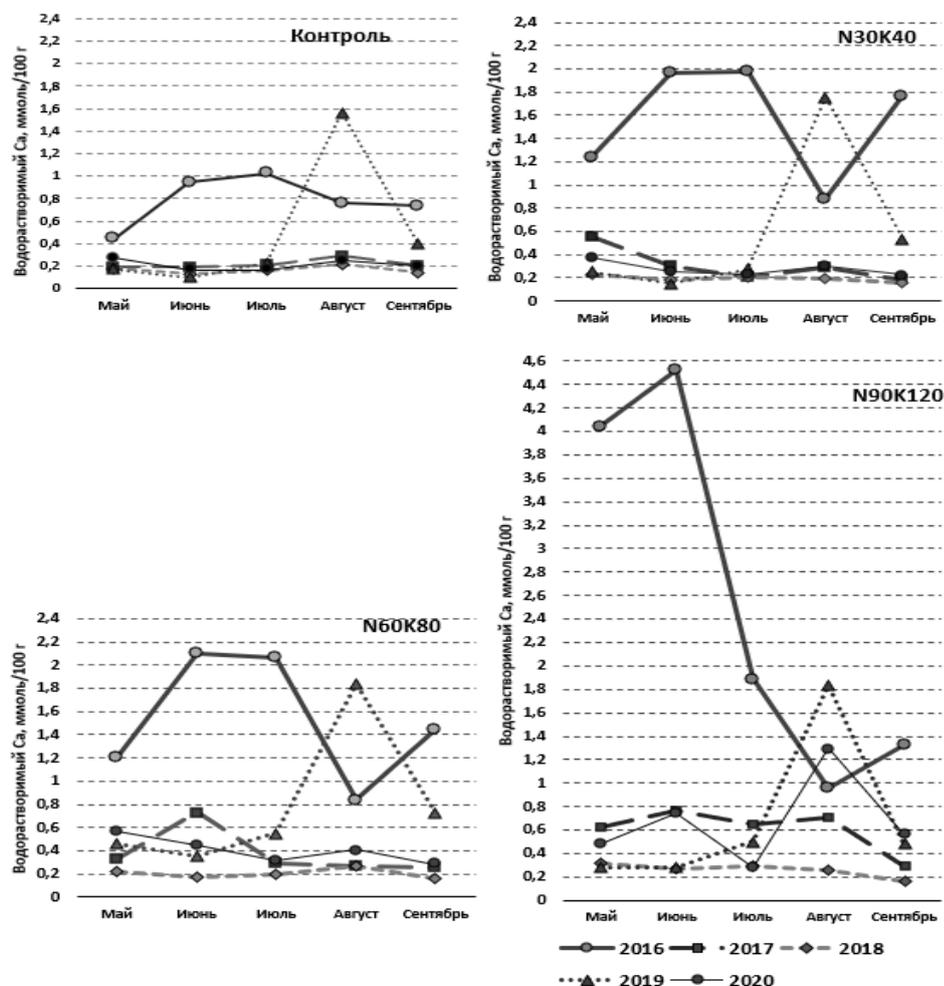
Особенности сезонной динамики *водорастворимых форм кальция* в слое 0...20 см представлены на Рисунке 2. Главным фактором, повлиявшим на концентрацию водорастворимых форм кальция в почве изучаемого сада, были условия увлажнения. Вегетационный период 2016 г. отличался наиболее равномерным выпадением осадков в период с мая по сентябрь. В результате влажность почвы в этом сезоне варьировала в благоприятных пределах  $17,80 \pm 0,61\%$ . Такого количества влаги было достаточно для перехода большого количества кальция в водорастворимую форму, но поскольку в этом сезоне осадки выпадали равномерно, стекание гравитационной влаги на большую глубину не происходило и все вертикальные перемещения водорастворимого кальция не выходили за пределы изучаемого слоя почвы 0...60 см.

В последующем 2017 г. при наибольшей сумме осадков с апреля по сентябрь (361 мм) произошло вымывание водорастворимого кальция из слоя 0...60 см, хотя количество обменных форм элемента в этот период практически не изменилось.

Далее последовала снежная зима 2017...2018 гг., после которой низкий уровень водорастворимого кальция (0,13...0,26 ммоль/100 г) сохранялся с мая по сентябрь 2018 г. во всех вариантах опыта.

В первые месяцы летнего периода 2019 г. содержание водорастворимого кальция в почве сада было на уровне двух предшествующих лет, но в тёплом и влажном августе 2019 г. сложились благоприятные условия для капиллярного подъёма почвенной влаги из глубоких горизонтов. Благодаря этому в августе уровень обменного кальция в изучаемых слоях почвы увеличился в 4...7 раз, по сравнению с июлем и варьировал в пределах 1,60...1,93 ммоль/100 г во всех вариантах опыта (Рисунок 2). Это увеличение было кратковременным, и далее в сентябре 2019 на фоне продолжающихся осадков и снижения температуры воздуха значения показателя снова уменьшились в 3...4 раза.

В период вегетации 2020 г в неудобренной почве и при внесении N30K40 и N60K80 динамика водорастворимого кальция была аналогичной с 2017 и 2018 гг. Но в варианте с внесением N90K120 наблюдались «скачки» показателя в слое 0...20 см, особенно в августе (Рисунок 2).



**Рисунок 2.** Динамика водорастворимого Са (ммоль/100 г) в слое почвы 0...20 см, 2016...2020 гг.

Влияние азотных и калийных удобрений на концентрацию и динамику водорастворимых форм кальция в почве сада зависело от вносимой дозы. Увеличение и снижение показателя происходило практически синхронно на контроле и в вариантах с внесением N30K40 и N60K80. Влияние удобрений проявилось в том, что количество водорастворимых форм кальция в почве удобренных делянок в одни и те же сроки отбора проб было больше в 1,5...2 раза.

При внесении максимальной дозы удобрений - N90K120 – сезонная динамика водорастворимого кальция существенно отличалась от остальных вариантов опыта, особенно в 2016 и 2020 гг. В мае и июне 2016 г. содержание водорастворимого Са во всех изучаемых слоях почвы превышало аналогичные показатели в других вариантах в 2...4 раза. В 2020 г. были отмечены резкие сезонные колебания уровня водорастворимых соединений, но только в слое 0...20 см. По-видимому, ежегодное поступление в почву такого количества катионов калия и аммония привело к снижению буферности изучаемой почвы по отношению к кальцию. В результате количество и соотношение катионов в ППК существенно изменились, о чём свидетельствовало стабильно высокое содержание в почве этого варианта водорастворимых форм как кальция, так и калия, и регулярно наблюдавшееся их перемещение в профиле почвы.

Изучение динамики мобильных соединений кальция в корнеобитаемом слое почвы яблоневого сада при внесении удобрений показало, что:

- в агросерой почве под молодым садом яблони уже в первые годы после посадки деревьев начинается постепенное снижение запасов обменного кальция, которое усиливается при ежегодном внесении азотных и калийных удобрений в виде  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{KCl}$ ;

- основным фактором, влияющим на кальциевый режим агросерой почвы в первые годы жизни сада, являются метеоусловия, в первую очередь – количество осадков;

- изменения условий кальциевого питания яблони под действием удобрений заключаются в увеличении подвижности кальция и последующем снижении запасов элемента в корнеобитаемом слое;

- на фоне снижения количества обменных соединений концентрация водорастворимых форм кальция подвержена значительным сезонным колебаниям, которые зависят от гидротермического режима почвы и также усиливаются при внесении удобрений;

- потребление кальция молодыми и вступающими в плодоношение деревьями яблони не оказывает существенного влияния на кальциевый режим почвы в первые 7 лет жизни сада;

- ежегодное внесение аммиачной селитры и хлористого калия в количестве  $\text{N90K120}$ , соответствующем средней зональной дозе азота и калия, рекомендуемой для сильно- и среднерослых садов ЦЧЗ, оказывало наиболее сильное дестабилизирующее воздействие на буферность изучаемой почвы по отношению к кальцию.

## **ГЛАВА 6. СОДЕРЖАНИЕ КАЛЬЦИЯ В ПЛОДАХ И ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ ЯБЛОНИ**

### **6.1. Содержание кальция в плодах и влияние удобрений на этот показатель**

Наши исследования проводились во вступающем в плодоношение яблоневом саду. В 2016 г. молодые деревья ещё не давали товарного урожая, (первые немногочисленные плоды 2016 г. были использованы для определения их минерального состава). В последующие годы в среднем по опыту урожайность составила –  $2,72 \pm 0,62$ ,  $10,96 \pm 1,51$  и  $8,51 \pm 0,88$  кг/дерево в 2017, 2018 и 2019 гг. соответственно. В 2020 г. из-за неблагоприятных для опыления метеоусловий (холодный май) урожайность была на уровне 2016 г. В первые годы плодоношения деревьев внесение в почву азотных и калийных удобрений не способствовало достоверному увеличению продуктивности, а в вариантах с некорневыми подкормками в 2017 и 2018 гг. отмечено снижение урожайности по сравнению с контролем. В 2019 г. положительный эффект от применения удобрений отмечен на уровне тенденции.

Содержание Са в плодах зависело как от условий почвенного и некорневого питания, так и от урожайности деревьев. В течение первых четырёх лет проведения исследований при увеличении продуктивности деревьев наблюдалось ежегодное уменьшение концентрации кальция в яблоках, а в неурожайном 2020 г. показатель в

среднем по опыту увеличился на 35% по сравнению с уровнем предшествующего года (Таблица 5).

**Таблица 5** – Содержание кальция в плодах яблони сорта Синап орловский, 2016...2020 гг., мг/100 г сырой массы

Фактор А (вариант опыта)	Фактор В (годы исследований)					Сред- ние А
	2016	2017	2018	2019	2020	
Контроль (без удобрений)	9,64	8,92	8,36	8,16	9,40	8,90
N30K40	9,44	9,72	8,32	7,88	10,16	9,10
N60K80	11,52**	9,60	7,08**	6,36**	10,56*	9,02
N90K120	10,28	9,00	7,08**	7,16*	9,88	8,68
Подкормки <sup>x</sup>	10,88*	9,12	8,36	5,12**	10,36*	8,77
N30K40 + подкормки <sup>x</sup>	11,80**	9,04	7,96	5,76**	10,04	8,92
N60K80 + подкормки <sup>x</sup>	9,16	8,24	7,52	4,80**	9,17	7,78**
N90K120 + подкормки <sup>x</sup>	9,64	8,44	7,76	6,08**	10,13	8,41*
Средние В	10,30	9,01	7,81	6,42	9,96	
$HCP_{05A} = 0,39$ $HCP_{05B} = 0,31$ $HCP_{05AB} = 0,87$ $HCP_{01A} = 0,51$ $HCP_{01B} = 0,40$ $HCP_{01AB} = 1,14$						

x - некорневые обработки  $CO(NH_2)_2$  и  $K_2SO_4$

На содержание кальция в плодах азотные и калийные удобрения оказывали значимое влияние в 2016, 2018, 2019 и 2020 гг. Первые плоды, полученные в 2016г. на третий год после посадки сада при наиболее высоком уровне почвенного кальция, содержали Са в количестве 10,30 мг/100 г (в среднем по опыту). В этих условиях в трёх вариантах опыта отмечено существенное увеличение показателя. При постепенном ежегодном снижении концентрации кальция в плодах применение почвенных и foliarных удобрений способствовало дополнительному снижению кальциевого статуса плодов. Однако в 2020 г., когда Са в плодах в среднем по опыту вырос на 35%, снова был отмечен положительный эффект применения удобрений (Таблица 4). Можно отметить, что корневое и некорневое применение азотных и калийных удобрений способствовало достоверному увеличению содержания кальция в плодах, если значения показателя на контроле превышали 9,4 мг/100 г сырой массы. Когда плоды на контроле содержали Са менее 8,4 мг/100 г, применение удобрений приводило к дополнительному уменьшению показателя.

Таким образом, в ходе пятилетних наблюдений были собраны данные, показывающие значительные колебания содержания кальция в плодах в разные годы, при этом было установлено существенное влияние на этот показатель (преимущественно – негативное), использования калийных и азотных удобрений, как при их внесении в почву, так и при некорневом применении.

Связь между показателями продуктивности и содержания кальция в плодах была неоднозначной. С одной стороны, при минимальной продуктивности в 2016 и 2020 гг. содержание кальция в плодах было стабильно высоким. С другой стороны, самая большая продуктивность деревьев отмечена в 2018 г., но в последующем 2019 г. при снижении продуктивности на 22 %, содержание кальция в плодах было самым низким за период проведения эксперимента.

## 6.2. Содержание кальция в листьях и влияние на этот показатель природных и агротехнических факторов

Оптимальный уровень содержания кальция в листьях яблони, по литературным данным, составляет 1,3...2% сух. массы (Кондаков, 2007; Церлинг, 1980; Watkins et al., 2004). Анализ концентрации кальция в листьях Синапа орловского показал, что в течение первых трёх лет (2016...2018 гг.) листья содержали недостаточно этого элемента, и только в 2019 г. уровень кальция в листьях был выше 1,3% (Таблица 6). Самые низкие значения показателя были в 2017 г. при наименьшем уровне водорастворимого кальция в почве. Сопоставляя данные Таблиц 4 и 6, можно увидеть, что динамика кальция в листьях соответствует данным о средних за вегетационный период уровнях водорастворимого Са в почве.

Концентрация кальция в листьях сильно (на 20...30 %) различалась по годам, в то время как влияние вариантов опыта на этот показатель было слабым и нестабильным. Почвенные удобрения в дозах N60K80 и N90K120 в среднем за 5 лет способствовали достоверному снижению кальциевого статуса листьев (Таблица 6), что может быть связано с потерями кальция из корнеобитаемого слоя почвы, наблюдавшемся в этих вариантах опыта.

Фолиарные подкормки оказывали существенное влияние на кальций в листьях преимущественно в 2019 и 2020 гг., причём эффект одних и тех же вариантов опыта разные годы был противоположным (Таблица 6).

**Таблица 6** – Содержание кальция в листьях яблони сорта Синап орловский, 2016...2020 гг., % сух.в-ва

Фактор А (вариант опыта)	Фактор В (годы исследований)					Сред- ние А
	2016	2017	2018	2019	2020	
Контроль (без удобрений)	1,21	1,01	1,04	1,44	1,19	1,18
N30K40	1,22	1,00	1,04	1,46	1,26	1,20
N60K80	1,17	0,94	1,00	1,36	1,04*	1,10**
N90K120	1,14	0,92	1,01	1,35	1,08*	1,10**
Подкормки <sup>x</sup>	1,19	0,92	1,11	1,34*	1,37**	1,18
N30K40+ подкормки <sup>x</sup>	1,16	0,95	1,07	1,43	1,30*	1,18
N60K80+ подкормки <sup>x</sup>	1,14	0,93	1,03	1,41	1,37**	1,17
N90K120+ подкормки <sup>x</sup>	1,19	0,95	1,08	1,34*	1,26	1,16
Средние В	1,18	0,95	1,05	1,39	1,23	
$HCP_{05A} = 0,03$ $HCP_{05B} = 0,04$ $HCP_{05AB} = 0,09$ $HCP_{01A} = 0,04$ $HCP_{01B} = 0,05$ $HCP_{01AB} = 0,12$						

В нашем эксперименте уровень кальция в листьях яблони в разные годы различался на 20...30 %, тогда как под воздействием удобрений этот показатель изменялся на 5...13% причём только в те годы, когда кальциевый статус листьев был близок к оптимальному уровню.

Таким образом, за пять лет проведения исследований было установлено, что кальциевый статус листьев изучаемого сорта Синап орловский достаточно сильно изменяется по годам, что может быть связано с колебаниями концентрации мобильных форм кальция в корнеобитаемом слое почвы. При этом потери кальция из почвы при внесении удобрений постепенно способствуют снижению уровня кальция в листьях, а некорневые подкормки азотом и калием оказывают нестабильное воздействие.

### 6.3. Содержание кальция в ветвях яблони и вынос кальция из агроэкосистемы сада

Поскольку в ветвях яблони создаются промежуточные резервы кальция, которые могут быть в дальнейшем использованы при формировании плодов, определение кальциевого статуса побегов представляет интерес как способ прогноза возникновения Са-дефицитных расстройств в плодах. Для оценки информативности этого показателя в феврале...марте 2018, 2019 и 2020 гг. в изучаемом полевом опыте проведены учёт общей массы ветвей, удаляемых при обрезке, и определение содержания Са в ветвях разного возраста (Таблица 7).

**Таблица 7** - Содержание кальция в ветвях яблони сорта Синап орловский, 2018...2020 гг., % сух.в-ва.

Год (фактор А)	Дозы удобрений (фактор В)	Возраст древесины (фактор С)			Средние АВ	Средние В	Средние А
		1- летняя	2- летняя	3- летняя			
2018	Контроль	1,04	1,17	1,06	1,09	Контроль 1,26	1,06
	N30K40	1,02	1,19	0,92	1,04		
	N60K80	1,10	1,13	0,89	1,04		
	N90K120	1,01	1,03	1,17	1,07		
	Средние АС	1,04	1,13	1,01			
2019	Контроль	1,04	0,96	0,96	0,99	N30K40 1,13	1,06
	N30K40	1,03	0,99	1,06	1,03		
	N60K80	1,04	0,93	1,19	1,05	N60K80 1,07	
	N90K120	1,16	0,76	1,54	1,15		
	Средние АС	1,07	0,91	1,19			
2020	Контроль	1,54	2,01	1,52	1,69	N90K120 1,16	1,34
	N30K40	1,46	1,29	1,17	1,31		
	N60K80	1,15	1,29	0,91	1,12		
	N90K120	1,53	1,15	1,07	1,25		
	Средние АС	1,42	1,44	1,17			
Средние С		1,18	1,16	1,12			
$\begin{aligned} & \text{HCP}_{05A} = 0,15 \quad \text{по } B_{05} F_{\Phi} < F_T \quad \text{по } C_{05} F_{\Phi} < F_T \\ & \text{по } AB_{05} F_{\Phi} < F_T \quad \text{по } AC_{05} F_{\Phi} < F_T \quad \text{HCP}_{05BC} = 0,30 \quad \text{по } ABC_{05} F_{\Phi} < F_T \end{aligned}$							

В течение трёх зимних периодов содержание кальция в ветвях варьировало в пределах 0,76...2,01% сух. в-ва, при этом не было выявлено значимых различий по содержанию элемента между ветвями разного возраста. Достоверный эффект от применения удобрений наблюдался только в 2-летней древесине, где уровень кальция на контроле в среднем за три года был существенно выше, чем в варианте с внесением наибольшей дозы удобрений.

Хотя содержание кальция в ветвях не зависело от их возраста и применения удобрений, средний по опыту уровень кальция в древесине в зимний период 2020 г. был достоверно больше, чем в 2019 и 2018. Сопоставляя данные Таблиц 6 и 7, можно заметить, что возрастание уровня Са в листьях летом 2019 г. сопровождалось достоверным увеличением концентрации элемента в ветвях в последующий зимний период. Таким образом, изучение накопления кальция в ветвях яблони показало статистически значимое варьирование показателя в разные годы, сходное с динамикой уровня кальция в листьях.

Изучение накопления кальция в ветвях, листьях и плодах яблони дало возможность определить некоторые составляющие биологического круговорота этого

элемента. Для этого наряду со сбором и взвешиванием ветвей, удаляемых при обрезке, во время листопада проводили учёт общей массы листьев и определяли содержание в них кальция.

Установлено, что деревья сорта Синап орловский на подвое 54-118, растущие по схеме 3×6м, на пятый год после посадки вынесли около 23 кг/га кальция, на шестой год – 26 кг/га, на седьмой год – 38 кг/га. Увеличение выноса кальция произошло преимущественно за счёт увеличения массы вегетативных органов. Также, в вегетационном периоде 2019...2020 гг. увеличение иммобилизации кальция в листовом аппарате было связано с возрастанием его концентрации в листьях на 40% по сравнению с уровнем предыдущих лет.

Таким образом, изучение кальциевого статуса плодов и вегетативных органов яблони показало, что концентрация элемента значительно варьирует по годам, то есть под влиянием природных факторов. Агротехнические факторы (внесение удобрений) ежегодно влияли на содержание кальция в плодах, а содержание элемента в листьях изменялось под действием удобрений только когда этот показатель был близок к оптимальному уровню. Трёхлетнее изучение накопления кальция в ветвях яблони показало сходство динамики кальция в ветвях и листьях.

## **ГЛАВА 7. ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ СОСТОЯНИЕМ ПОЧВЕННОГО КАЛЬЦИЯ И ЕГО СОДЕРЖАНИЕМ В ПЛОДАХ И ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ ЯБЛОНИ**

В результате проведённых пятилетних исследований был получен массив экспериментальных данных, позволивший провести сопряжённую оценку уровня кальция в разных компонентах системы «почва-растение» садового агроценоза. Поиск зависимостей между уровнем различных форм кальция в почве и концентрацией элемента в плодах и вегетативных органах яблони проведён при помощи корреляционного анализа. Данные, характеризующие состояние кальция в различных компонентах системы «почва-растение» обобщены в Таблице 8.

Сопоставляя данные о концентрации кальция в почве с данными об уровне элемента в листьях, можно увидеть, что кальциевый статус листьев соответствует данным о средних за вегетационный период уровнях водорастворимого Са в почве.

Оценка взаимосвязи показателей кальциевого статуса листьев и почвы показала, что статистически значимой взаимосвязи между обменным кальцием в почве и содержанием кальция в листьях яблони практически не наблюдалось. При этом коэффициенты корреляции между водорастворимым кальцием в почве в августе и концентрацией кальция в листьях были высокими - в пределах 0,837...0,893 (Таблица 9). Можно предположить, что содержание Са в листьях однолетних приростов, отобранных в сроки, рекомендуемые для проведения листовой диагностики (фаза затухания роста побегов), преимущественно определяется уровнем водорастворимого Са в почве в середине периода вегетации.

Изменения кальциевого статуса плодов, в отличие от показателя для листьев, происходили не синхронно с изменением уровня водорастворимого Са в почве, а

«запаздывали» на 1 год (Таблица 8). Это может быть связано с тем, что кальций в яблоне перемещается вверх по дереву в течение ряда вегетационных периодов, и при этом создаются его промежуточные резервы кальция в корнях и ветвях, которые в дальнейшем становятся источником элемента для формирования плодов в последующих периодах вегетации (Hangera, 1979; Terblanchea, 1979). Также известно, что плоды яблони накапливают кальций, поступающий по ксилеме, менее интенсивно, чем листья, поскольку имеют более низкий уровень транспирации (Kalcsits et al., 2020). Таким образом, поступление кальция в плоды является более медленным процессом, по сравнению с его поступлением в листья.

**Таблица 8** - Показатели состояния Са в системе «почва-растение» среднерослого яблоневого сада.

Годы	Формы Са в почве*						Са в растении	
	Обменный Са, ммоль/100 г			Водорастворимый Са, ммоль/100 г			Са в листьях **	Са в плодах, ***
	0...20 см	20...40 см	40...60 см	0...20 см	20...40 см	40...60 см		
2016	15,69	15,69	14,99	1,61	1,27	1,28	1,18	10,30
2017	15,61	15,68	14,79	0,43	0,24	0,18	0,95	9,01
2018	14,96	14,75	14,00	0,21	0,19	0,16	1,05	7,81
2019	15,08	15,30	14,52	0,64	0,56	0,54	1,39	6,42
2020	13,90	14,11	13,45	0,39	0,29	0,25	1,23	9,96

\*средние по всем вариантам опыта уровни содержания Са в почве за период май...сентябрь каждого года;

\*\*среднее по всем вариантам опыта содержание Са в листьях, отобранных в последнюю декаду июля каждого года, % сух. в-ва;

\*\*\* среднее по всем вариантам опыта содержание Са в плодах съёмной зрелости, мг/100 г сырой массы

**Таблица 9** – Коэффициенты корреляции между содержанием Са в листьях яблони (% сух. в-ва) и содержанием Са в почве в различные месяцы текущего периода вегетации.

Месяц	Обменный Са, ммоль/100 г			Водорастворимый Са, ммоль/100 г		
	0...20 см	20...40 см	40...60 см	0...20 см	20...40 см	40...60 см
Май	-0,17	0,019	0,142	-0,058	0,014	0,016
Июнь	0,222	0,183	0,280	-0,060	0,060	0,149
Июль	-0,220	-0,008	-0,184	0,115	0,133	0,141
Август	-0,215	-0,023	-0,033	<b>0,893**</b>	<b>0,896**</b>	<b>0,837**</b>
Сентябрь	0,232	0,062	<b>0,376*</b>	0,333	0,187	0,210

Здесь и далее: \* корреляция достоверна при уровне значимости 5%

\*\* корреляция достоверна при уровне значимости 1%

Мы провели оценку корреляций между содержанием кальция в плодах съёмной зрелости (отобранных в первую декаду сентября) и уровнем обменного и водорастворимого кальция в корнеобитаемом слое почвы в разные месяцы текущего вегетационного периода, а также уровнем почвенного кальция в конце предшествующего периода вегетации.

В нашем эксперименте уровень обменного кальция в верхнем слое почвы под садом незначительно коррелировал с кальциевым статусом плодов (Таблица 10). В то же время были установлены достоверные положительные корреляции между концентрацией Са в яблоках и содержанием в почве его водорастворимых форм в мае, июне, июле и сентябре текущего периода вегетации (Таблица 10).

**Таблица 10** – Коэффициенты корреляции между содержанием Са в плодах яблони и содержанием Са в почве (слой 0...20 см) в *текущий* период вегетации.

Формы Са в почве	Месяц				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Обменный Са, ммоль/100 г	0,021	0,118	0,045	0,007	-0,453**
Водорастворимый Са, ммоль/100 г	0,399*	0,451**	0,356*	-0,170	0,336

Оценка зависимостей между концентрацией Са в плодах и содержанием его обменных и водорастворимых соединений в почве в предшествующем периоде вегетации подтвердила «отсроченное» влияние изменения условий почвенного питания на кальциевый статус плодов. Концентрация кальция в яблоках достоверно коррелировала с уровнем почвенного водорастворимого кальция в августе и сентябре предшествующего периода вегетации (Таблица 11), причём коэффициенты корреляции были выше, чем при сопоставлении показателей текущего года. Таким образом, количество кальция, содержащееся в плодах яблони на момент уборки урожая, в значительной мере определяется почвенными условиями кальциевого питания деревьев в предшествующем периоде вегетации.

**Таблица 11** – Коэффициенты корреляции между содержанием Са в плодах яблони и содержанием различных форм Са в почве (слой 0...20 см) во второй половине *предшествующего* периода вегетации

Формы Са в почве	Месяц	
	Август	Сентябрь
Обменный Са, ммоль/100 г	-0,335	0,560**
Водорастворимый Са, ммоль/100 г	0,689**	0,402*

Анализ взаимосвязей между показателями, характеризующими почвенный кальций, и концентрацией элемента в плодах показал, что содержание в почве водорастворимого кальция может быть перспективным диагностическим показателем для оценки обеспеченности яблони этим элементом. Определение уровня водорастворимого кальция в конце периода вегетации можно использовать для прогноза кальциевого статуса плодов следующего года. Согласно нашим данным, если в корнеобитаемом слое агросерых почв Среднерусской возвышенности содержание водорастворимого Са на протяжении периода вегетации не превышает 1 ммоль/100 г,

то в следующем году для плодов яблони существует высокий риск появления Са-дефицитных физиологических расстройств.

Наши результаты подтверждают предположение о «конкуренции» между плодами и листьями за кальций, поступающий по ксилеме в течение периода вегетации. Поэтому использование листовой диагностики для прогноза потенциальной лёжкоспособности плодов может быть неинформативным.

Поскольку в ветвях яблони создаются промежуточные резервы Са, которые могут быть в дальнейшем использованы при формировании плодов, определение кальциевого статуса побегов также представляет интерес как способ выявления риска возникновения Са-дефицитных расстройств в плодах.

Статистический анализ взаимосвязей в системе «почва-ветви яблони» показал, что содержание элемента в 1-летних и 2-летних ветвях достоверно коррелировало с уровнем почвенного водорастворимого кальция в августе и сентябре предшествующего периода вегетации (Таблица 12).

**Таблица 12** – Коэффициенты корреляции между содержанием Са в ветвях яблони и в почве в различные месяцы *предшествующего* периода вегетации

Воз- раст ветвей	Месяц	Обменный Са, ммоль/100 г		Водорастворимый Са, ммоль/100 г	
		0...20 см	20...40 см	0...20 см	20...40 см
1- летние	Май	-0,317	-0,070	-0,267	-0,131
	Июнь	0,119	-0,059	-0,187	-0,263
	Июль	-0,380	-0,145	0,014	0,004
	Август	-0,245	-0,123	<b>0,663**</b>	<b>0,670**</b>
	Сентябрь	0,276	-0,170	<b>0,432*</b>	<b>0,515**</b>
2- летние	Май	-0,171	-0,103	-0,283	-0,018
	Июнь	<b>0,595**</b>	0,226	-0,254	-0,202
	Июль	0,041	0,189	-0,042	0,130
	Август	0,162	0,229	<b>0,504*</b>	<b>0,565**</b>
	Сентябрь	<b>0,613**</b>	0,314	0,337	0,260

Статистически значимые корреляции с содержанием в почве обменных форм кальция установлены только для 2-летних ветвей. Содержание кальция в 3-летних ветвях достоверно не коррелировало с уровнем почвенного кальция, что можно объяснить эффектом «разбавления», поскольку у ветвей этого возраста большая часть массы приходится на древесину, тогда как кальций накапливается преимущественно в коре.

Таким образом, показатели корреляции между содержанием кальция в однолетних приростах яблони зимой (февраль...март) и водорастворимым кальцием в почве во второй половине предшествующего периода вегетации близки к аналогичным показателям, установленным для плодов яблони. Следовательно, содержание кальция в однолетних приростах можно использовать для прогноза кальциевого статуса плодов в качестве показателя, дополняющего почвенную диагностику. Чтобы оценить возможности такого прогноза, были изучены корреляции между содержанием кальция в ветвях в зимний период и его содержанием в плодах и листьях в *последующем* периоде вегетации (Таблица 13).

Изучение взаимосвязей между концентрацией Са в плодах и вегетативных органах показало, что содержание элемента в плодах положительно коррелировало с уровнем кальция в 1-летних ветвях, наблюдаемым в предшествующий зимний период (Таблица 13). Таким образом, содержание Са в ветвях можно рассматривать как прогностический показатель, дополняющий почвенную диагностику. Сопоставляя данные Таблиц 7 и 8, можно сделать вывод, что содержание Са в однолетних приростах яблони в зимний период менее 1,5% сух. массы также свидетельствует о высоком риске дефицита Са в плодах.

**Таблица 13** – Коэффициенты корреляции между содержанием Са в плодах и вегетативных органах яблони

	Са в ветвях, % сух.в-ва			Са в листьях, % сух.в-ва
	1-летние	2-летние	3-летние	
Са в плодах, мг/100 г сырой массы	0,471*	0,324	0,022	-0,143
Са в листьях, % сух.в-ва	0,277	-0,448*	-0,070	

Анализ динамики кальция во всех компонентах системы «почва-растение» яблоневого сада и изучение взаимосвязей между состоянием почвенного кальция и его концентрацией в вегетативных органах и плодах дают основание считать, что уровень водорастворимого кальция в почве является показателем, наиболее объективно отражающим условия кальциевого питания яблони. Важно учитывать, что почвенная диагностика кальциевого питания, проводимая на основе этого показателя, предназначена для планирования подкормок кальцием в следующем периоде вегетации.

В качестве показателя, дополняющего почвенную диагностику, можно использовать содержание кальция в однолетних побегах в зимний период.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы впервые было проведено достаточно длительное (5 последовательных периодов вегетации) систематическое исследование кальциевого режима яблоневого сада, в результате которого был получен многолетний массив данных о динамике элемента в системе «почва-растение». Анализ полученных результатов позволил выявить взаимосвязи между состоянием почвенного кальция и концентрацией этого элемента в вегетативных органах и плодах с учётом метеорологических и агротехнических факторов, а также специфических особенностей агроэкосистемы сада (многолетней монокультуры, периодичности плодоношения, более длинного периода питания растений).

Впервые было показано, что для 4...8-летних деревьев яблони сорта Синап орловский значимыми факторами, влияющими на процессы накопления кальция в плодах и вегетативных органах, были:

- содержание в почве наиболее доступных соединений кальция (водорастворимых);
- метеорологические особенности периода вегетации;
- плодовая нагрузка деревьев;
- применение азотных и калийных удобрений (как почвенных, так и листовых).

Первый из этих факторов оказывал наиболее сильное влияние на уровень кальция в плодах и вегетативных органах, однако его связь с содержанием Са в плодах была «отсроченной» на один год. Благодаря этому предлагается использовать уровень водорастворимых соединений Са в почве сада в конце периода вегетации для прогноза кальциевого статуса плодов следующего года и планирования агротехнических мероприятий, корректирующих поступление элемента в плоды.

Установлено, что дополнительное азотное и калийное питание оказывает значимое влияние на уровень Са в плодах, но воздействие удобрений только усиливает эффект от воздействия природных факторов. Корневое и некорневое применение удобрений способствовало достоверному увеличению содержания кальция в плодах, если значения показателя на контроле превышали 9,4 мг/100 г сырой массы, при более низком уровне кальция использование удобрений приводило к дополнительному снижению показателя.

При оценке корреляций между уровнем Са в вегетативных органах и плодах яблони выявлено, что содержание Са в 1-летних ветвях можно рассматривать как прогностический показатель, дополняющий почвенную диагностику, тогда как содержание Са в листьях не коррелирует с его содержанием в плодах.

## **ВЫВОДЫ**

Изучение кальциевого режима различных компонентов агроэкосистемы неорошаемого яблоневого сада на фоне корневого и некорневого применения азотных и калийных удобрений в течение 5 периодов вегетации позволило установить следующее.

1. В агросерой почве вступающего в плодоношение среднерослого яблоневого сада, имеющей повышенное содержание обменного кальция, уже в первые годы после посадки деревьев начинается постепенное снижение запасов доступных растениям форм элемента: за пять лет наблюдений уровень обменного кальция снизился на 8% (потери из 60 сантиметрового слоя почвы составили 317,6 кг/га). Концентрация водорастворимых форм кальция подвержена значительным сезонным колебаниям, которые зависят от гидротермического режима почвы и усиливаются при внесении удобрений. Потребление кальция молодыми среднерослыми деревьями яблони не оказывает существенного влияния на кальциевый режим почвы в первые 7 лет жизни сада.

2. При ежегодном внесении в агросерую почву под садом азотных и калийных удобрений в дозах N30K40... N90K120 уже в первые годы их применения происходят изменения условий кальциевого питания яблони, которые заключаются в увеличении концентрации водорастворимых форм кальция, в то время как потери обменных форм из корнеобитаемого слоя, дополнительно увеличиваются. Ежегодное внесение удобрений в дозе N90K120, рекомендуемой для сильно- и среднерослых садов ЦЧЗ, оказывало наиболее сильное воздействие на буферность почвы по отношению к кальцию: за пять лет проведения исследований уровень обменного кальция в этом варианте достоверно снизился в слое почвы 0...40 см, а колебания уровня

водорастворимого кальция во влажные годы были в 2...4 раза выше, чем в других вариантах опыта.

3. Содержание кальция в плодах яблоны сорта Синап орловский зависело от условий минерального питания и от урожайности деревьев. Концентрация кальция в плодах съёмной зрелости коррелировала ( $r=0,45...0,58$ ;  $P>0,01$ ) с уровнем водорастворимого кальция в почве в первой половине периода вегетации, а также с содержанием водорастворимого кальция во второй половине предшествующего периода вегетации ( $r=0,61...0,69$ ;  $P>0,01$ ). Корневое и некорневое применение удобрений способствовало достоверному увеличению содержания кальция в плодах, если значения показателя на контроле превышали 9,4 мг/100 г сырой массы, при более низком уровне кальция использование удобрений приводило к дополнительному снижению показателя.

4. Для агросерых почв Среднерусской возвышенности уровень водорастворимого кальция в конце периода вегетации можно использовать для прогноза кальциевого статуса плодов следующего года. Содержание Са в 1-летних и 2-летних ветвях в зимний период можно рассматривать как прогностический показатель, дополняющий почвенную диагностику.

5. Содержание кальция в листьях яблоны в разные годы различалось в 1,1...1,5 раза и при этом коррелировало ( $r=0,89...0,84$ ;  $P>0,01$ ) с уровнем водорастворимого кальция в почве, наблюдавшимся ежегодно в августе.

6. Ежегодное в течение 6 лет внесение азотных и калийных удобрений оказало существенное воздействие на показатели кислотности и запасы элементов питания в агросерой почве под садом. Во всех вариантах опыта выявлено снижение  $pH_{KCl}$  и количества подвижного фосфора. При этом происходило постепенное насыщение почвы обменными формами калия, содержание которых выросло в 2-3 раза в зависимости от дозы удобрений. Внесение азотных удобрений способствовало увеличению количества  $N_{min}$  в почве в 1,5 – 5 раз, которое наблюдалось в 1-й половине периода вегетации, причём преобладающей формой  $N_{min}$  был аммоний.

### **Предложения для агрохимической практики и производства**

1. При эксплуатации неорошаемых садов яблоны на агросерых почвах Центрально-Чернозёмного региона РФ ежегодно во второй половине периода вегетации (август...сентябрь) определять содержание водорастворимого кальция в слое почвы 0...40 см. При концентрации водорастворимых форм кальция менее 1ммоль/100 г необходимо планировать подкормки деревьев кальцием в следующем периоде вегетации.

2. В качестве показателя, дополняющего почвенную диагностику, рекомендуется использовать содержание кальция в однолетних побегах яблоны в зимний период. При содержании Са в побегах менее 1,5% сух. в-ва следует планировать подкормки деревьев кальцием, чтобы снизить риск Са-дефицитных физиологических расстройств в плодах последующего периода вегетации.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### В рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Scopus, WoS и RSCI:

1. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., **Столяров М.Е.**, Макаркина М.А. Содержание кальция в плодах и листьях яблони в зависимости от некорневых подкормок // Садоводство и виноградарство. 2018. № 5. С. 49-57. doi: 10.31676/0235-2591-2018-5-49-57. IF(РИНЦ): 0.704
2. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Ветрова О.А., **Столяров М.Е.** Влияние некорневых подкормок на содержание калия, кальция и магния в плодах двух сортов яблони // Агрехимия. 2018. № 8. С. 22–33. doi: 10.1134/S0002188118080094. IF(РИНЦ): 1.011
3. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., **Столяров М.Е.** Сезонная динамика минерального азота в агросерой почве яблоневого сада // Вестник КрасГАУ. 2020. № 11(164). С. 87–97. doi: 10.36718/1819-4036-2020-11-87-97. IF (РИНЦ): 0.574
4. **Столяров М.Е.**, Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И. Влияние корневого и некорневого удобрения на качество плодов яблони двух сортов // Агрехимический вестник. 2020. № 6. С. 59–67. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10087. IF(РИНЦ): 0.699
5. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., **Столяров М.Е.** Оценка динамики минерального азота в агросерой почве под семечковыми и косточковыми садами // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 5. С. 16-20. doi: 10.31857/2500-2082/2022/5/16-20. IF(РИНЦ): 0.512

### В прочих изданиях:

1. Leonicheva E.V., Roeva T.A., Leonteva L.I., **Stolyarov M.E.** Calcium in the soil-plant system of apple orchard when using nitrogen and potash fertilizers // E3S Web of Conferences. 2021. V. 254. art. 05010. doi: 10.1051/e3sconf/202125405010. SJR:0.237
2. **Столяров М.Е.** Влияние некорневых подкормок на накопление калия и кальция в плодах яблони // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2017. Т. 48. № 6. С. 126-134. IF(РИНЦ): 0.492
3. **Столяров М. Е.** Динамика обменных форм калия в серых лесных почвах молодого яблоневого сада при внесении минеральных удобрений // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 48. № 2. С. 286-289. IF(РИНЦ): 0.253
4. **Столяров М. Е.** Динамика доступных форм азота в серых лесных почвах молодого яблоневого сада // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2018. Т. 5. № 1. С. 127-131.
5. **Столяров М. Е.** Количественная оценка выноса биогенных элементов из молодого яблоневого сада // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2019. Т. 6. № 1. С. 93-96.
6. Leonicheva E.V., Roeva T.A., Leonteva L.I., **Stolyarov M.E.** Nitrogen regime at Naplic Luvisol in orchards at fertilization // BIO Web of Conferences. 2021. V. 36. art. 03013.

### Методические рекомендации:

1. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., **Столяров М.Е.** Изучение минерального состава плодов // Орёл: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур. 2018. 28 с.
2. Леоничева Е.В., Роева Т.А., **Столяров М.Е.**, Леонтьева Л.И. Диагностика минерального питания яблони // Орёл: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур. 2021. 36 с.