

На правах рукописи



Великий Андрей Васильевич

**ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ БИОГЕННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ (Mg, Ca, B, Zn) НА ПЛОДОРОДИЕ БУРЫХ ЛЕСНЫХ
КИСЛЫХ ПОЧВ, УРОЖАЙ И КАЧЕСТВО ЗЕЛЕННОГО ЧАЙНОГО
ЛИСТА В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ**

06.01.04 – агрохимия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Краснодар – 2022

Диссертационная работа выполнена в лаборатории агрохимии и почвоведения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН)

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор РАН,
Малюкова Людмила Степановна

Официальные оппоненты: **Тишков Николай Михайлович**, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», главный научный сотрудник лаборатории агрохимии агротехнологического отдела

Леоничева Елена Вячеславна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией агрохимии ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур»

Ведущая организация: ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»

Защита диссертации состоится «28» апреля 2022 г. в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета: Д 220.038.03 на базе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» по адресу 350044, РФ, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Калинина 13 (главный корпус, 1 этаж, аудитория 106), тел./факс (8-861)221-58-61.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайтах: ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» – <http://www.kubsau.ru> и Высшей аттестационной комиссии – <http://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан « 28» февраля 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

доктор биологических наук, профессор



Цаценко Л.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Чай является международным напитком и одним из незаменимых пищевкусных продуктов. Возделывание его в России ограничено почвенно-климатическими условиями, к которым растения чая предъявляют повышенные требования (гидротермический режим, кислотность почв и минеральное питание).

На сегодняшний день влажные субтропики Черноморского побережья Краснодарского края (агломерация г. Сочи) являются основным чаепроизводящим регионом России. Длительное применение минеральных удобрений при возделывании этой культуры привело (на фоне увеличения почвенной кислотности) к росту подвижности ряда важнейших биогенных элементов (Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn), изменению их соотношения в почвенно-поглощающем комплексе и, в целом, трансформации почв уникальной приморской курортной зоны (Малюкова, 1997, 2014; Беседина, 2004; Дьяченко, 2004; Козлова, 2008; Козлова и др., 2019). Исходная ограниченность чаепригодных почвенно-климатических ресурсов в России, значительное сокращение площадей чая в последний период, а также деградационные изменения почв актуализируют исследования в области совершенствования системы удобрения чайных плантаций.

Одним из перспективных и наименее изученных направлений этой области является сбалансированное применение макро- (N, P, K, Mg, Ca) и микроудобрений (B, Zn), способное интенсифицировать физиологические и биохимические процессы, обеспечивающие повышение урожайности и качества продукции чая, а также сохранение и воспроизводство плодородия почв.

Степень разработанности темы: Для культуры чая в значительной степени изучены вопросы минерального питания чая в отношении NPK (Филиппова, Троянская, 1976; Бушин, 1985; Аргунова, Бушин, 1992; Малюкова, 1997, 2014; Добежина, 1998; Козлова, 2008). Имеется ряд исследований эффективности применения микроудобрений в условиях Западной Грузии (Шавишвили, 1973; Барабадзе, 1984, Дзадзуа, 1991; Годзишвили, Чеботарёва, 2009), а также в других чаепроизводящих регионах мира (Huiqun et al., 1987; Wu, Fang, 1994; Lian et al., 1998; Gohian et al., 2000; Mohotti et al., 2003; Li, 2005; Barman et al., 2011; Njoloma, 2012; Uradhyaya et al., 2012; Pan Zhu-Cai, 2015).

В России исследования в области микроэлементного состава почв, растений и применения микроудобрений на чайных плантациях были начаты в 90-е годы прошлого столетия. Было показано положительное влияние ряда элементов Cu, Mn, Zn, Fe (фолиарные обработки) на адаптивность чайного растения, биохимические показатели качества чайного сырья и готовой продукции (Притула, Белоус, 2001, 2003; Белоус, 2006). Были изучены особенности микроэлементного (Cu, Mn, Zn, Fe, B, Co) состава почв и растений чая; установлена обеспеченность их этими

элементами, выявлены почвенные факторы, контролирующие их подвижность (Бушин и др., 1994; Малюкова, 1997). При этом не были охвачены исследованиями, за исключением кратких сообщений (Дараселия и др., 1989; Годзиашвили, Чеботарёва, 2009), ещё 3 важнейших биогенных элемента (Mg, Ca, B), которыми обедняются почвы чайных плантаций при многолетней эксплуатации. К тому же для субтропической зоны России отсутствуют исследования эффективности корневого применения этой группы элементов (включая цинк), позволяющего пополнить запас не скомпенсированных элементов в почвах агроценоза.

Цель исследований. Изучить влияние корневого применения биогенных элементов (Mg, Ca, B, Zn) на плодородие бурых лесных кислых почв, урожайность и качество зеленого чайного листа в условиях влажных субтропиков России.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить агрохимические и биологические свойства почв, определяющие их плодородие, на фоне корневого применения элементов.
2. Установить особенности влияния биогенных элементов на фотосинтетическую активность чайного растения, его рост и урожайность во взаимосвязи с метеорологическими условиями.
3. Определить влияние Mg, Ca, B, Zn на элементный состав зрелого листа и ювенильных побегов (3-листной флеш) чайного растения.
4. Оценить влияние биогенных элементов на качество чайного сырья.
5. Определить экономическую эффективность применения Mg, Ca, B, Zn на чайных плантациях.

Научная новизна. Впервые установлено влияние корневого применения цинка, магния, бора и кальцийсодержащего природного материала на агрохимические свойства и питательный режим бурых лесных кислых почв под культурой чая. Выявлена активизация ростовых процессов (урожай и побегообразование) и повышение качества чайного сырья при применении этих элементов и от их совместного внесения (Zn+B+Mg). При корневом внесении бора установлено существенное повышение урожайности чайного листа (с сохранением его качества) и рентабельности производства.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты диссертационной работы дополняют существующие знания в области минерального питания чайного растения (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze), педохимии изученных элементов, а также факторов, определяющих качество чайного сырья. Установленные теоретические обобщения демонстрируют целесообразность включения ряда изученных элементов (кальций, бор, цинк) в систему удобрения чайных плантаций, что обеспечит повышение урожайности, в том числе в экстремально по влагообеспеченности годы, качества сырья, а также сохранение и воспроизводство плодородия ограниченного фонда чаепригодных почв.

Методология и методы диссертационного исследования. Проведение научной работы основывается на использовании полевых, лабораторных и статистических методов исследования: методика постановки

полевых опытов (Доспехов, 1985); агрохимических методов анализа почвенных и растительных проб (Агрохимические методы, 1975; Методические указания..., 1985), методов оценки состояния растений (Воронцов, 1946; Шлык, 1971; Будаговский и др., 1988; Будаговская, 2001). Статистическая оценка экспериментальных данных выполнена методами описательной статистики, корреляционного и дисперсионного анализов с использованием программы Microsoft Excel (2010) и «Агрохимия».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Применение кальцийсодержащего вещества и сульфата цинка восполняет запасы этих элементов в почвах, что способствует сохранению и воспроизводству их плодородия.

2. Корневое применение бора, кальцийсодержащего природного вещества и цинка увеличивает урожай зеленого чайного листа на 27, 22 и 14 %, соответственно, и является экономически оправданным технологическим приемом.

3. Корневое применение кальцийсодержащего природного вещества и цинка увеличивает содержание танинов в 3-листной флешки чайного растения в первую волну роста в среднем на 2 %.

Степень достоверности результатов: экспериментальные данные получены с использованием классических и современных методов лабораторного анализа на базе полевого опыта с удобрениями. Защищаемые положения и выводы по диссертации оригинальны и обоснованы. Достоверность результатов работы подтверждается статистической оценкой экспериментальных данных. Первичная документация отвечает требованиям, предъявляемым к регистрации научных результатов, и соответствует представленной научной работе.

Личный вклад автора: совместно с научным руководителем выбрана тема, проведено планирование эксперимента, подготовлены публикации и разработана структура диссертации. Автор самостоятельно проанализировал состояние исследуемой проблемы, выполнил полевые и лабораторные исследования, провел статистическую обработку, анализ и обобщение экспериментальных данных, сделал аргументированные выводы.

Апробация работы. Материалы исследований были доложены на 7 очных и 6 заочных научных мероприятиях. Международные научно-практические конференции: IV-ая конференция «Научно–техническое творчество молодёжи – путь к обществу, основанный на знаниях» в рамках XII Всероссийской выставки научно-технического творчества молодёжи (ВВЦ, Москва, 2012); 46-ая конференция молодых ученых, докторантов, аспирантов и соискателей ученых степеней доктора и кандидата наук "Эффективность применения средств химизации в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур" (ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, Москва, 2012); конференция «Актуальные вопросы плодородства и декоративного садоводства в начале XXI века», посвященная 120-летию основания института и 80-летию основания сада-музея «Дерево-Дружбы»; конференция «Научное обеспечение устойчивого развития плодородства и декоративного

садоводства», посвященная 125-летию основания института и 85-летию основания сада-музея «Дерево-Дружбы» (ВНИИЦиСК, Сочи, 2019); IV-ая конференция по продовольственной безопасности и почвоведению «Всемирный день почв» (ВНИИЦиСК, Сочи, 2019). Всероссийские научно-практические конференции и совещание: IV-ая, V-ая и VI-ая конференция молодых ученых «Научное обеспечение АПК» (КубГАУ, Краснодар 2010, 2011, 2012); всероссийское совещание «Семьдесят пять лет Географической сети опытов с удобрениями - итоги и перспективы», (ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, Москва, 2016). Международные научно-практические интернет-конференции: «Агроэкологические аспекты применения удобрений в садоводстве», посвященной 120-летию создания лаборатории агрохимии и почвоведения; (ВНИИЦиСК, Сочи, 2014); «Инновационные технологии развития садоводства: методология и концепция модернизации» (ВНИИЦиСК, Сочи, 2017 г.); «Актуальные направления развития южного садоводства» (ФИЦ СНЦ РАН Сочи, Сочи, 2020); «Экология, биология и технология возделывания чая», посвященная 100-летию со дня рождения У.Г. Штеймана. (ФИЦ СНЦ РАН, Сочи, 2020).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 24 научные статьи, отражающие её основное содержание, из них 13 работ в журналах, рекомендованных ВАК РФ, в том числе по одной в журналах, индексируемых Scopus и RSCI; одна статья опубликована в базе WoS.

Объём и структура. Диссертация изложена на 202 страницах машинописного текста и включает введение, 1 главу литературного обзора и 5 глав, посвященных результатам исследования, а также заключение и предложения для агрохимической практики и производства. Результаты отражены в 39 таблицах и 41 рисунке в тексте, а также в 5 приложениях. Библиографический список содержит 342 наименования, в том числе 111 работ зарубежных авторов.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю доктору биологических наук, профессору РАН Малюковой Л.С., заведующей лабораторией агрохимии и почвоведения, кандидату биологических наук Козловой Н.В., кандидатам сельскохозяйственных наук Притуле З.В. и Пащенко О.И., а также сотрудникам лаборатории за оказанную поддержку и помощь при выполнении исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ (Литературный обзор)

В главе проанализированы эколого-биологические особенности растений чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) и влияние макроудобрений на их выращивание, а также природно-климатические условия и почвенный покров района исследований (агломерация Сочи). Для изученной группы биогенных элементов подробно проанализирована их физиологическая роль, содержание в почве и растениях, градации обеспеченности, границы дефицита и избытка, влияние на урожайность и качество чая.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научно-исследовательская работа проведена на базе лаборатории агрохимии и почвоведения в рамках государственного задания ФГБНУ ВНИИЦиСК (г. Сочи), 16.04.03.03.03 (2010–2019 гг.), а с 2020 г. в рамках государственного задания ФИЦ СНЦ РАН - 0683-2019-0005-01-01.

Полевой мелкоделяночный опыт заложен в 2003 г. на чайной плантации районированным сортом Колхида (1983 г. посадки). Участок расположен на производственной плантации ЗАО «Дагомысчай» (поселок Уч-Дере, Лазаревский район, г. Сочи, Краснодарский край, 43°69'N, 39°64'E). Почвы опыта классифицировались как бурые лесные кислые окультуренные (согласно Классификации..., 1977). Площадь опытной деланки – 10 м². Повторность 3-кратная. Общая площадь опыта 0,05 га.

Схема опыта (в кг д.в./га): 1) контроль – N240P70K90; 2) сульфат магния (MgSO₄) – Mg60, с 2015 года изучается в последствии; 3) сульфат цинка (ZnSO₄) – Zn4,3, с 2017 года изучается в последствии, в связи с увеличением подвижного цинка в почве в 2–4 раза; 4) борная кислота (H₃BO₃) – B6; 5) смесь Zn+B+Mg (4,3, 6, 60, соответственно); 6) кальцийсодержащий природный материал (40–50 % CaO) вносится в количестве 250 кг/га.

Ежегодно эти вещества вносили на едином фоне N240P70K90 кг д.в./га в весенний период в верхний слой почвы с заделкой. Дозы макро (Mg, Ca) и микроэлементов (Zn, B) подобраны с учетом результатов, полученных в полевых опытах в условиях Западной Грузии (Шавишвили, 1973; Дараселия и др., 1989).

Изучение влияния элементов на плодородие бурых лесных кислых почв. Проведены отборы почвенных проб по вариантам опыта в 3-кратной полевой повторности в 2010 г. и 2013 г. (0–20 и 20–40 см); в 2016 г. и 2018 г. (0–20 см); в 2019 г. (0–20, 20–40 и 40–60 см). Для изучения сезонной динамики в 2012 г. проводили отборы проб на глубину 0–20 см в течение вегетационного периода.

Лабораторные анализы почв выполнены по общепринятым методикам (Агрохимические методы исследования, 1975; Практикум по агрохимии, 2001); влажность почвы – весовым методом; рН_{KCl} – потенциометрически (ионметр рН-121, Россия); алюминий и обменная кислотность по Соколову; гидролитическая кислотность по Каппену, содержание обменных форм Ca²⁺ и Mg²⁺ – трилометрически. Колориметрическим методом (прибор УСФ-01, Россия) определены: азот легкогидролизуемый – по Тюрину и Кононовой (с реактивом Несслера); азот нитратный – дисульфифеноловым методом; азот аммиачный с реактивом Несслера; подвижный фосфор по Ониани. Методом атомно-абсорбционной спектроскопии (прибор КВАНТ - АФА, Россия) определены: подвижный калий по Ониани; содержание подвижного цинка в вытяжке ААБ (рН 4,8). Определение базального дыхания почвы (эмиссия CO₂) проводили методом абсорбции с титриметрическим окончанием.

Для изучения влияния элементов на состояние растений чая в течение вегетационных периодов 2011–2020 гг. проводили отборы зрелых листьев (1–2-й физиологически зрелый лист, расположенный на ростовом побеге текущего прироста, после недоразвитого «рыбьего» нижнего листа) и ювенильных побегов (3-листная флешь).

Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофилла а (Chl_a), б (Chl_b) и каротиноидов (Car)) в листьях чая определяли после экстрагирования 100 % ацетоном – спектрофотометрически (фотометр Spekol 11, Германия, длина волны – 662, 644 и 440,5 нм, соответственно) с использованием расчетных формул Цинглера и Эгле (Шлык, 1971). Функциональное состояние фотосинтетического аппарата листьев чая оценивали с помощью прибора ЛРТ-3С (Будаговская и др., 2006, 2010) по параметру – индекс жизнеспособности или показатель относительного тушения флуоресценции хлорофилла (соотношение максимума флуоресценции к её стационарному уровню).

Ежегодно в течение листосборного периода проводили определение концентрации клеточного сока (ККС) – на полевом рефрактометре R-1 (Филиппов, 1975). Урожайность учитывали по вариантам опыта в периоды подхода чайного листа к сбору, согласно агроправилам (Методические..., 1977). Побегообразовательную способность растений чая оценивали по количеству побегов на 6 учетных делянках (площадью 0,25 м² каждая) по вариантам опыта. Для оценки механического состава чайного сырья отбирали образцы флешей по 100 грамм с каждого варианта и разбирали по фракциям: 2-х, 3-х, 4-листные нормальные побеги (флешей) и глушки (побег с остановившейся в росте верхней почкой).

В 3-х листовых флешах определяли содержание растворимого танина по методу Левенталя с пересчетным коэффициентом 5,82 по М.К. Джемухадзе (1950) и общую сумму экстрактивных веществ по методу В.Е. Воронцова (1946). По этим показателям рассчитывали коэффициент качества (Тенешвили, Гурабанидзе, 1972): $X = n100/ma$, где n – количество танина; m – содержание водорастворимых нетаннидов (разность между содержанием экстрактивных веществ и танина); a – содержание водорастворимых веществ (100 % минус количество экстрактивных веществ).

Макро- и микроэлементный составы листьев определяли после кислотного озоления образцов смесью кислот H_2SO_4 и HClO_4 (Гинзбург и др., 1963). Далее азот и фосфор определяли колориметрически по стандартным методикам на приборе УСФ-01 (Россия), кальций и магний – трилонометрически (Агрохимические..., 1975). Калий и микроэлементы – методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе КВАНТ - АФА, Россия (Методические указания..., 1985).

Математический анализ экспериментальных данных проведен методами описательной статистики, корреляционного и дисперсионного анализов в программе Microsoft Excel и «Агрохимия» (при $p \leq 0,05$). В таблицах и на рисунках представлено среднее±стандартное отклонение, диапазоны варьирования по годам.

Экономическую эффективность корневого применения элементов оценивали по уровню рентабельности и проценту окупаемости дополнительно применяемых затрат.

Метеорологические данные за период исследования (2011–2020 гг.) в целом были сопоставимы со средними многолетними для изучаемой зоны. При анализе урожайности изученные годы были разделены по метеоусловиям на относительно благоприятные (2011, 2013, 2014, 2018 и 2019 гг.) и неблагоприятные (2012, 2015, 2017 и 2020 гг.) для культуры чая.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ Mg, Ca, B, Zn НА ПЛОДОРОДИЕ БУРЫХ ЛЕСНЫХ КИСЛЫХ ПОЧВ

3.1 Кислотно-основные свойства почвы

Исследования показали, что через 7 лет применения удобрений (с 2003 по 2010 гг.) отмечалось подкисление верхнего слоя почв в сравнении с исходными значениями до закладки опыта в 2003 г. (pH_{KCl} $3,75 \pm 0,14$), наиболее существенное (на 0,5 ед. pH) на контроле с применением только NPK (рисунок 1). Применение кальция, цинка, бора и магния в целом снижало уровень подкисления на 0,20–0,35 ед. pH, в большей степени это проявлялось на варианте с магнием, где pH_{KCl} был соизмерим с исходными значениями. Для гидролитической и обменной кислотности почв были характерны аналогичные тенденции, которые коррелировали с показателем pH_{KCl} ($r = -0,84$ и $-0,76$, соответственно). Для этих же вариантов была характерна более высокая степень насыщенности почв основаниями – 11,9–17,2 % (в 1,3–1,9 раза выше в сравнение со значениями на контрольном варианте), что не выходило за пределы допустимого уровня для чая (Малюкова, Козлова, 2010).

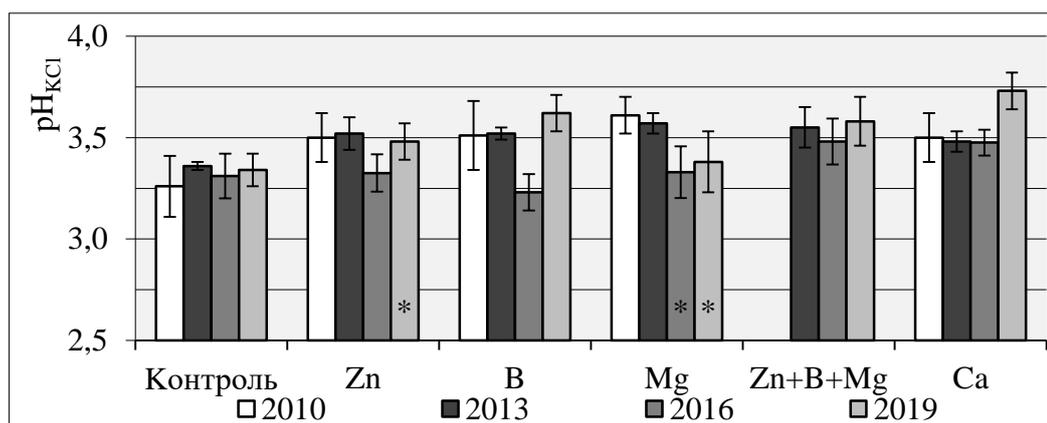


Рисунок 1 – Многолетняя динамика pH_{KCl} бурой лесной почвы в слое 0–20 см по вариантам опыта (октябрь–ноябрь)

Примечание: здесь и далее на рисунках 2–4 звездочкой (*) обозначено последствие магния или цинка

В 2019 году выявленные закономерности влияния изученных элементов (за исключением магния) сохранились (рисунок 1).

В 2016 году (через 13 лет применения удобрений) в связи с поступлением в почву большого количества растительной массы (после омолаживающей подрезки) почти для всех вариантов опыта отмечено подкисление почв в сравнении с 2010 г., более существенное для вариантов с магнием (последствие, через год после 12 летнего внесения в почву сульфата магния) и бором, сопровождающееся ростом содержания подвижного алюминия и снижением степени насыщенности основаниями.

3.2 Содержание гумуса, макро- и микроэлементов в почве

В 2010 году (через 7 лет после начала опыта) содержание гумуса увеличивалось на вариантах с внесением кальция, цинка, бора и на контроле (3,4–3,7 %) в сравнении с исходным уровнем (3,06±0,16 %) (рисунок 2). После весенней подрезки чайных шпалер на двулетнюю древесину (март, 2016 г.) в почву поступил дополнительный объем органического материала. Осенью 2016 года уже был отмечен существенный прирост содержания гумуса (в сравнении с 2010 г.) на всех вариантах опыта. Относительно контроля увеличение содержания гумуса (в 2016 году) отмечено на вариантах с применением магния, цинка и бора (на 0,30, 0,73 и 0,75 %, соответственно) и в 2019 году на вариантах кальций и смесь (на 0,23 и 1,08 %, соответственно).

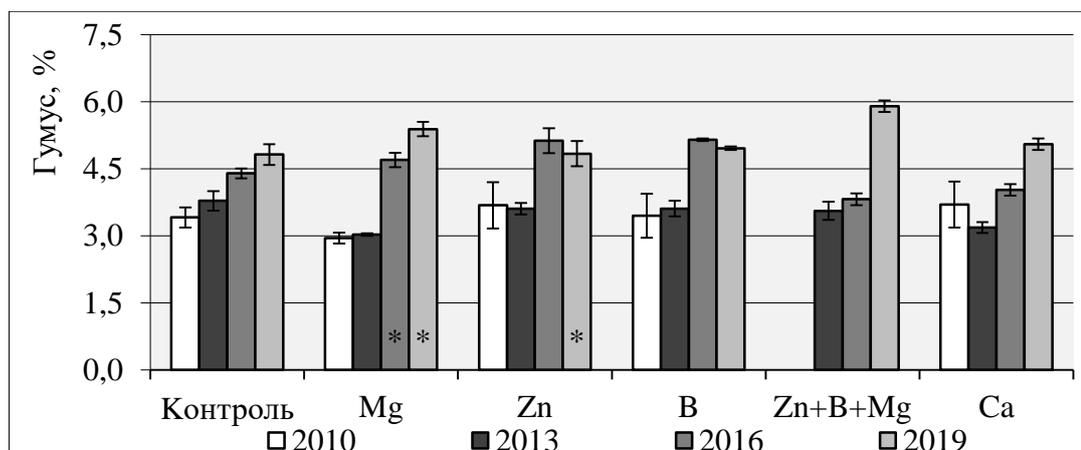


Рисунок 2 – Многолетняя динамика содержания гумуса (%) в почвенном слое 0–20 см по вариантам опыта (октябрь–ноябрь)

Содержание легкогидролизуемого азота ($N_{лг}$) варьировало в многолетней и сезонной динамиках в пределах средней и высокой обеспеченности (рисунок 3а). Преобладающей минеральной формой азота являлась аммиачная (61–80 мг/кг), которая превышала нитратную форму в 3–10 раз в осенний период, и в 30–40 раз в ранневесенний. В весенний период, до внесения удобрения, содержание нитратов было в среднем на порядок ниже, чем в осенний период (8–32 мг/кг), что обусловлено, по-видимому, активизацией процессов денитрификации. В 2016 году на вариантах магниевых (в последствии) и бор отмечена тенденция увеличения содержания аммиачного азота на 20–25 % в сравнении с контролем.

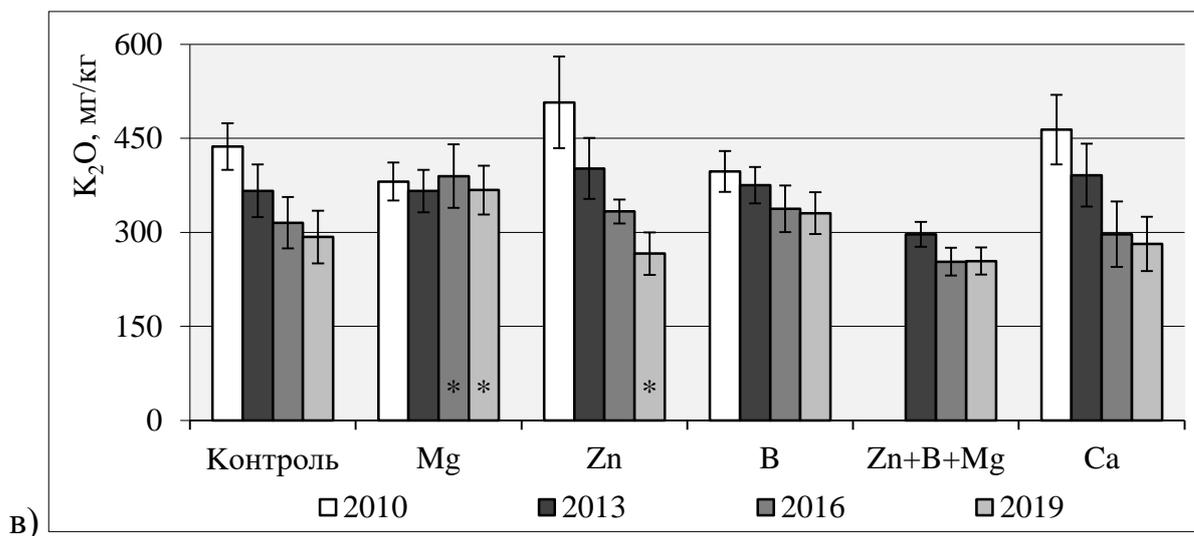
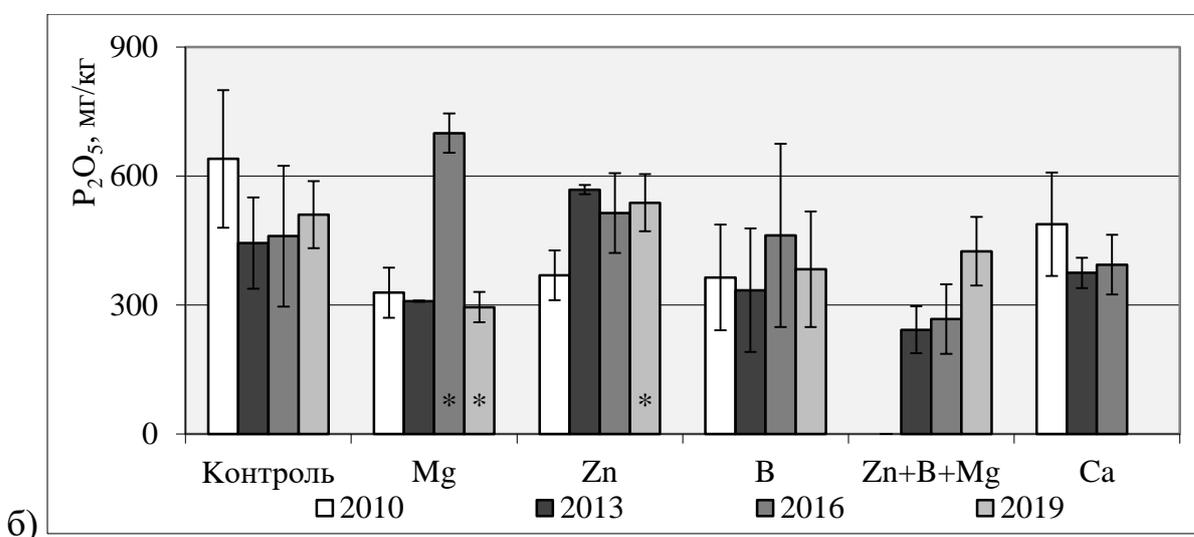
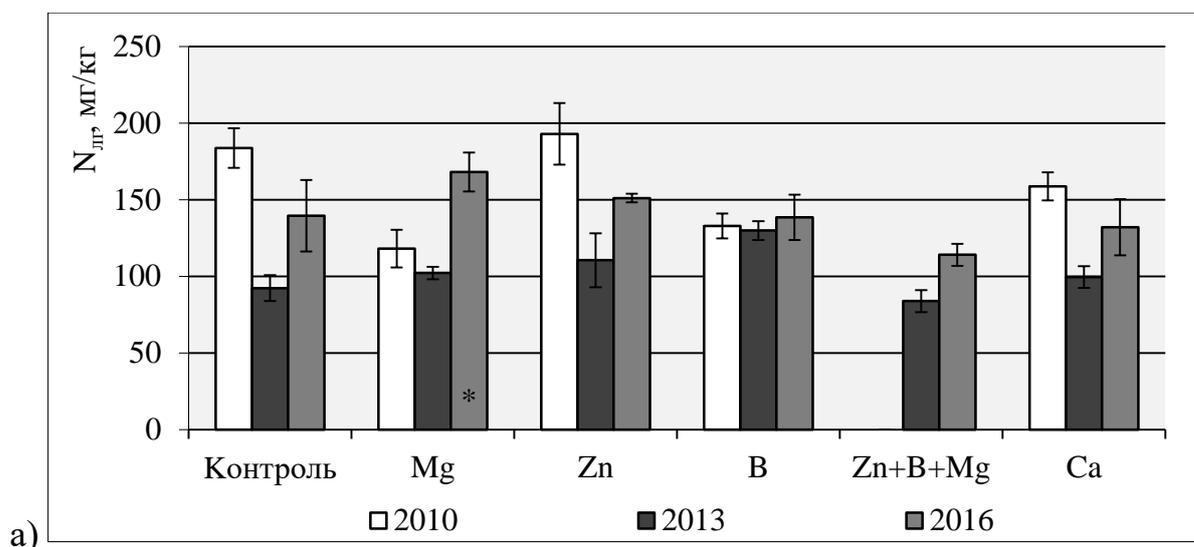


Рисунок 3 – Многолетняя динамика питательного режима почв в слое 0–20 см по вариантам опыта (октябрь–ноябрь): а) легкогидролизуемого азота; б) подвижного фосфора; в) подвижного калия

Содержание подвижных фосфатов в почвах (2010 год) на вариантах с внесением Mg, Zn, B и Ca было ниже контроля (рисунок 3б), что объясняется

образованием с этими элементами менее растворимых соединений или процессами конкурентного взаимодействия. В последующие годы тенденция снижения подвижных фосфатов сохранилась на вариантах с применением бора, смеси элементов и кальция. В 2016 году, через год после прекращения внесения сернокислого магния отмечено существенное повышение содержания подвижного фосфора в почве (рисунок 3б), которое стабилизировалась на прежнем уровне в 2019 году.

Содержание подвижного калия в почве по вариантам опыта в целом оценивалось как среднее и высокое (рисунок 3в). При внесении цинка количество подвижного калия в почве увеличивалось, а в период последствия снизилось относительно контроля. Применение сульфата магния в свою очередь привело к снижению подвижного калия в почве относительно контроля, а в последствии – к увеличению его содержания. Содержание калия на варианте смесь, в течение всего периода было значительно ниже других вариантов. В многолетней динамике выявлено снижение содержания подвижного калия на всех высокоурожайных вариантах, включая контроль.

Внесение кальцийсодержащего природного материала и сернокислого магния в течение 7 лет увеличивало содержание в почве обменных форм этих элементов до 4,1–5,0 ммоль(экв)/100 г (рисунок 4), в то время как на варианте контроль отмечено их снижение в 2,7 раза в сравнении с исходными показателями.

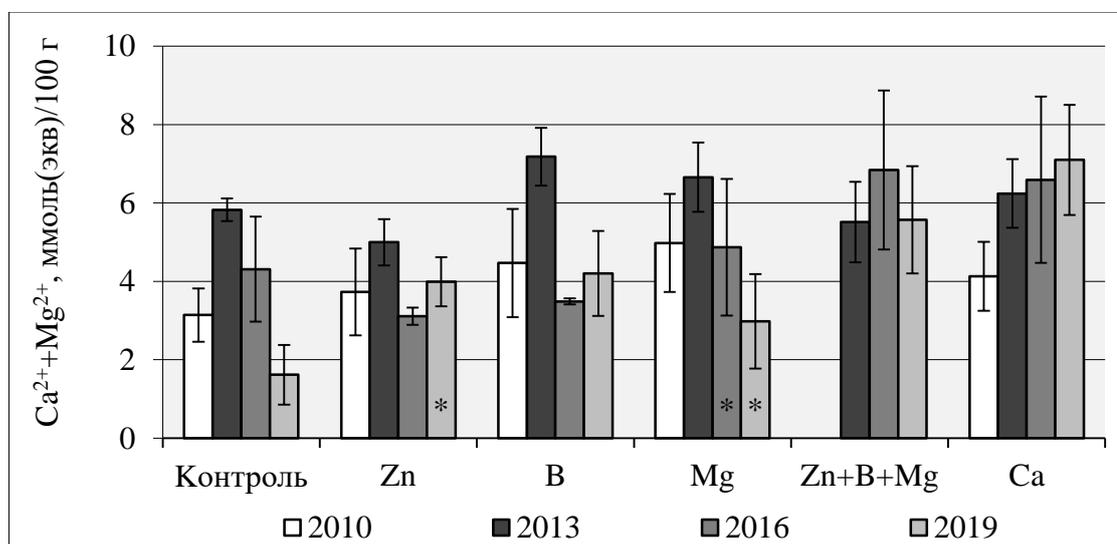


Рисунок 4 – Многолетняя динамика содержания суммы обменных катионов ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) в почвенном слое 0–20 см по вариантам опыта (октябрь–ноябрь)

Через 13 лет (рисунок 4) внесения кальцийсодержащего удобрения сумма обменных катионов в почве на варианте выросла в 1,6 раз, в сравнение с контролем и приблизилась к исходным (8,4 ммоль(экв)/100 г) (рисунок 4). Рост суммы обменных кальция и магния отмечен для варианта смесь, одним из компонентов которой является сернокислый магний. Для варианта Mg,

через год после прекращения его внесения, отмечено сохранение уровня обменных кальция и магния, а в 2019 – их снижение на 40 % (рисунок 4).

Применение цинксодержащих удобрений в течение 10 лет увеличило содержание подвижного цинка в 2–4 раза, что характерно для высокообеспеченных почв, но, при этом, не превысило уровень ПДК (23 мг/кг) (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика содержания подвижного цинка (мг/кг) в почве (0–20 см) за вегетационный период, 2012 г.

Вариант	Период определения, месяц			
	апрель	май–июль	август–октябрь	апрель–октябрь
Контроль	1,83±0,04	2,18±0,08	2,29±0,33	2,17±0,28
Zn	15,19±0,61	6,68±1,45	13,22±2,24	11,37± 4,03
Zn+B+Mg	3,58±0,30	2,86±0,56	4,15±0,76	3,63±0,83

3.3 Базальное дыхание почв (эмиссия CO₂)

Интенсивность «дыхания» почв опытных вариантов варьировала в течение года в пределах от 32 до 138 мг CO₂/ кг почвы в сутки, что обусловлено гидротермическими условиями, а также внесением минеральных удобрений (рисунок 5). Корневое применение кальция, магний и цинксодержащих веществ обеспечивало более быстрое восстановление (в течение месяца) дыхательной активности почв после внесения макроудобрений и последующий существенный её рост, превышающий контроль в среднем в 1,5–2 раза. Внесение борсодержащих удобрений более длительно (в течение 2–3 месяцев) ингибировало биологическую активность почв. Доля влияния фактора – «удобрения» (по данным дисперсионного анализа) возрастала от 55 % в апреле (НСР_{0,05}=21,2) до 93 % в августе (НСР_{0,05}=20,8) и снижалась к октябрю до 73 %.

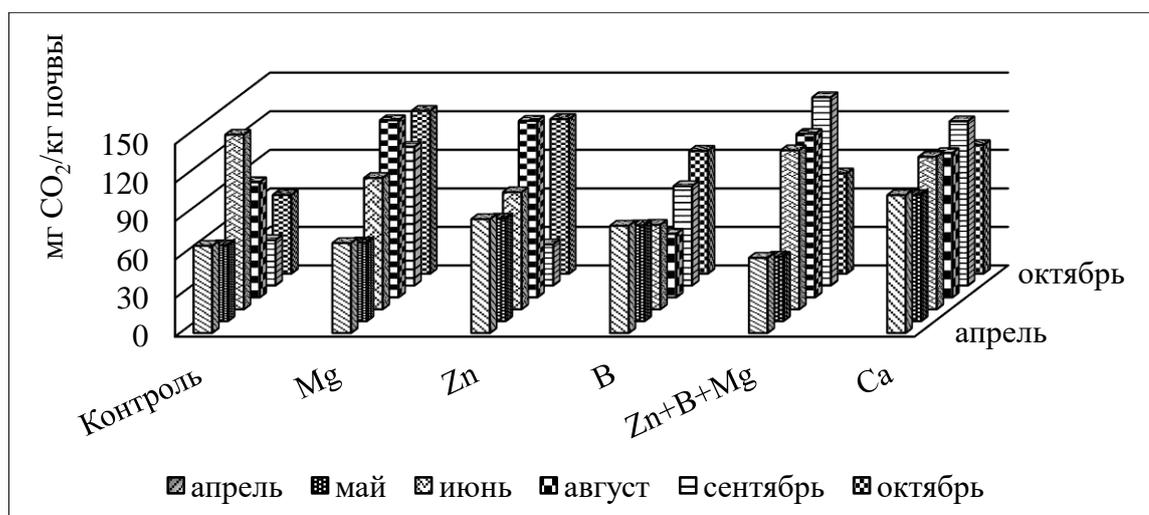


Рисунок 5 – Базальное дыхание почвы в слое 0–20 см по вариантам опыта в течение вегетационного периода (2012 г.)

ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ Mg, Ca, B, Zn НА ФОТОСИНТЕЗ, РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И УРОЖАЙ ЧАЙНОГО ЛИСТА

4.1 Фотосинтетическая деятельность чайного растения

Содержание пигментов в зрелых листьях чайного растения, в целом, существенно варьировало по сезонам, степени зрелости листа и вариантам опыта, в соответствии с фазами развития растений, температурным режимом и фотопериодизмом. Содержание хлорофилла *a* (1,21–2,52 мг/г) в среднем в 1,5–2 раза превышало содержание хлорофилла *b* (0,80–1,50 мг/г), а содержание каротиноидов (0,49–0,81 мг/г) было в 4–5 раз ниже суммы хлорофиллов (2,01–3,59 мг/г).

Увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов начиналось в летний период по мере созревания листа. Количественное содержание фотосинтетических пигментов в летний период при применении кальция, цинка и бора в зрелых листьях было соизмеримо или достоверно ниже контроля. Однако отмечено увеличение доли фотосинтетически активного Chl_a относительно суммы хлорофиллов в листьях растений этих вариантов в октябре 2012 года (после летней засухи) в сравнении с контролем на 4–10 %.

Анализ функциональной активности листьев чая в различные периоды вегетации показал, что на вариантах с кальцием и смесью элементов (Zn+B+Mg) отмечался достоверный рост (засуха в августе 2012 г.) индекса жизнеспособности в сравнении с контролем (рисунок 6). В 2014 г. более высокие показатели были зафиксированы в начале засухи на варианте с кальцием (I декада) и на варианте с цинком (II декада) в сравнении с контролем (рисунок 6), что свидетельствовало о более высокой удельной продуктивности фотосинтеза.

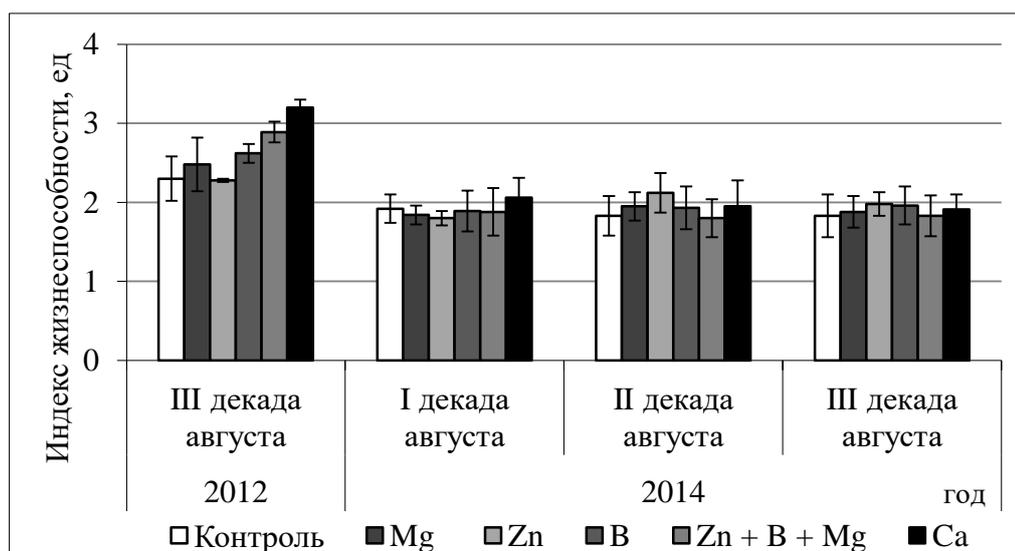


Рисунок 6 – Индекс жизнеспособности зрелого листа чайного растения в период засухи

Самое высокое содержание фотосинтетических пигментов отмечено в марте (прошлогодний лист – возраст 10 месяцев) (таблица 2), когда наиболее

активны ассимиляционные процессы, ответственные за подготовку первой волны роста флешей.

Таблица 2 – Содержание фотосинтетических пигментов в зрелом (десятимесячном) листе чайного растения в весенний период (2013 г.)

Вариант	Хлорофилл			Car	Отношение	
	Chl _a	Chl _b	Chl _a +Chl _b		Chl _a / Chl _b	Chl _a +Chl _b / Car
	мг/г					
Контроль	2,17±0,04	1,56±0,10	3,74±0,13	0,78±0,01	1,42±0,09	4,82±0,14
Mg	2,04±0,03	1,22±0,04	3,27±0,07	0,73±0,04	1,67±0,04	4,57±0,14
Zn	2,23±0,05	1,57±0,09	3,85±0,08	0,79±0,02	1,42±0,06	4,74±0,04
B	2,19±0,08	1,56±0,14	3,77±0,20	0,77±0,03	1,42±0,09	4,84±0,15
Zn+B+Mg	2,15±0,12	1,45±0,27	3,60±0,38	0,80±0,05	1,55±0,17	4,47±0,40
Ca	2,29±0,07	1,76±0,17	4,07±0,16	0,83±0,03	1,39±0,13	5,00±0,25

Этот период является показательным в оценке степени восстановления растений после длительной дегидратации предыдущего летнего периода (2012 г.) и воздействия низких температур зимнего периода (2012–2013 гг.). Большим накоплением суммы фотосинтетических пигментов (Chl_a, Chl_b и Car) характеризовались листья растений с применением кальция, что являлось, по-видимому, следствием сохранения целостности пигментного фонда в стрессовых условиях.

Индекс жизнеспособности листьев в весенний период также увеличивался (по аналогии с пигментами), но существенно варьировал по годам в зависимости от температуры воздуха, не значительно варьируя по вариантам опыта. В 2013 г. более высокие показатели были зафиксированы на контроле и варианте с кальцием, а в 2020 г. на варианте с кальцием.

4.2 Ростовые процессы и урожай чайного листа

При благоприятных погодных условиях суммарное количество получаемых побегов-флешей за вегетацию составляло от 1060 до 1600 шт/м² в зависимости от варианта опыта, что в пересчете на вес составляло от 800 до 1050 г/м². Максимальная побегообразовательная активность была отмечена на вариантах с внесением бора, кальция и цинка, минимальная – на варианте магний (рисунок 7).

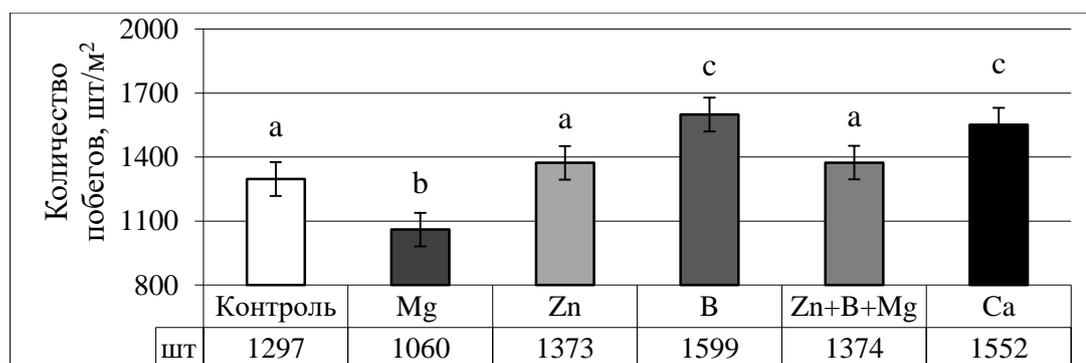


Рисунок 7 – Побегообразовательная способность чайных растений за листосборный период, шт/м² (достоверные различия средних значений (при $p \leq 0,05$) отмечены разными латинскими буквами)

В благоприятные по метеорологическим условиям годы (2011, 2013, 2014, 2018, 2019) концентрация клеточного сока (ККС) флешей колебалась в течение вегетации в диапазоне 6,3–10,3 %, отмечались лишь небольшие нарушения водного режима в июле–августе с кратковременным повышением показателя до 14 %. Урожай чая сорта Колхида в этот период варьировал от 4,5 до 12 т/га (таблица 3), а в 2013 году был сопоставим с потенциально возможным для этого сорта в данной климатической зоне (10–11 т/га). В среднем в благоприятные по метеорологическим условиям годы он составил 6–8 т/га по вариантам опыта. Достоверное увеличение урожая в сравнении с контролем было получено на вариантах с внесением бора (33 %), совместного применения смеси элементов (Zn+B+Mg) (32 %), кальция (24 %) и цинка (17 %). Положительный эффект от внесения магния прослеживался в течение первых 9 лет (с 2003 по 2011 гг.), что отмечали и в других регионах мира (Li, 2005).

Таблица 3 – Урожай чайного листа при применении макро- и микроэлементов в благоприятные по метеорологическим условиям годы, т/га

Вариант	Год наблюдений					V, %
	2011	2013	2014	2018	2019	
Контроль	5,86	9,15	6,51	4,56	4,93	29
Mg	8,23	8,63	6,68	5,14	4,45	28
Zn	7,82	10,03	7,27	6,30	4,99	26
B	9,11	11,59	8,45	6,47	5,70	28
Zn+B+Mg	7,95	11,37	9,56	6,31	5,77	28
Ca	6,37	11,66	8,24	6,21	6,11	31
НСР _{≤0,05}	1,21	0,92	0,70	0,99	0,86	-

Примечание: V – коэффициент вариации по годам, %.

За десятилетний период годы с неблагоприятными метеорологическими условиями для культуры чая были отмечены 4 раза, среди которых 1 год характеризовался экстремально засушливыми условиями. В летние месяцы при наступлении

водного дефицита ККС флешей колебалась в диапазоне 9,4–15,0 %, а в отдельные годы (2015, 2020) повышалась до 20 % (на варианте с магнием), что свидетельствовало о серьезных нарушениях водного режима и наступлении почвенной засухи.

В таких условиях урожай был значительно ниже и варьировал по вариантам опыта от 3 до 4 т/га. Снижение составило 32–41 % по сравнению со средними показателями за период 2011–2020 гг., 46–55 % по сравнению с благоприятными периодом и 60–70 % от потенциально возможной для сорта. Как и для благоприятных лет, прослеживалось положительное влияние на урожай чайного листа от внесения кальция, смеси элементов Zn+B+Mg, и в меньшей степени бора и цинка, прибавка на этих вариантах составила от 0,2 до 0,5 т/га или 6–16 % по отношению к контролю (таблица 4).

Таблица 4 – Средняя прибавка урожая чайного листа при применении макро- и микроэлементов в период 2011–2020 гг., % к контролю

Вариант	Благоприятные метеоусловия	Неблагоприятные метеоусловия	За 2011–2020 гг.
Контроль	-	-	-
Mg	7	-12	1
Zn	17	6	14
B	33	11	27
Zn+B+Mg	32	10	25
Ca	24	16	22

Примечание: благоприятные метеоусловия отмечены в 2011, 2013, 2014, 2018 и 2019 гг., неблагоприятные метеоусловия – в 2012, 2015, 2017 и 2020 гг.

Средний урожай чайного листа за период 2011–2020 гг. находился в диапазоне 5,0–6,3 т/га, прирост получен на вариантах с внесением цинка, кальция, смеси элементов (Zn+B+Mg) и бора от 0,7 до 1,3 т/га в сравнении с контролем.

ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ Mg, Ca, B, Zn НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ И ПОБЕГОВ ЧАЯ

5.1 Зрелые листья чая

Содержание основных элементов в зрелом листе чая в различные годы и периоды вегетации в среднем варьировало в диапазонах: азот 3,0–3,6 %; фосфор 0,47–0,71 %; калий 2,0–2,4 %, кальций 0,73–1,10 %, магний 0,27–0,49 %. Влияние изучаемых элементов на макроэлементный состав (NPK) зрелых листьев чая не было явно выражено, поскольку исходно поддерживался их высокий фон в почве. В отдельных случаях оно прослеживалось опосредованно – выносом элементов питания с высокой урожайностью. На фоне применения кальциевых удобрений содержание магния в листьях было ниже, в сравнении с другими вариантами. В свою очередь, внесение сернокислого магния в почву снижало содержание кальция в зрелых листьях.

Содержание цинка, меди и марганца в зрелых листьях опытных растений чая колебалось в диапазоне 14–34 мг/кг, 6–23 мг/кг, 1300–3300 мг/кг, соответственно, и не выходило за пределы средних значений для большинства растений (за исключением марганца). Выраженной тенденции или достоверного повышения содержания цинка в зрелых листьях на вариантах с внесением Zn-содержащих удобрений на данном этапе выявлено не было.

5.2 Ювенильные побеги (3-лиственная флеш) чая

Содержание азота в 3-лиственной флешке чая в среднем за 2011–2019 гг. в период майских сборов составляло от 4,52 до 5,07 %, а в сентябре 4,21–4,64 %, что соответствует высокому уровню обеспеченности растений чая (Малюкова, Козлова, 2010). Отмечено более высокое содержание азота на контрольном варианте с внесением в почву только NPK. Содержание фосфора (без существенных различий по вариантам) колебалось в следующих диапазонах: в мае – 1,10–1,15 %, в сентябре 0,93–1,01 %. Содержание калия в 3-лиственных флешках, без заметных отличий от контроля, варьировало по вариантам опыта: в мае – 2,58–2,74 %, в сентябре 2,47–3,17.

Содержание кальция (CaO) в 3-лиственных флешках составляло 0,52–0,64 % в период майских сборов, а в сентябре – 0,43–0,55 %. Содержание магния (MgO) в 3-лиственных флешках находилось в среднем в пределах 0,21–0,34 %, незначительно различаясь по вариантам опыта и поддерживаясь на этом уровне в течение вегетации.

Концентрация цинка во флешках колебалась (по периодам вегетации, годам исследования, вариантам опыта) от 22,1 до 57,4 мг/кг (рисунок 8).

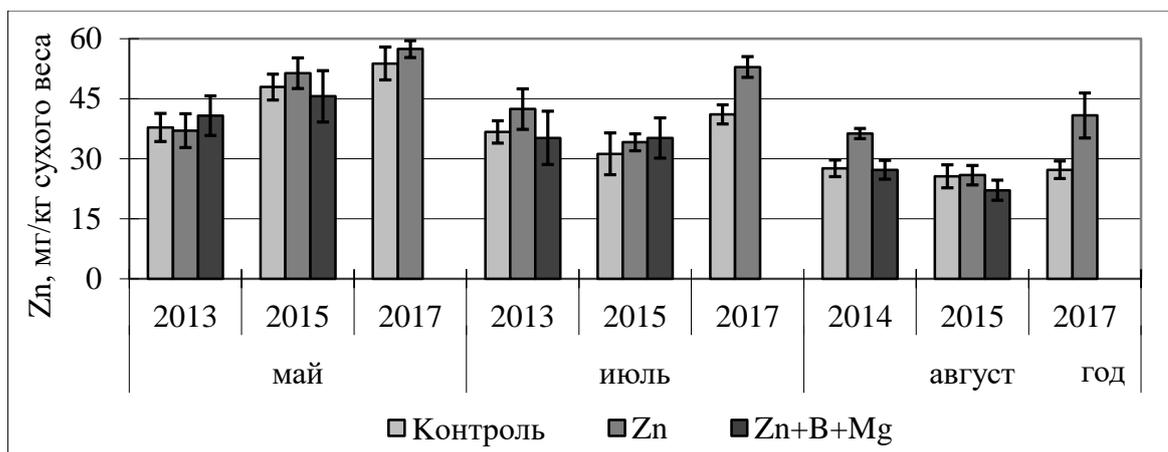


Рисунок 8 – Содержание цинка в 3-лиственной флешке чая в различные годы и периоды вегетации

Установлено повышение содержания цинка в 3-лиственных флешках относительно контроля на варианте с его применением в разные годы и периоды флешкообразования, наиболее существенное (в 1,2–1,3 раза) в июльских и августовских сборах (рисунок 8). При внесении цинка в составе смеси элементов (Zn+B+Mg) не отмечено его повышения в чайном сырье.

Содержание меди в ювенильных побегах чая находилось в интервале (11–29 мг/кг) и коррелировало с концентрацией меди в зрелых листьях ($r=0,73$). Содержание марганца в 3-листной флешах варьировало от 476 до 1246 мг/кг и было значительно ниже уровня зрелых листьев.

ГЛАВА 6. ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ Mg, Ca, B, Zn НА КАЧЕСТВО ЧАЙНОГО СЫРЬЯ

6.1 Механический состав

Основная масса чайного сырья была представлена 2-3-лиственными нормальными флешами, наибольшая доля которых была собрана в мае (75–88 %). Также в майском сборе на всех вариантах опыта (в сравнении с контролем) было собрано в 1,5 раза больше 2-листных флешей. Более высокое содержание 2-листных флешей отмечено на вариантах цинк и смесь элементов (Zn+B+Mg). В июне, по мере повышения температуры воздуха в сочетании с недостаточным количеством осадков, количество глушков увеличивалось и максимально составило 45 % на варианте с магнием.

6.2 Биохимические характеристики

Изучение в 3-х летнем ряду наблюдений биохимических показателей (2011–2013 гг.) показало значительную их вариабельность, связанную с сезонными и годовыми различиями метеорологических условий. Диапазон абсолютных значений по изучаемым показателям в опыте составил: 23,9–33,7 % – по содержанию танина; 41,6–46,7 % – экстрактивных веществ. Низкие значения отмечены в период первых сборов (май – начало июня), наиболее высокие приходились на июль, несколько снижаясь в августе (таблица 5).

Таблица 5 – Содержание танина и экстрактивных веществ в 3-листной флешах чайного растения (усреднённые данные за 2011–2013 гг.)

Вариант	Танин, %			Экстрактивные вещества, %		
	май	июль	август	май	июль	август
Контроль	25,3±1,9	31,3±1,0	31,1±0,4	41,3±0,9	43,1±1,0	42,5±0,2
Mg	27,6±1,6	32,3±1,0	31,1±0,6	41,8±0,3	43,9±2,1	43,1±0,4
Zn	27,0±2,4	32,3±1,2	32,2±0,4	41,9±1,3	44,2±2,0	43,1±0,4
B	25,7±1,7	31,6±1,6	30,1±0,3	41,4±1,2	43,5±1,0	42,0±0,5
Zn+B+Mg	27,6±1,7	32,7±1,6	30,1±0,1	41,6±0,5	44,0±2,4	42,7±0,4
Ca	27,2±2,1	32,8±1,3	30,7±0,6	41,9±0,8	43,8±2,0	42,5±0,1

В 2011 и 2012 гг. практически на всех вариантах содержание танина в молодых побегах в мае было достоверно выше контроля (рисунок 9). В 2013 году содержание танина в 3-листных флешах чая было в целом выше, чем в предыдущие два года. Для всех вариантов опыта, кроме бора, отмечалось увеличение танина в 3-листной флешах относительно контроля, наиболее выраженное на вариантах смесь (Zn+B+Mg) и цинк (2,1 и 2,2 %, соответственно).

соответственно). В июле и августе содержание танина в 3-листной флеша находилось на уровне контроля.

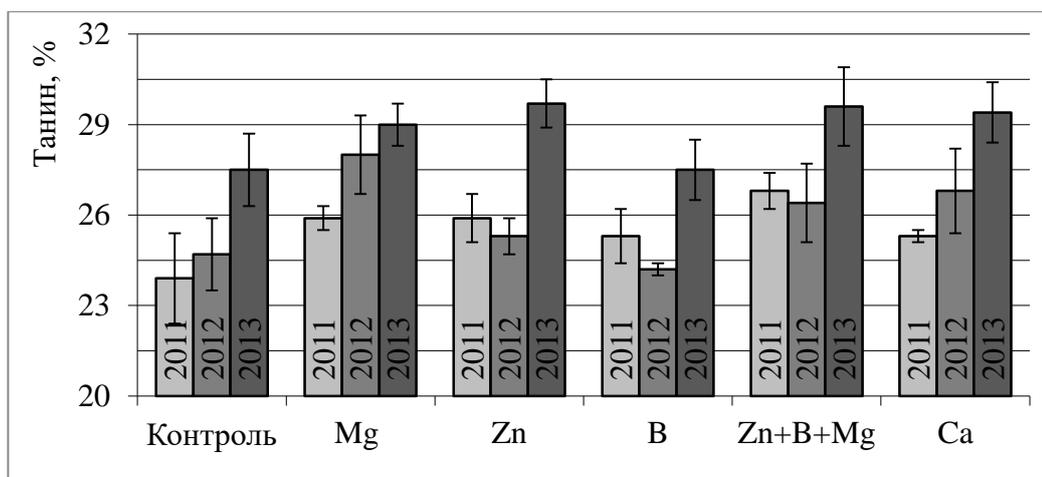


Рисунок 9 – Содержание танина в 3-листных флешах чая первой волны роста (май), %

По усредненным данным выявленная закономерность (увеличение содержания танина на 1,7–2,3 % в чайном сырье первой волны роста, составляющей более 30 % валового урожая по всем вариантам опыта, за исключением бора, по сравнению с контролем) подтверждалась (таблица 5). Вариант с применением бора не уступал по качеству контрольному, но по урожайности превосходил его на 20–30 %, что подтверждало эффективность его применения. Влияние изучаемых элементов на содержание экстрактивных веществ в 3-листных флешах чайного растения прослеживалось в меньшей степени.

В майский период для 3-листной флеша установлена прямая корреляционная связь содержания танина с калием ($r=0,82$), кальцием ($r=0,65$) и обратная связь с фосфором ($r=-0,72$). В июльский период отмечена обратная связь между содержанием танина и азота в 3-листной флеша ($r=-0,52$).

ГЛАВА 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ Mg, Ca, B, Zn НА ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЯХ

Исследования показали, что применение цинка, кальция, смеси элементов (Zn+B+Mg) и бора за изученный период (2011–2020 гг.) обеспечивало существенную прибавку урожая (0,7–1,32 т/га), которая повышала рентабельность на 7–12 % (таблица 6). Затраты на внесение этих элементов были минимальные и составили от 0,7 до 7,8 % от суммы дополнительных расходов.

Таблица 6 – Экономическая эффективность применения биогенных элементов на чайных плантациях, в ценах 2018–2020 гг., тыс. руб.

Показатель	Вариант опыта					
	Контроль	Mg	Zn	B	Zn+B+Mg	Ca
Стоимость валовой продукции с 1 га	1037,4	1050,0	1184,4	1314,6	1302,0	1264,2
Производственные затраты на 1 га, в т.ч. дополнительные: удобрения уборка дополнительной продукции	902,1	912,4	972,6	1035,1	1038,8	1011,8
	-	10,3	70,5	133,0	136,7	109,7
	-	4,3	0,5	1,0	10,7	1,7
	-	6,0	70,0	132,0	126,0	108,0
Себестоимость 1 т	182,6	182,5	172,4	165,3	167,5	168,1
Чистый доход с 1 га	135,3	137,6	211,8	279,5	263,2	252,4
Уровень рентабельности, %	15	15	22	27	25	25

Примечание: для вариантов магний и цинк экономическая эффективность рассчитана с учетом периода их последствий.

Наибольшая прибыль получена на варианте с внесением борных удобрений, при уровне рентабельности 27 %. На вариантах с применением смеси элементов (Zn+B+Mg), кальция и цинка уровень рентабельности превышает 20 %, что также является экономически выгодным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексное изучение влияния корневого применения различных видов макро- и микроудобрений на состояние агроэкосистемы (почва-растения-удобрения) полновозрастной чайной плантации районированного сорта Колхида в течение 10-летнего периода наблюдений в различных метеоусловиях позволило установить следующее:

1. Кальцийсодержащий природный материал восстанавливает в почве содержание обменных форм кальция и магния и замедляет процессы ацидизации (в среднем на 0,5 единиц рН за 17 лет), способствуя активизации биологических процессов, обогащению почвы гумусом, а также закреплению избыточного количества подвижных фосфатов. Применение сульфата цинка ведет к закономерному росту обеспеченности почв этим элементом (за 10 лет – с 2–4 до 6–13 мг/кг), увеличению обменных кальция и магния, а также закреплению избыточных количеств подвижных фосфатов. Применение сернокислого магния (не более 10 лет) восстанавливало содержание в почве обменных форм этого элемента, снижало почвенную кислотность, активизировало биологическую активность и процессы гумификации. Применение бора снижало темпы ацидизации почв за счет высвобождения кальция и магния из почвенно-поглощающего комплекса, при этом длительно (в течение 2–3 месяцев) ингибировало биологическую активность почв.

2. Корневое применение бора, смеси элементов (Zn+B+Mg), цинка и кальция усиливало побегообразовательную способность чая, что обеспечивало существенную прибавку урожая на 27, 25, 22 и 14 %, соответственно. В неблагоприятных метеорологических условиях потеря урожая составляла в среднем 30–40 %, прирост от применения изучаемых элементов снижался до 6–16 %.

3. На высокоурожайных вариантах (B, Ca, смесь Zn+B+Mg) в листьях чая выявлено снижение содержания азота и меди, при достаточно стабильных концентрациях фосфора и калия. Применение цинка увеличивало его содержание в 3-листных флешах (до 25–50 мг/кг), что не выходило за рамки предельно допустимых концентраций.

4. Внесение цинка, кальцийсодержащего природного вещества и смеси элементов (Zn+B+Mg) увеличивало содержание танина (в среднем на 2 %) в чайном сырье первой волны роста, составляющей более 30 % валового урожая.

5. Корневое применение бора, смеси элементов (Zn+B+Mg), цинка и кальция повышало рентабельность на 7–12 %, а при благоприятных метеоусловиях на 8–14 %. Наиболее экономически выгодным являлось применение борных удобрений, которые существенно повышали урожай зеленого чайного листа (с сохранением его качества) и обеспечивали уровень рентабельности в 27 %.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АГРОХИМИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ И ПРОИЗВОДСТВА

1. При длительной эксплуатации чайных плантаций (более 20 лет) необходимо контролировать в почвах уровень содержания обменных форм кальция и цинка, а также водорастворимого бора для принятия решения по их компенсации.

2. При выявлении низкой обеспеченности почв длительно эксплуатируемых чайных плантаций подвижным цинком (менее 3 мг/кг) и водорастворимым бором (менее 0,2 мг/кг) в традиционную систему удобрения (NPK) следует включать эти элементы в количествах, приближенных к изученным дозировкам (Zn – 4 кг д.в./га (не более 10 лет), B – 6 кг д.в./га), при периодическом контроле содержания их в почве и её биологической активности.

3. Кальцийсодержащий природный материал, образующийся при дроблении известняков на мелкие фракции щебня (карьер, Адлерский район) (эффективная норма 250 кг/га), обладающий низкой нейтрализующей способностью, рекомендуется использовать при снижении содержания обменного кальция в почвах до уровня 2–4 ммоль(экв)/100 г. При этом для этого нетрадиционного вида удобрений необходимо разработать технологический регламент, включающий элементы его транспортировки, хранения и внесения в почву.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Малюкова Л.С. Влияние мезо- и микроудобрений на урожай чайного листа и плодородие бурых лесных кислых почв чайных плантаций черноморского побережья России / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова, **А.В. Великий** // Проблемы агрохимии и экологии. – М.: Некоммерческое партнёрство «Содружество учёных агрохимиков и агроэкологов. – 2012. – № 1. – С. 18–21.
2. Малюкова Л.С. Возделывание субтропических культур на Черноморском побережье России: эколого-агрохимические аспекты / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова, Е.В. Рогожина, Д.В. Струкова, В.В. Керимзаде, **А.В. Великий** // Сельскохозяйственная биология. – М.: – 2014. – № 3. – С. 24–31.
3. Притула З.В. Влияние мезо- и микроудобрений на качество чайного сырья в условиях Черноморского побережья России / З.В. Притула, Л.С. Малюкова, **А.В. Великий** // Плодоводство и ягодоводство России – М: ВСТИСиП. – 2014. – Том: XXXVIII. – №2. – С. 52–58.
4. Малюкова Л.С. Влияние различных видов и доз минеральных удобрений на дыхательную активность бурых лесных кислых почв под культурой чая / Л.С. Малюкова, В.В. Керимзаде, **А.В. Великий** // Плодоводство и ягодоводство России – М: ВСТИСиП. – 2015. – Том: XXXXIII. – С. 132–138.
5. Малюкова Л.С. О формировании устойчивости у растений чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) при недостаточном водообеспечении на фоне корневого внесения кальция в виде природного удобрения / Л.С. Малюкова, З.В. Притула, Н.В. Козлова, В.В. Керимзаде, **А.В. Великий** // С.-х. биология. – 2016. – Т. 51. – № 5. – С. 673–679. – ISSN: 0131-6397. – eISSN: 2313–4836. – 10.15389/agrobiology.2016.5.673eng. (В базе Scopus).
6. **Великий А.В.** Влияние метеорологических условий на продуктивность чайного растения на фоне внесения макро- и микроудобрений / А.В. Великий // Плодоводство и ягодоводство России. – 2016. – Т. 47. – С. 62–69.
7. **Великий А.В.** Влияние микроудобрений (B, Zn) на функциональное состояние фотосинтетического аппарата растений чая по параметрам медленной индукции флуоресценции хлорофилла в условиях субтропиков России / А.В. Великий // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 51. – С. 241–248.
8. Притула З.В. Состояние пигментного комплекса листьев чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) на фоне прикорневого внесения кальция / З.В. Притула, Л. С. Малюкова, **А.В. Великий** // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 51. – С. 299–308.
9. Притула З.В. Влияние корневого применения микроэлементов (B, Zn) на состояние пигментного комплекса листьев чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) / З.В. Притула, Л.С. Малюкова, **А.В. Великий** // Новые технологии – Майкоп: МГТУ. – 2018. – №2. – С. 128–136. – ISSN: 2072-0920.
10. **Великий А.В.** Содержание цинка в листьях и флешах растений чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) при применении Zn-содержащих удобрений в условиях субтропиков РФ / А.В. Великий, Н.В. Козлова // Вестник АПК Ставрополя – Ставрополь: СГАУ. – 2019. – №2 (34) – С. 39–42. – doi: 10.31279/2222-9345-2019-8-34-39-42.
11. **Великий А.В.** Эффективность применения мезо- и микроудобрений на чайных плантациях в условиях субтропиков России / А.В. Великий // Новые технологии. – 2019. – Вып. 4(50). – С. 119–124. – DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10411.
12. Малюкова Л.С. Влияние кальцийсодержащего природного материала на состояние бурых лесных кислых почв и растений чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) в субтропиках России / Л.С. Малюкова, З.В. Притула, Н.В. Козлова, **А.В. Великий** // Агрохимия. – 2020. – № 12. – С 3–10. – ISSN:0002-1881. – DOI: 10.31857/S0002188120120054.
13. **Великий А.В.** Содержание меди в листьях чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) на фоне применения различных видов удобрений в условиях субтропиков РФ / А.В. Великий, Л.С. Малюкова // Проблемы агрохимии и экологии. – 2020. – № 4. – С. 24–29. –

Публикации в других журналах, сборниках и материалах совещаний

14. **Великий А.В.** Влияние мезоудобрений (S, Mg, Ca) на кислотно-основные свойства бурых лесных кислых почв под культурой чая в условиях субтропиков России / А.В. Великий // (Проблемы и перспективы садоводства в субтропиках Кавказского региона: науч. тр.) Субтропическое и декоративное садоводство / ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. – Сочи. – 2011. – Вып. 44. – С. 149–155.

15. **Великий А.В.** Влияние мезо- и микроудобрений на качество чайного сырья в условиях субтропиков России / А.В. Великий, З.В. Притула // Эффективность применения средств химизации в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур: материалы 46-й Междунар. науч. конф. молодых учёных и специалистов. – Москва, ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова Россельхозакадемии. – 2012. – С. 17–20.

16. Козлова Н.В. Особенности химического состава чайного растения на фоне применения мезо- и микроудобрений (S, Mg, Ca, B, Zn) в условиях субтропиков России / Н.В. Козлова, **А.В. Великий** // Субтропическое и декоративное садоводство России: науч. тр. / ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. – Сочи. – 2012. – Т. 46. – № 1. – С. 251–260.

17. **Великий А.В.** Влияние мезо- и микроудобрений (S, Mg, Ca, B, Zn) на побегообразовательную способность растений чая в условиях Черноморского побережья России / А.В. Великий / Актуальные вопросы плодоводства и декоративного садоводства XXI века Международная научно-практическая конференция, посвященная 120-летию основания института и 80-летию основания сада-музея «Дерево-Дружбы» – ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. – Сочи. – 2014. – С. 402–408.

18. **Великий А.В.** Влияние почвенного внесения цинка (Zn) на содержание его подвижных форм в бурой лесной кислой почве чайной плантации на Черноморском побережье Краснодарского края / А.В. Великий // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2016. – Т. 57. – С. 97–102.

19. **Великий А.В.** Влияние мезоудобрений (S, Mg) на фотосинтетическую активность растений чай по параметрам медленной индукции флуоресценции хлорофилла на Черноморском побережье Краснодарского края / А.В. Великий // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2017. – Т. 61. – С. 142–149.

20. Малюкова Л.С. Содержание тяжелых металлов в 3-листной флешки чая сорта Колхида в условиях влажно-субтропической зоны России / Л.С. Малюкова, Т.Г. Цюпко, З.В. Притула, О.Б. Воронова, **А.В. Великий**, К.С. Гуцаева // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2019. – Вып. 68. – С. 216–221. – doi: 10.31360/2225-3068-2019-68-216-221.

21. **Великий А.В.** Фотосинтетическая активность зрелых листьев чая в ранневесенний период на фоне применения различных удобрений в условиях субтропиков России / А.В. Великий // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – Т. 74. – С. 105–111. – doi: 10.31360/2225-3068-2020-74-105-111.

22. **Великий А.В.** Влияние корневого применения макро и микроудобрений применения мезо- и микроудобрений на урожайность чая сорта Колхида при стрессовых гидротермических условиях листосборного периода / А.В. Великий // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – Т. 75. – С. 123–130. – doi: 10.31360/2225-3068-2020-75-123-130.

Публикации в зарубежных журналах, сборниках и материалах совещаний

23. Malyukova L.S. Effect of boron and zinc-containing fertilizers on yield of tea leaf on Russian Black Sea Coast / L.S. Malyukova, N.V. Kozlova, **A.V. Velikiy** // Material of the XII International scientific and practical conference «Modern European science-2016». – Sheffield, UK: Science and education LTD. – 2016. – Volume 10. – PP. 53–56.

24. Malyukova L.S. Effects of calcium-containing natural fertilizer on *Camellia Sinensis* (L.) Kuntze / L.S. Malyukova, Z.V. Pritula, N.V. Kozlova, **A.V. Velikiy**, E.V. Rogozhina, V.V. Kerimzade and L.S. Samarina // Bangladesh J. Bot. – 2021. – 50(1). – P. 179–187. – DOI: 10.3329/bjb.v50i1.52686. (В базе Web of Science)

Научное издание

Великий Андрей Васильевич

**ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ БИОГЕННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ (Mg, Ca, B, Zn) НА ПЛОДОРОДИЕ БУРЫХ ЛЕСНЫХ
КИСЛЫХ ПОЧВ, УРОЖАЙ И КАЧЕСТВО ЗЕЛЕННОГО ЧАЙНОГО
ЛИСТА В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ**

Подписано в печать . Формат 60 x 84 ^{1/16}
Усл. печ. л. – 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13