

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР «СУБТРОПИЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

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

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:

доктор биологических наук,

профессор РАН Малюкова Л.С.

Сочи – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

	с.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ (литературный обзор).....	13
1.1 Агрэкологические требования культуры чая и природные условия Черноморского побережья России	13
1.2 Анализ особенностей и эффективности применения минеральных удобрений на чайных плантациях.....	22
1.2.1 Макроудобрения	24
1.2.2 Микроудобрения.....	33
ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	40
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	52
ГЛАВА 3 ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ Mg, Ca, B, Zn НА ПЛОДОРОДИЕ БУРЫХ ЛЕСНЫХ КИСЛЫХ ПОЧВ	52
3.1 Кислотно-основные свойства почвы.....	52
3.2 Содержание гумуса, макро- и микроэлементов в почве.....	58
3.3 Базальное дыхание почв (эмиссия CO ₂)	75
ГЛАВА 4 ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ Mg, Ca, B, Zn НА ФОТОСИНТЕЗ, РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И УРОЖАЙ ЧАЙНОГО ЛИСТА	80
4.1 Фотосинтетическая деятельность чайного растения	80
4.2 Ростовые процессы и урожай чайного листа.....	92
ГЛАВА 5 ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ Mg, Ca, B, Zn НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ И ПОБЕГОВ ЧАЯ.....	121
5.1 Зрелые листья чая	121
5.2 Ювенильные побеги (3-листная флешь) чая.....	132
ГЛАВА 6 ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ Mg, Ca, B, Zn НА КАЧЕСТВО ЧАЙНОГО СЫРЬЯ.....	144

6.1 Механический состав	144
6.2 Биохимические характеристики.....	146
ГЛАВА 7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРНЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ Mg, Ca, B, Zn НА ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЯХ.	155
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	160
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АГРОХИМИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ И ПРОИЗВОДСТВА	162
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	163
ПРИЛОЖЕНИЕ А	204
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	206
ПРИЛОЖЕНИЕ В	208
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	218
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	219

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Чай является международным напитком и одним из незаменимых пищевкусовых продуктов. Его популярность связана с лечебными и тонизирующими свойствами, которые определяются сложным сочетанием биологически активных веществ в листьях чайного растения (более 2 000 компонентов): фенольные соединения, алкалоиды, эфирные масла, незаменимые аминокислоты, углеводы, минеральные соли, витамины (С, В, Р, РР, К), пектиновые вещества, пигменты, ферменты, катионы химических элементов и другие (Yashin et al., 2015).

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 деграционные изменения почв актуализируют исследования в области усовершенствования 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.

Изучению применения макро- и микроэлементов в агроценозах сельскохозяйственных культур посвящено большое число работ, в связи с положительной ролью этих элементов в формировании урожая, устойчивости к стрессам и качества продукции (Кабата-Пендиас, 1989; Голов, 2000; Li, 2005; Кондаков, 2007; Сычев и др., 2009; Song et al., 2008; Шеуджен и др., 2010; Marschner, 2012; Сергеева и др., 2014, 2016; Hu et al., 2018; Сергеева, Ярошенко, 2019; Yajun et al., 2019). В целом, как показали эти исследования, роль макро- и микроэлементов заключается в возможности синтезировать полный спектр ферментов, позволяющий растениям более интенсивно использовать энергию, воду и питательные вещества; в повышении иммунитета и устойчивости к стрессам у сельскохозяйственных культур.

Это же направление, применительно к чайному растению, развивается в нашей стране и за рубежом (Шавишвили, 1973; Барабадзе, 1984; Соболевский и др., 1984; Пилипенко, 1994; Yan et al., 1997; Малюкова, 1997, 2011, 2014; Притула, Белоус, 2001; Белоус, 2006; Njoloma, 2012; Upadhyaya et al., 2011, 2012; Малюкова, Козлова, Великий, 2012; Притула, Великий, Малюкова, 2014; Pan Zhu-Cai, 2015; Малюкова, Притула, 2019; Малюкова и др., 2020). В этих исследованиях показано, что многие изученные элементы (Ca, Zn, B, Mn, Cu) определяют интенсивность физиолого-биохимических процессов в чае, увеличивают урожайность плантаций и качество готовой продукции, влияют на устойчивость растений к различным стрессовым факторам среды обитания.

По данным Л.С. Малюковой (2013), длительно эксплуатируемые почвы под чайными насаждениями характеризуются средним и низким содержанием водорастворимого бора (0,4–0,7 мг/кг) и подвижного цинка

(5–7 мг/кг). На фоне ацидизации почв под чаем содержание обменных кальция и магния также доходит до опасно низких значений (1–2 ммоль-экв/100г), что определяет необходимость возобновления их запасов или поддержание необходимого уровня в почве на основе использования соответствующих удобрений (Козлова, Малюкова, 2007; Малюкова и др., 2008). Кроме того, применение повышенных доз азотных удобрений на чайных плантациях приводит, как правило, к снижению биохимических показателей качества чая, главным образом за счет увеличения содержания азота в листьях чая (Притула и др., 2009, 2011).

Степень разработанности темы. Агрохимии и физиологии минерального питания чая посвящено достаточно много исследований в нашей стране (Гвасалия, 1975; Филиппова, 1970, 1974; Филиппова, Троянская, 1976; Бушин, 1985; Туов, 1989; Аргунова, Бушин, 1992; Аргунова и др., 1994; Пилипенко, 1994; Малюкова, 1997, 2014; Добежина, 1998; Бушин и др., 2001; Притула, Белоус, 2003; Белоус, 2006, 2009; Рындин, 2009, 2016; Белоус, Притула, 2010; Малюкова и др., 2010а, 2010б; Малюкова, Козлова, Великий, 2012; Малюкова, Козлова, 2013; Малюкова и др., 2018) и за рубежом (Шавишвили, 1973; Дараселия, 1974; Ониани и др., 1980; Барабадзе, 1984; Бокучава и др., 1986; Huiqun et al., 1987; Дзадзуа, 1991; Njoloma, 2012; Upadhyaya et al., 2012; Pan Zhu-Cai, 2015). В значительной степени изучены вопросы минерального питания чая в отношении NPK (Филиппова, 1970; Аргунова, Бушин, 1992; Малюкова, 1997, 2014; Малюкова и др., 2010а, 2010б; Козлова, 2008; Козлова Керимзаде, 2017, 2018а, 2018б). Имеется ряд исследований состояния микроэлементов в системе почва-чайное растение в условиях Западной Грузии (Шавишвили, 1973; Дараселия, 1974; Барабадзе, 1984, Дзадзуа, 1991; Годзиашвили, Чеботарёва, 2009). Широко исследуется эффективность применения биогенных элементов в ряде других чаепроизводящих регионах мира: Китай, Япония, Турция, Африка, Южная Америка (Wu, Fang, 1994;

Lian et al., 1998; Gohian et al., 2000; Mohotti et al., 2003; Li, 2005; Barman et al., 2011; Njoloma, 2012; Upadhyaya et al., 2012).

Исследования в области микроэлементного состава почв и растений чая в России были начаты в 90-е годы прошлого столетия. Ведущими учеными Института цветоводства и субтропических культур (ныне ФИЦ СНЦ РАН, г. Сочи) Пилипенко В.Г. и Притулой З.В. (1994 г.) были заложены полевые опыты по изучению эффективности применения некорневых подкормок микроэлементами (Mn, Fe, Cu, Zn) на чайных плантациях, которые были успешно продолжены и расширены Белоус О.Г. (2006). Было установлено положительное влияние ряда элементов на устойчивость чайного растения к засухе, урожайность, биохимический состав чайного сырья и готовой продукции. В этот же период известными учеными в области почвоведения и агрохимии Бушиным П.М. и Аргуновой В.А. (1992) были начаты исследования микроэлементного состава почв в сопряжении с элементным составом растений чая. Развитие этих исследований Малюковой Л.С. позволило провести оценку обеспеченности почв чайных плантаций по ряду микроэлементов (Cu, Mn, Zn, Fe, B, Co), определить их фракционный состав в твердой фазе почв (Малюкова, 1995), установить факторы, контролирующие их подвижность (Малюкова, 2001, 2011).

При этом не были охвачены исследованиями (за исключением кратких сообщений о перспективе их применения) (Дараселия и др., 1989; Годзиашвили, Чеботарёва, 2009) еще 3 важнейших биогенных элемента (Mg, Ca, B), которые выщелачиваются из почвы при длительном применении минеральных удобрений (Дараселия и др., 1989; Малюкова, 1993; Годзиашвили, Чеботарёва, 2009). К тому же в субтропической зоне России отсутствуют исследования по эффективности корневого применения этой группы элементов, позволяющего пополнить запас не скомпенсированных элементов в почвах агроценоза.

В этой связи актуально изучение эффективности ранее не изученных в зоне биогенных элементов (магний, кальций, бор), а также цинка при внесении их в почву; выявление их влияния на эко-физиолого-биохимические процессы растений, определяющие их стабильность и качество продукции; агробиозэкологический статус почв, включающий биотрансформацию и доступность элементов растениям; оценка экологической безопасности применяемых удобрений для почвы и растений. Для внедрения новых эффективных видов и форм удобрений в практику чаеводства, необходимо формировать теоретическую базу, которая позволит в дальнейшем разработать химическую формулу многокомпонентного вида удобрений для чайного растения и регламент его применения.

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 флеша) чайного растения.
4. Оценить влияние биогенных элементов на качество чайного сырья.
5. Определить экономическую эффективность использования 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 экстремальные 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».

Связь темы диссертации с плановыми исследованиями. Исследования проводили в рамках государственного задания ФБГНУ ВНИИЦиСК 16.04.03.03.03. (2010–2019 гг.), а с 2020 г. в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ СИЦ РАН – 0683-2019-0005-01-01.

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

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 журнале 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. Автор искренне признателен кандидату сельскохозяйственных наук Притуле З.В. за помощь, оказанную в процессе выполнения физиолого-биохимических исследований; кандидату сельскохозяйственных наук Пашенко О.И. за содействие при освоении методики оценки функционального состояния пигментного аппарата листьев чая на приборе LPT-3CF. Автор выражает глубокую благодарность директору ФГБУН ФИЦ СНЦ РАН академику РАН Рындиной А.В. за оказанную поддержку и помощь.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ (литературный обзор)

1.1 Агрэкологические требования культуры чая и природные условия Черноморского побережья России

Чай относится к важнейшим пищевкусковым и лечебно-профилактическим продуктам. Он содержит фенольные соединения, алкалоиды, эфирные масла, углеводы, минеральные соли, витамины (С, В, Р, РР, К), пектиновые вещества, пигменты, ферменты, катионы химических элементов, металлы и др. (Yashin et al., 2015), до 17 различных аминокислот, а также органические кислоты (до 1 %), среди них: лимонная, яблочная, янтарная; и углеводы (от простых сахаридов до сложных полисахаридов) (Дараселия и др., 1989; Vijaya et al., 1995; Gramza-Michałowska et al., 2016; Muhammad et al., 2017; Md. Anowar et al., 2019).

Большой спектр компонентов оказывает многостороннее действие на организм человека: влияет на сердечную деятельность и работу нервной системы; усиливает работоспособность мышечных тканей; вызывает состояние бодрости и повышенной умственной активности; укрепляюще действует на стенки кровеносных сосудов и капилляров; а также обладает противолучевым, бактериостатическим и бактерицидным действиями (Vijaya et al., 1995; Gramza-Michałowska et al., 2016; Muhammad et al., 2017; Md. Anowar et al., 2019).

Чай возделывают более чем в 52 странах мира, самые крупные производители чая – Китай, Индия, Шри-Ланка (Цейлон). Основная промышленная зона культивирования чая находится между 10° с.ш. и 10° ю.ш. и называется чайным поясом (Дараселия и др., 1989). Однако на сегодняшний день культура чая вышла далеко за пределы своего

первоначального распространения, и её ареал сейчас лежит между 44° северной широты (Россия) и 33° южной широты (Аргентина) (Чхаидзе, Микеладзе, 1979; Дараселия и др., 1989; Carr, Stephens, 1992; Arifin, Haryono, 1999; Badrul, 1999; Mohotti et al., 2003, Njoloma, 2012; Upadhyaya et al., 2012; Goncalves et al., 2015). Такому широкому распространению культуры за пределами исходных границ, способствовала высокая пластичность чайного растения, благодаря которой оно быстро приспосабливалось к тем или иным условиям (приложение А, таблица 1.1 и 1.2).

Распространение и развитие чайных растений в значительной степени зависит от почвенно-климатических условий. Растения чая являются влаго- и теплолюбивыми, и характеризуются высокой чувствительностью к реакции почвы и влажности воздуха. Поэтому возделывание промышленной культуры чая приурочено к тропическим и субтропическим регионам земного шара.

Требования к температуре. Растения наиболее требовательны к теплу в период вегетации. По данным авторов (Бушин, 1975б; Чхаидзе, Микеладзе, 1979; Туов, 1997; Gao, 1999; Bowler, Fluhr, 2000; Li, 2005; Малюкова, 2009; Upadhyaya et al., 2011) температурным барьером для начала вегетации является среднесуточная температура +10 °С, наиболее интенсивное отрастание побегов происходит при температуре 20–25 °С, а закладка цветочных почек при 18–20 °С (конец июня – начало июля). При среднесуточной температуре 30–31 °С наблюдается увядание побегов чайного растения. Длина вегетационного периода для культуры чая составляет примерно 220–230 дней. Сумма активных температур для чая должна составлять не менее 3000 °С, а в районах промышленного возделывания чайных насаждений должна быть не менее 3500 °С (Гутиев, Мосияш, 1977; Bhagat, et al., 2010; Rupanjali et al., 2012). С окончанием вегетативного роста и понижением среднесуточных температур до 8–10 °С зачастую наступает ростовой покой.

Непродолжительные ранне-осенние заморозки способны вызвать гибель значительной части неодревесневших побегов и молодых листьев, а от -6 до -8 °C повреждаются как листья, так и части однолетнего прироста, а индийская группа растений вымерзает полностью (Дараселия и др., 1989). Наиболее морозостойкие растения чая китайской группы переносят низкие температуры даже без снежного покрова. Гибель растений до корневой шейки происходит от -15 до -20 °C (Корзун, 2008).

Требования к влаге. По данным исследований ряда ученых (Филиппов, 1971; Бушин, 1975а, 1975в; Гутиев, Мосияш, 1977; Туов, 1997; Малюкова, 2014), кроме температурных условий для нормального произрастания чая важны ежемесячные осадки (особенно в летний период), обеспечивающие необходимую влажность почвы. Оптимальная для чая относительная влажность воздуха в среднем не должна быть ниже 70–75 %, а в период вегетации – 75–80 %. (Бушин, 1982). Оптимальная влажность почвы колеблется в зависимости от её механического состава. Для чая обычно она близка к 80–85 % наибольшей влагоемкости (НВ) (Бушин, 1982). На переувлажненных почвах ухудшаются аэрация и условия питания, наблюдается затяжной рост кустов осенью, уменьшение их морозоустойчивости и преждевременное старение. При уменьшении содержания влаги в почве до 13 % вегетативное развитие растения ослабляется, на кустах образуется много глушковых, что снижает урожайность, а при 8 % растение погибает (Чхаидзе, Микеладзе, 1979; Филиппов, 1971; Бушин, 1982).

На урожайность плантации оказывает большое влияние распределение выпадающих осадков в течение года. В среднем за год необходимое количество составляет 1200 мм, а в период вегетации – 600–800 мм (Чхаидзе, Микеладзе, 1979; Филиппов, 1971; Бушин, 1982; Малюкова, 2009; Великий, 2016, 2020).

Требования к почвенным условиям. Благоприятными для культуры чая считаются достаточно глубокие, хорошо аэрируемые, плодородные почвы с

кислой реакцией почвенного раствора (рН водной суспензии 4,5–5,5) до глубины 70–80 см, по механическому составу суглинистые и глинистые, без переувлажнения, обладающие хорошей структурой, с высокой воздухо- и водопроницаемостью (Дараселия и др., 1989; Туов, 1997; Малюкова, 1997, 2014; Козлова, 2008).

Лучшими для чая в субтропической зоне Кавказа являются красноземы, желтоземы и бурые лесные кислые почвы, которые характеризуются кислыми условиями среды и относительно других более обеспечены гумусом и питательными веществами (Бушин, 1980; Дараселия и др., 1989; Беседина, Козин, 2007; Малюкова, Козлова, 2010; Малюкова, 2013). Желтоземно-подзолистые и желтоземные почвы имеют кислую реакцию, бедны гумусом и элементами питания, в нижней части профиля иногда оглеены, и зачастую переувлажнены (Методические указания..., 1977; Дараселия и др., 1989). На этих почвах требуется большое количество мелиоративных работ, обогащение органическим веществом, а также киллерование при глубоком рыхлении

Наиболее информативным критерием чаепригодности почв является степень насыщенности основаниями слоя 50–100 см, которая определяет потенциальную урожайность плантаций чая (Бушин и др., 1994). Важной характеристикой является также кислая реакция почвенной среды, наличие подвижного алюминия по всей глубине почвенного профиля, поскольку эти свойства определяют урожайность плантации (Малюкова, 2010; Малюкова, Козлова, 2005, 2010). Урожайность растений чая также зависит от фракций гранулометрического состава, влияющих на содержание гумуса в слое 0–60 см (Козин, 1992, 2006).

Потребность растений в питательных элементах и реакция на внесение тех или иных веществ зависят от биологических особенностей растения, агротехники возделывания и запасов этих элементов в почве. Так в условиях Грузии (Чхаидзе, Микеладзе, 1979; Дараселия и др., 1989) при уровне урожая зеленого чайного листа в 4000 кг/га ежегодный вынос элементов составляет

150 кг/га азота, 22,9 кг/га фосфора и 47,8 кг/га калия или в пересчете на 1 ц/га – 3,75 кг/га азота, 0,57 фосфора и 1,2 кг/га калия, а также в зависимости от типов почв бора 5–8 г/га, марганца 400–1300 г/га, меди 8–11 г/га и цинка 21–31 г/га. В почвенно-климатических условиях России вынос основных элементов в зависимости от урожайности чая 5000–8000 кг/га составляет: азота – 55–100 кг/га; фосфора – 12,5–26,0 кг/га, калия – 25–40 кг/га; кальция – 7,5–15,0 кг/га (Малюкова, Козлова, 2010).

Требования к свету. Чай относится к теневыносливым растениям, но в тоже время он не боится прямой солнечной радиации, и в условиях Черноморского побережья не требует дополнительного затенения, как в более жарких странах. В случае затенения увеличиваются размеры листьев, их поверхность становится интенсивно окрашенной, блестящей и пузырчатой (Чхаидзе, Микеладзе, 1979; Дараселия и др., 1989). Чай – растение короткого дня: в условиях длинного светового дня он только вегетирует, а при коротком – быстро зацветает. Относительно интенсивное освещение улучшает качество чайного листа, повышает содержание в нем танина и экстрактивных веществ.

Таким образом, чайное растения предъявляет очень высокие, достаточно специфические требования к экологическим условиям произрастания, что значительно сужает ареал этой культуры.

Природные условия влажных субтропиков России (агломерация г. Сочи). В результате природно-хозяйственной оценки земель Российской Федерации, влажно-субтропическая природно-низкогорная часть отнесена к группе № 1, имеющей направленность для промышленного возделывания чайных насаждений и плодовых садов (Карманов, Булгаков, 2005). Горные территории Кавказа (группы 44–46) имеют лесную специфику, и предложены для плодородивного и рекреационного использования (приложение А, рисунок 1.1). Высоким удельным весом в составе земельного фонда Сочи отмечаются земли природоохранного, природно-заповедного, оздоровительного и рекреационного назначения (земли особо охраняемых

территорий), что составляет 283,8 тыс. га или 81 % от общей площади земель города.

Площадь земель, занятых чайными насаждениями, к 1960 г. составляла 2,7 тыс. га, однако в последующие годы около 50 % площадей было списано из-за сильной изреженности (Бушин, 1971; Воронцов, 1980; Козин, Беседина 1996). В 80-е г. XX в. площадь плантаций чая превышала 1,6 тыс. га, что составляло 14,5 % в структуре сельхозугодий (30 % от площади многолетних насаждений), валовый сбор зеленого чайного листа составлял более 7 тыс. т, а производство готовой продукции – около 2 тыс. т (Рындин, 2009б). С 1993 по 2000 г. объемы производства значительно снизились, а плантации заросли лесом и сорной растительностью, так площадь заброшенных насаждений чая к 2001 г. составляла более 900 га (Беседина, 2004; Рындин, 2009в; Рындин, Малюкова, 2010; Рындин и др. 2011; Малюкова, 2014). На начало 2021 г. чайные плантации занимают 1200 га, из них возделывается только 300 га.

Климатические особенности. Черноморское побережье Краснодарского края от границы Абхазии до Анапы относится к Средиземноморской климатической области, характеризующейся субтропическим климатом, который переходит с запада на восток от сухих субтропиков к влажным (Селянинов, 1961). А.С. Мосияш (1971), исследуя метеорологические данные за 100 лет наблюдений, констатировал, что среднегодовая температура воздуха на уровне моря варьирует в пределах 12,9–14,1 °С, средняя температура самых теплых месяцев июля и августа составляет около 23 °С, в разные периоды, повышаясь до 38–39 °С. Температура воздуха двух самых холодных месяцев (январь–февраль) была в диапазоне 3,8–5,9 °С, абсолютный минимум (за 100 летний период) был зафиксирован на уровне –14 °С (Мосияш, 1971; Гутиев, Мосияш, 1977).

Период вегетации со средней температурой выше 5 °С, для Черноморского побережья России длится практически с января до декабря, в среднем составляя от 10 до 12 месяцев (Мосияш, 1971). В период вегетации растений чая в течение 7–9 месяцев средняя температура воздуха отмечается

выше 10 °С. Описанные особенности климата наиболее распространены для узкой прибрежной полосы (до высоты 50–70 м н. у. м.), которая относится к зоне типичного (или близкого к типичному) субтропического климата (Мосияш, 1971).

С высотой н. у. м. климат меняется и становится скорее переходным к субтропическому. В горах температура воздуха постепенно снижается (по Г.Т. Селянинову, 1961), для района Сочи характерно снижение на 0,5–0,9 °С с увеличением высоты на каждые 100 м.

При неравномерном распределении осадков в течение года их количество в среднем составляет 1514 мм в год. В осенне-зимний период (октябрь–февраль) выпадает максимальное количество дождей, а самым засушливым является весенне-летний период (май–июль). Менее половины всех осадков выпадает в апрель–сентябрь (вегетационный период) (Мосияш, 1971; Гутиев, Мосияш, 1977). При этом, несмотря на то, что в летне-осенний период (апрель–сентябрь) вегетации растений чая суммарное количество осадков составляет в среднем 600–700 мм, их зачастую ливневый характер и неравномерное выпадение приводит к периодическим засухам. Примерно раз в десять лет отмечаются продолжительные засушливые периоды (более 40 дней), за которые сумма осадков составляет менее 100 мм (Мосияш, 1971; Гутиев, Мосияш, 1977; Бушин, 1982).

Земли сельскохозяйственного назначения расположены на участках от 5 до 800 м н. у. м. Горный рельеф, влияющий на направленность миграционных потоков, распределение тепла, влаги и элементов питания растений, является причиной пространственной неоднородности почв, играя важную роль в процессах почвообразования (Козин, 2004; Рындин, 2009в).

Таким образом, на Черноморском побережье Краснодарского края выделяются факторы климата, которые ограничивают получение стабильно высокой урожайности чайных плантаций. Так, периодическое понижение температуры воздуха (ниже 0 °С) в период март–апрель неблагоприятно сказывается на росте и развитии растений чая, значительно снижая его

урожайность. Кроме того, неравномерный по сезонам характер выпадения осадков, при достаточном их годовом количестве, зачастую приводит к формированию в летние месяцы дефицитных по сумме осадков и влажности воздуха периодов, продолжительность которых варьирует от 1 до 3 месяцев. Из-за этого промышленное выращивание культуры чая в субтропиках России в богарных условиях (без орошения), как правило, сопряжено со значительной потерей урожайности.

Почвенный покров зоны. Почвенный покров изучаемой зоны формируется в специфических условиях из-за пестроты биоклиматических и ландшафтных факторов, и разнообразия литологического состава почвообразующих пород (Галактионов, 1947; Герасимов, 1951; Зонн, 1950; Ромашкевич, 1959; Бушин, 1971; Беседина, 2004; Малюкова, Козлова, 2016). На Черноморском побережье России наибольшее распространение приобрели бурые лесные (41,9 %), аллювиальные (26,5 %) и дерново-карбонатные (19,6 %) почвы (Белоусов, 1967; Бушин, 1971; Лоскутникова и др., 1981; Беседина, 2004; Малюкова, Козлова, 2016).

Бурые лесные почвы (буроземы) расположены на средневысоких и высоких горах до 1200–1800 м н. у. м., нижняя граница их распространения опускается до 50–400 м н. у. м. (Бушин, 1971; Беседина 2004).

Формирование буроземов происходит на породах различного гранулометрического состава и генезиса, отличающихся разнообразием первичных минералов: на карбонатных породах оно сопровождается существенным выщелачиванием почв и образованием слабонасыщенных подтипов; на кислых бескарбонатных породах образуются кислые подтипы. Они могут формироваться под широколиственными и хвойно-широколиственными лесами, которые характеризуются насыщенным, богатым по объему кальциевым (азотно-кальциевым) биологическим круговоротом веществ. Важными факторами являются: большое количество атмосферных осадков, и слабое испарение, что обеспечивает промывной водный режим; обязательный свободный внутрипочвенный дренаж, с чем

связано широкое распространение буроземов на склонах гор; кратковременное сезонное промерзание (или его отсутствие), что обеспечивает достаточную интенсивность выветривания и вторичного минералообразования (Галактионов, 1947; Зонн, 1950; Фридланд, 1953; Ромашкевич, 1959; Ливеровский, 1987; Герасимов, 2007).

Для почвенного профиля бурых лесных почв отмечается сравнительно равномерный и однотонный (за исключением гумусового горизонта) бурый или коричневатобурый цвет, определяемый содержанием и составом гумуса (4–6 % в горизонте А), с преобладанием фульвокислот и бурых гуминовых кислот (Беседина, 2004). Также многими авторами отмечается кислая или слабокислая реакция почв и ненасыщенность основаниями всего профиля или поверхностной его части; обменная кислотность, обусловленная преимущественно алюминием; биогенная аккумуляция элементов (в первую очередь Са и Mg) в гумусовом горизонте (Зонн, 1950; Фридланд, 1953; Ромашкевич, 1959; Бушин, 1971; Классификация..., 1977; Ливеровский, 1987; Беседина, 2004; Вальков и др. 2007; Козлова, 2008). Для буроземов являются типичными: высокая оструктуренность, порозность, влагоемкость и хорошая водопроницаемость, обеспечивающая нормальный внутрипочвенный дренаж. Бурые лесные почвы сельхозугодий Сочи имеют по большей части (55 %) мощный профиль и преимущественно (более 80 %) тяжелый (глинистый) механический состав (Беседина, 2004).

Желтоземы, в отличие от бурозёмов, напротив, образуются только во влажном субтропическом климате под участками вечнозеленых лесов, располагаются почти исключительно на пологих склонах или выположенных участках древних морских террас с чехлом желтоцветного делювия, перекрывающего толщу кислых песчано-галечниковых террасовых отложений или карбонатных коренных пород (Классификация..., 1977). Свыше 130–150 м над уровнем моря образование желтоземов ограничено климатическими условиями, и они сменяются либо буроземами, либо различными вариантами дерновых почв (Вальков и др., 2002).

Таким образом, основные зональные типы почв субтропической зоны России – уникальные широко распространенные бурые лесные почвы и территориально ограниченные желтоземы – обусловлены специфическим комплексом свойств и режимов, обеспечивающих оптимальный уровень плодородия для возделывания редких для России субтропических культур, в том числе интродуцированных. Формирование этих типов почв обеспечено уникальным сочетанием комплекса почвообразующих факторов: климат, почвообразующие породы, растительность, рельеф и возраст. В последние десятилетия основным фактором почвообразования является деятельность человека, в том числе агрогенная, которая порой достигает существенных масштабов, и может быть приравнена к природным процессам и явлениям. Уникальность природно-климатических, в т.ч. почвенных ресурсов зоны, требует особого отношения при их освоении и использовании.

1.2 Анализ особенностей и эффективности применения минеральных удобрений на чайных плантациях

Одним из наиболее важных технологических звеньев при выращивании чая является рациональное применение чаеводческими хозяйствами минеральных и органических удобрений (Arnon, 1951; Krogman, 1960; Bhavanandan, 1969; Pethiyagoda, 1969; Бзиава, 1973; Методические указания..., 1977; Бушин, 1985; Аргунова и др., 1990; Аргунова, Бушин, 1992; Li, 2005), поскольку ни одно из других, проводимых на чайных плантациях агротехнических мероприятий, не дает столь высокого эффекта, как правильно осуществленная система удобрений. Высокая отзывчивость чайного растения на внесение питательных элементов привлекла внимание ученых к вопросу установления эффективности удобрений, содержащих отдельные элементы. Эти исследования включали определение наиболее эффективных форм, рациональных доз, способов и сроков внесения и других вопросов, в той или иной степени влияющих на уровень эффективности

вносимых удобрений, а именно на реакцию растений, урожайность культуры, качество чайного сырья и на плодородие почв (Али-Заде, 1964; Дараселия и др., 1989; Gao et al., 1999; Bowler, Fluhr, 2000; Li, 2005; Малюкова, 1997, 2009, 2010, 2014; Bhagat et al., 2010; Owuor et al., 2011–2012; Upadhyaya et al., 2012; Rupanjali et al., 2012).

Выращиваемые в основном для получения вегетативной массы – листовых побегов (флешей) растения чая требуют значительного количества питательных элементов. Согласно, существующим агроправилам, под культуру чая в мире ежегодно вносятся минеральные удобрения порядка: N – 200–400, P₂O₅ – 150–180, K₂O – 100–120 кг/га (Grice, 1988; Дараселия и др., 1989; Малюкова и др., 2007, 2010).

Однако, как следует из большого числа исследовательских работ, под воздействием длительного применения минеральных удобрений на многолетних плантациях чая значительно изменились физико-химические, биохимические и другие свойства почв. Существенные изменения произошли в агрохимических параметрах почв, как в положительную, так и отрицательную стороны (Голетиани, 1958, 1960; Ониани, 1960; Годзиашвили, 1969; Малюкова, 1997, 2014; Добежина, 1998; Беседина, 2004, Козлова, 2008). Так, в почвах чайных насаждений Западной Грузии увеличилось содержание гумуса, макроэлементов, при этом резко увеличилась кислотность почвы, подвижность алюминия и железа, снизилось содержание кальция, магния и марганца, в связи, с чем существенно изменилось соотношение питательных элементов (Годзиашвили, 1969; Голетиани, 1958, 1960; Ониани, 1960; Бзиава, 1980; Барабадзе, Обухов, 1981; Барабадзе, 1984; Годзиашвили, Чеботарёва, 2009). В условиях Черноморского побережья России при длительном применении минеральных удобрений на чайных плантациях также выявлено увеличение почвенной кислотности и, соответственно подвижности ряда элементов, рост содержания гумуса и макроэлементов (Малюкова и др., 1997, 1999,

2007; Беседина, 2004; Козлова, Малюкова, 2007; Козлова, 2008, 2010; Малюкова, Козлова, 2010, Малюкова и др., 2010).

При применении повышенных доз минеральных удобрений, особенно азотных удобрений, происходят глубокие изменения в углеводном, фосфорном и белковом обменах в растениях. Такого рода нарушения были выявлены и для культуры чая (как при моноазотной системе удобрения, так и при применении высоких доз NPK): дисбаланс поступления элементов питания в растения; чрезмерное накопление азота во флешах в ущерб другим элементам; снижение содержания микроэлементов в чайном сырье, что является одной из причин снижения качества чайного сырья – его биохимических показателей (танина и экстрактивных веществ) (Притула и др., 2009, 2011).

1.2.1 Макроудобрения

Макроэлементы – это группа химических элементов, которые содержатся в организме растений, животных и человека в количестве, более 0,1 % (Шеуджен, 2010).

Азот – один из главных элементов в жизнедеятельности растений, который присутствует в структуре белков (от 15 до 19 %), нуклеиновых и аминокислот, хлорофилла, ферментов, многих витаминов и в ряде других органических соединений. Количество азота в растении составляет 0,2–5 % и более от массы воздушно-сухого вещества (Барбер, 1988). Азот поглощается в форме аммония и нитрата – самых доступных его форм в почве, которые легко используются для синтеза аминокислот и белков (Кудеяров, 1989). По мере роста и развития ассимиляционной листовой поверхности и усиления синтеза углеводов эффективность аммиачного питания возрастает, и растения усваивают лучше аммоний, чем нитраты (Сычев, 2009).

Чайный куст, возделываемый для получения зелёной вегетативной массы, являющейся самой нежной и физиологически наиболее активной

частью растения, из всех питательных веществ больше всего требует наличия в почве азота в продолжение всего вегетационного периода (Дараселия, 2009; Малюкова, Козлова, 2010; Козлова и др., 2010; Козлова, Керимзаде 2018а). Необходимость разработки мероприятий по внесению азотных удобрений, включающих выбор лучших форм, оптимальных доз и способов внесения, обеспечивающих их эффективное использование, связана с высокой отзывчивостью чайного куста.

Результатами длительных опытов, проводимых ВНИИ чая и субтропических культур (Западная Грузия), установлено, что в первые годы применения азотных удобрений на всех почвенных разностях в климатических условиях районов возделывания чая (краснозёмы, субтропические подзолы, желтозёмы) проявляется преимущество сульфата аммония (Цанава, 1985). Обобщения дальнейшего периода наблюдений, показали одинаковую эффективность сульфата аммония, монтанселитры и мочевины (Габисония, 1979). И.И. Мадраимов и др. (1966) установили высокую эффективность циамида кальция и мочевиноформальдегидного удобрения (МФУ) при основном их внесении. Последствие МФУ в 2,5 раза выше, чем последствия равной по азоту дозе аммиачной селитры.

Дозы азотных удобрений применяют в широком диапазоне, однако в среднем от 75 до 900 кг д.в./га, что зависит от почвенно-климатических условий, сорта, изготавливаемого вида чая, экономических возможностей и многих других факторов. Наибольшую прибавку урожая, исследователи во многих чаепроизводящих странах получали при дозах азота 200–300 кг д.в./га, а при орошении доза азота 400–500 кг д.в./га позволяла получать дополнительный прирост урожайности (Методические указания..., 1977). Некоторые авторы отмечали, что внесение минеральных удобрений в дозах азота 300 кг д.в./га на угнетенных, длительно неудобряемых чайных плантациях быстро усиливало рост и развитие чайных кустов и быстро увеличивало их урожайность – в 10 раз на четвертый–пятый год. При этом прекращение внесения азотных удобрений на полновозрастных чайных

плантациях в первый же год снижало их урожайность вдвое (Качарава, 1957). В целом на промышленных плантациях дозы азота устанавливались в зависимости от урожайности чайного листа и составляли 250, 300, 350 кг д.в./га при урожайности до 3500; 3600–5000; более 5000 кг/га, соответственно (Методические указания..., 1977; Рекомендации..., 1981). В случае низкой или высокой обеспеченности почв питательными элементами было рекомендовано дозы увеличить или уменьшить, соответственно, на 30–50 %.

И.А. Чантурия (1970), изучая роль возрастающих доз азота в изменении агротехнических свойств почв, нашел, что соотношение C:N в почвах чайных плантаций составляет 12,4 и 10,1 для краснозёмов и субтропических подзолистых почв соответственно и с увеличением доз азота на красноземных почвах падает с 12,7 на РК до 10,6 при N 300 кг д.в./га. В разработках 70-х г. XX в. для молодых чайных насаждений рекомендовались дозы азотных удобрений 75, 150, 200 кг д.в./га для возраста растений 1–3, 4–6, 7–9 лет, соответственно (Методические указания..., 1977).

Более современные исследования в области минерального питания чая в условиях влажных субтропиков России показали, что в диапазоне доз азота 140–180 кг д.в./га и 240–300 кг д.в./га (для молодых и полновозрастных, соответственно) на чайных плантациях достигается наибольшая урожайность (Малюкова, Козлова, 2010; Малюкова и др., 2010). В экстремальные по метеусловиям годы (дефицит влаги, высокие температуры, заморозки) дозы азотных удобрений выше 200–240 кг д.в./га оказались практически не эффективными (Малюкова, 2014). По данным многолетних наблюдений (25 лет), при подборе доз азотных удобрений необходимо учитывать исходные показатели кислотности почвенного профиля, которые определяют эффективность их применения (Малюкова, 2014).

Ещё одним важным условием при подборе доз азотных удобрений является качество чайного сырья (Тенешвили, Гурабанидзе, 1972). Для катехинов, определяющих вкусовые и лечебные свойства чая, характерна нелинейная параболическая связь с азотом (Притула и др., 2009). Для

сохранения баланса урожайности и качества чайного листа наиболее оптимальными являлись дозы азотных удобрений до 200–240 кг д.в./га.

Фосфор является одним из важных элементов в жизни растений. Он принимает активное участие в обмене веществ, делении клеток, размножении и передаче наследственных свойств и в других сложнейших процессах. Он присутствует в составе нуклеопротеидов, нуклеиновых кислот, фосфатидов, ряда ферментов, витаминов, фитина и других биологически активных веществ (Сычев, Кирпичников, 2009). В растениях фосфор содержится как в минеральной, так в и органической формах. Минеральные соединения находятся в виде ортофосфорной кислоты, которая требуется растениям, прежде всего для процессов превращения углеводов (Zoysa, 1997; Salehi, Hajiboland, 2008). Фосфор, входящий в состав органических соединений, представлен в виде фитина – типичной запасной формы органического фосфора. Наибольшее его количество локализовано в репродуктивных органах и молодых тканях растений, где идут интенсивные процессы синтеза.

Для фосфора отмечена реутилизация из старых органов растения в молодые и необходимость для развития корневой системы молодых растений. Фосфор, в отличие от азота, активизирует развитие культур, стимулирует процессы оплодотворения, формирования и вызревания плодов. Недостаток элемента усиливает стрессовые повреждения, в частности, за счет фотоингибирования и фотоповреждения фотосинтетического аппарата (Zoysa, 1997; Salehi, Hajiboland, 2008).

Главным источником фосфора в почве для растений являются соли ортофосфорной кислоты, а самыми доступными – водорастворимые однозамещенные соли ортофосфорной кислоты: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 - \text{H}_2\text{O}$, KH_2PO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, NaH_2PO_4 , $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

Почвы субтропических регионов, как правило, обеднены фосфором, а их насыщенность оксидами железа и алюминия приводит (при внесении фосфорных удобрений) к его фиксации (Голетиани, 1976; Козлова, Малюкова, 2010; Малюкова, Козлова, 2013; Козлова, Керимзаде, 2018б). При

этом часть фосфатов остается в доступной форме и растения не испытывают недостатка в этом элементе.

Выявлено, что с урожаем чайного листа выносится небольшое количество фосфора. По данным Г.И. Голетиани (1958) в условиях Грузии, при урожае 5000 кг/га зеленого чайного листа вынос составил 12 кг P_2O_5 . В условиях Черноморского побережья Краснодарского края вынос – 10–29 кг/га P_2O_5 при урожайности чайного листа 4000–9000 кг/га (Малюкова, Козлова, 2010).

Многолетние исследования почв в условиях Черноморского побережья Кавказа, позволили установить, что высокие дозы фосфора – 480 и 960 кг д.в./га, внесенные 3 раза за 45 лет, дали почти одинаковые результаты, удваивая урожай по сравнению с фоном азота (Голетиани, 1976; Ониани и др., 1980; Дараселия и др., 1989). Было сделано заключение, что доза фосфора 480 кг д.в./га может обеспечивать урожайность чайной плантации на высоком уровне в последствии в течение 25–30 лет. На основании этих данных было рекомендовано периодически раз в 4 года вносить 4-летнюю дозу фосфора на почвах «низкообеспеченных» фосфором.

В дальнейших исследованиях (90-е г. XX в.) многими авторами отмечалось снижение эффективности применения фосфорных удобрений на фоне высокой обеспеченности почв подвижными фосфатами (Аргунова и др., 1990; Аргунова и др., 1994; Малюкова, 1997; Малюкова, Козлова, 2013). А анализ эффективности применения фосфорных удобрений в многолетнем ряду наблюдений, показал достаточность внесения небольших доз (до 60 кг/га), компенсирующих ежегодные потери фосфора с урожаем (Малюкова, 2014). Также есть мнение, что поскольку потребность растений чая в фосфоре невысокая, то она может быть удовлетворена дозой 10–15 кг/га (Zoysa, 1997; Chen et al., 2012).

Калий является вторым по необходимости элементом в жизнедеятельности чайного растения, поскольку активизирует ферменты, и принимает участие в более чем 60-ти реакциях, которые отвечают за

фотосинтез, дыхание, углеводный обмен и синтез белка (Никитина, 1994; Никитишен, Личко, 2007; Пухальская и др., 2009). Также он усиливает использование азота в форме аммиака, влияет на физическое состояние коллоидов клетки, увеличивает водоудерживающую способность протоплазмы и устойчивость растений к увяданию, что повышает сопротивляемость растений непродолжительным засухам. Выявлено участие калия в регуляции экспрессии генов, стабилизирующих водный баланс растений (Cuéllar et al., 2010) за счет сохранения целостности, стабильности и сокращения проницаемости мембран (Romheld, Kirkby, 2010), обеспечивающих рост водоудерживающей способности (Romheld, Kirkby, 2010). Калий повышает содержание водорастворимых форм углеводов и других органических веществ, определяющих осмотическую регулировку в клетке (Marschner, 2012), регулирует тургор замыкающих клеток (Marschner, 2012), увеличивает содержание пролина в засушливый период, который предохраняет растение от клеточных повреждений (Barman et al., 2011), поддерживает стабильность фотосинтетического аппарата (Белоус и др., 2011). При недостатке калия в растениях снижается передвижение углеводов, интенсивность фотосинтеза, восстановление нитратов и синтеза белка (Ashley et al., 2006).

В растениях калий преимущественно присутствует в клеточном соке в виде катионов, связанных органическими кислотами, и легко вымывается из растений (Wang, Wu, 2013). Избыток калия, так же, как и его недостаток, отрицательно сказывается на качестве и количестве урожая (Wang, Wu, 2013).

Из исследованных доз калийных удобрений в условиях Западной Грузии в последствии на краснозёмах лучшие результаты получены от доз калия – 240 и 480 кг д.в./га. Однако при повторном их внесении значимой разницы в эффективности этих доз не обнаружено. В последствии на желтозёмах наибольшая прибавка урожая чайного листа получена от доз 200 и 400 кг д.в./га. Правда в опыте периодичность внесения доз сохранялась и

контролировалась с момента закладки опыта. Ежегодно вносили дозу калия – 100 кг д.в./га, а раз в 2 и 4 года – 200 и 400 кг д.в./га, соответственно (Ониани, 1981; Дараселия и др., 1989).

Установлено, что наилучшие прибавки чайного листа, как правило, достигаются при содержании обменного калия в пределах 25 мг/100 г почвы (Ониани, 1981). При более высоком содержании калия в почвах уровень урожайности сохранялся, но достоверных прибавок урожая не отмечали.

В условиях влажных субтропиков России положительный эффект от применения калийных удобрений проявлялся как на молодых чайных плантациях (Бзиава и др., 1979; Дараселия и др., 1989; Аргунова и др., 1990), так и на полновозрастных плантациях (Методические рекомендации..., 1977; Бзиава и др., 1979; Дараселия и др., 1989). В качестве средних доз рекомендовали использование 100 и 100–150 кг д.в./га для молодых и полновозрастных чайных плантаций, соответственно (Методические указания..., 1977; Аргунова и др., 1990; Малюкова, Козлова, 2010). При этом, было выявлено, что при выращивании чая без орошения, положительный эффект от внесения калийных удобрений в большей степени проявлялся в экстремальные по метеорологическим условиям годы (весенние заморозки, дефицит влаги в летний период) (Малюкова, 2014).

Длительный период применения высоких доз NPK в чаеводстве привёл к снижению содержания в почве многих мезо- и микроэлементов, играющих важную роль в питании растений (Шавишвили, 1973; Зырин и др., 1979; Малюкова, 1997, 2011, 2014; Малюкова и др. 1999). Это приводит к функциональным и физиологическим нарушениям и, как правило, к ослаблению побегообразовательной способности чая. Дальнейшее увеличение урожайности и улучшение качества продукции возможно только при сбалансированном питании растений чая как макро-, так микроэлементами (Белоус, Притула, 2008; Малюкова, 2014; Притула, Великий, Малюкова, 2014).

Кальций принимает участие в белковом и углеводном обмене растений, образовании и росте хлоропластов, обеспечивает определенное физиологическое равновесие ионов в клетке, снижает активность органических кислот, оказывает влияние на вязкость и проницаемость протоплазмы (Кабата-Пендиас, 1989). Для кальция отмечается выраженное влияние на снижение окислительных повреждений у различных растений (Gao et al., 1999; Bowler, Fluhr, 2000; Hetherington, Brownlee, 2004; Медведев, 2005; Kim, 2009; Hu et al., 2018; Ren-Jie Tang et al., 2020), в том числе и для растений чая (Upadhyaya et al., 2011, 2012; Малюкова и др., 2016, 2020, 2021) при засухе, в основном связанное с индуцированием антиоксидантной системы.

В отличие от макроэлементов, локализованных обычно в молодых тканях, большое количество кальция содержится в старых тканях. С урожаем чайного листа вынос кальция составляет 7,5–15,0 кг/га при урожайности 5000–8000 кг/га (Малюкова, Козлова, 2010).

Почвы, на которых чай растёт в течение длительного периода времени, имеют большой дефицит кальция в результате непрерывного использования физиологически кислых минеральных удобрений (Wanyoko, Othieno, 1993, Козлова, Малюкова, 2007; Козлова, Керимзаде, 2017) и становятся менее продуктивными (Wanyoko, Othieno, 1993).

Кальциевые удобрения в системе питания чая практически никогда не рассматривались, поскольку исходно было известно, что эта ацидофильная культура произрастает только на кислых почвах. Однако многолетние наблюдения показали высокий биологический вынос и потребность чайного растения в этом элементе (Saidi et al., 2009; Maathuis, 2009; Малюкова, Козлова, 2010; Малюкова, 2013), а в последние годы также появились работы зарубежных учёных, в которых показана эффективность применения некорневых подкормок кальцием (Upadhyaya et al., 2011, 2012). В условиях выщелоченных красноземов и подзолистых почв Грузии на фоне очень низкого содержания в почвах кальция и магния (1–2 мг-экв/100 г) был

отмечен положительный эффект от внесения этих элементов на плантациях чая (Дараселия и др., 1989), а также при выращивании саженцев (Годзиашвили, Чеботарёва, 2009). Также выявлено, что применение гашеной извести снижало кислотность и содержание обменных магния и алюминия, и увеличивало количество подвижного кальция в почве и листьях растений чая (Wanyoko, Othieno, 1993).

Магний является основным компонентом хлорофилла (около 10 % от его общего количества в зеленых органах растений) и участвует в фотосинтезе (Кабата-Пендиас, 1989; Marschner, 2012). Также магний участвует в образовании в листьях ксантофилла, каротина и присутствует в составе запасного вещества фитина, находящегося в семенах растений и пектиновых веществах. Около 70–75 % магния содержится в растениях в минеральной форме, в основном в виде катионов (Кабата-Пендиас, 1989; Marschner, 2012).

Ионы магния, адсорбционно связаны с коллоидами клеток и наряду с другими катионами сохраняют ионное равновесие в плазме; подобно ионам калия, они способствуют уплотнению плазмы, снижению ее набухаемости, а также исполняют роль катализаторов в ряде биохимических реакций, происходящих в растении. Магний усиливает деятельность многих ферментов, принимающих участие в образовании и превращении углеводов, белков, органических кислот, жиров; влияет на передвижение и превращение фосфорных соединений, плодообразование и качество семян; ускоряет созревание семян зерновых культур; способствует улучшению качества урожая, увеличению содержания в растениях жира и углеводов, морозоустойчивости цитрусовых, плодовых и озимых культур (Кондаков, 2007; Marschner, 2012).

Необходимой формой для питания растений является обменный магний, содержащийся в зависимости от вида почвы до 5–10 % от общего количества этого элемента в почве (Барбер, 1989).

В нашей зоне вопросам изучения эффективности внесения магния уделялось меньше внимания. При этом ежегодный вынос магния с урожаем составляет – 3–11 кг/га при урожайности 4000–14000 кг/га (Дараселия и др., 1989). В условиях выщелоченных красноземов и подзолистых почв Грузии на фоне очень низкого содержания в почвах магния (1–2 мг-экв/100г) показана высокая эффективность применения этого элемента в качестве удобрения (Дараселия и др., 1989) за счет активизации процессов фотосинтеза в листьях флешей в период вегетации. Применение магнийсодержащего удобрения в первые годы по данным (Li, 2005), существенно повышало урожай чайного листа.

В Кении в связи с дефицитом магния в почвах были проведены исследования по установлению эффективных доз этих удобрений. Однако положительного эффекта на урожай чая от доз 25, 50, 100 и 200 кг д.в./га MgO ими не было получено. При анализе химического состава листьев и стебля растений чая, было отмечено увеличения магния, по сравнению с контролем, содержание магния в первом листе составило 0,16 %, во втором – 0,21 %, в стебле – 0,20 % (Chenery, 1959, 1961; O'Shea, 1963; Tolhurst, Machaga 1974).

1.2.2 Микроудобрения

Микроэлементы – это группа химических элементов, которые содержатся в организме растений, животных и человека в очень малых количествах, в пределах 10^{-3} – 10^{-12} %, что является их главной характерной чертой (Аристархов и др., 2010; Шеуджен и др., 2010). Многие из них являются жизненно необходимыми, поскольку участвуют в различных метаболических процессах: поглощения, транспорта, окисления-восстановления, биосинтеза органических соединений, передачи генетической информации (Шавишвили, 1973; Школьник, 1974; Зырин и др., 1979; Ernst, 1976; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Белоус, 2006;

Шеуджен и др., 2010; Marschner, 2012; Njoloma, 2012). Воздействуя через ферментную систему или непосредственно связываясь с биополимерами растений, микроэлементы активизируют или ингибируют процессы роста, развития и репродуктивную функцию растений (Hewitt, 1959; Скок, 1962; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Белоус, 2006; Шеуджен и др., 2010; Малюкова, 2011; Marschner, 2012; Njoloma, 2012). Микроэлементы способствуют избирательному поглощению ионов, регулируют транспорт ионов через клеточные мембраны (изменяя проницаемость плазмолеммы), влияют на поглощение и передвижение в растении азота, фосфора и других элементов. В частности, в метаболизме азота участвуют такие элементы как бор и цинк, дефицит которых приводит к снижению поступления нитратного и аммонийного азота и скорости включения последнего в состав белков. К этому же ведет избыток марганца и кобальта. Цинк и бор изменяют проницаемость мембран для калия и магния, улучшая их поступление (Скок, 1962; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Dev Chaudhury et al., 1989; Sharma et al., 1992; Cakmak, Romheld, 1997; Blevins, Lukaszewski, 1998; Brown et al., 2002; Dordas, Brown, 2005).

Вопросам изучения эффективности применения микроэлементов посвящено большое число работ (Parks, White, 1952; Лежава, 1956; Odhnoff, 1957; Chenney, 1958; Тонконоженко, 1969; Brown, 1978; Lindsay, 1972; Jing et al., 1978; Ильин, 1973; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Fageria et al., 2002; Кондаков, 2007; Сычев, 2009 и др.). Микроэлементы дополняют действие основных минеральных удобрений. При обеспечении растений основными питательными элементами, внесение в почву незначительных количеств микроудобрений позволяет повысить не только урожайность, но и качество продукции (Георгадзе, 1963; Школьник, 1974; Зырин и др., 1979; Соболевский и др., 1984; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Шеуджен и др., 2010). Установлено, что растения гораздо лучше используют азотные, калийные и фосфорные удобрения при наличии в почве необходимого набора и количества микроэлементов (Школьник, 1974; Зырин и др., 1979;

Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Шеуджен и др., 2010; Marschner, 2012). В условиях Западной Грузии показана высокая эффективность применения на чайных плантациях таких элементов как бор, марганец, цинк (Шавишвили, 1973; Барабадзе, 1984; Дзадзуа, 1991). В условиях Черноморского побережья России изучена эффективность фолиарных обработок чайного листа Mn, Fe, Cu, Zn (Пилипенко, 1994; Притула, Белоус, 2001; Белоус, 2006, 2008), показана положительная роль этих элементов на адаптивность чайного растения, биохимические показатели качества готовой продукции.

Бор благодаря специфическому строению электронной оболочки атома, легко вступает в соединения почти со всеми химическими элементами, в результате чего он принимает участие в образовании и сохранении структуры межмолекулярных и надмолекулярных комплексов биополимеров, в частности, белков, нуклеиновых кислот, липидов и полисахаридов (Скок, 1962; Blevins, Lukaszewski, 1998; Brown et al., 2002).

Функции бора в организме растений связаны с обменом углеводов, переносом сахаров через мембраны, которое происходит благодаря образованию углеводно-боратного комплекса, облегчающего прохождение сахара через мембрану (Яковлева, 1957; Скок, 1962; Кибаленко, 1973; Школьник, 1974; Анпок, 1990; Loomis, Durst, 1992; Иванов, 1995; Du et al., 2002; Brown et al., 2002; Булыгин и др., 2007;). Авторы предполагают, что углеводно-боратный комплекс способен перемещаться из клетки в клетку или бор представляет собой компонент мембран (Blevins, Lukaszewski, 1998; Brown et al., 2002), вступающий во временную связь с углеводом и осуществляющий таким образом его прохождение через мембрану. В листьях растений из-за нехватки бора зачастую содержится много сахаров и других углеводов.

Установлено влияние бора на фотосинтетическую активность растений: увеличивается количество и размер хлоропластов, а также содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях, повышается интенсивность фотосинтеза в утренние и вечерние часы и снижается

дневная её депрессии, что связано с повышением водоудерживающей способности клеток (Шеуджен и др. 2010). Не малую роль бор играет и в синтезе ДНК, РНК и фитогормонов; образовании клеточных стенок и развитии тканей (Скок, 1962).

Недостаток бора приводит к: нарушению роста клетки, её созреванию и дифференцировки (Odhnoff, 1957; Сакмак, Romheld, 1997; Dordas, Brown, 2005); нарушению транспирации в листьях (Скок, 1962; Сакмак, Romheld, 1997); снижению способности ассимилировать фосфаты (Кибаленко, 1969; Школьник, 1974), и к увеличению содержания нитратного азота в корнях, листьях и стеблях (Сакмак, Romheld, 1997; Dordas, Brown, 2005). При этом бор положительно влияет на скорость поглощения макроэлементов (калия, кальция и магния) и микроэлементов (цинка, молибдена, марганца и меди).

В растениях содержание бора составляет менее 100 мг/кг сухой массы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Меньше всего его находится в однодольных растениях, больше – в двудольных, а самое большее – в растениях с млечной системой. В чае содержание бора оценивается как среднее, в сравнении с другими растениями (Барабадзе, 1984). Установлено, что в зрелых листьях на варианте без удобрений его количество варьирует от 13,2 до 26,3 мг/кг, а во флешах – от 11,6 до 17,9 мг/кг сухой массы. При этом в штате Ассам в Индии, содержание бора в чайных листьях существенно больше и колеблется от 30 до 50 мг/кг сухой массы (Барабадзе, 1984).

Эффективность борсодержащих удобрений в дозах 0,5–10,0 кг д.в./га при применении в почву экспериментально доказана для зерновых культур: озимой пшеницы и риса (Багдасаров, 1977; Местер, Багдасаров, 1979; Аристархов и др., 2010). Исследования показали, что урожайность для зерновых культур (пшеница, ячмень, кукуруза) увеличивается на 3,3–10 %, для риса на 8,0–19,7 %.

Применение борного удобрения на красноземах Грузии улучшало качество чайного сырья, усиливало процессы роста, активизировало

побегообразовательную способность, тем самым повышая урожайность чайных плантаций на 7 % (Шавишвили, 1973).

В бурых лесных почвах влажных субтропиков России содержание бора варьирует от низкого до высокого, а в почвах чайных плантаций отмечается его недостаток (Малюкова, Козлова, 2010; Малюкова, 2011). К тому же на доступность бора в почве влияет величина рН почвы (Parks, White, 1952; Berger, 1995).

Цинк является одним из числа наиболее активных биогенных элементов, выступает не только как элемент питания, но и как стимулятор роста, влияющий на развитие организмов (Yan et al., 1997). Он играет существенную роль в белковом, углеводном и фосфорном обменах, в биосинтезе витаминов и ростовых веществ (ауксинов), повышает жаро- и морозоустойчивость растений.

Физиологическая роль цинка в организме растений определяется его наличием в составе многих ферментов. Цинк присутствует в составе карбоангидразы и карбоксилазы, участвующих в процессе дыхания (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Незаменима роль цинка в азотном обмене растений: недостаток его приводит к существенному накоплению небелковых соединений азота – амидов, аминокислот; обогащение растений этим элементом – повышает синтез белковых веществ. Отмечается активное участие цинка в синтезе ДНК и обеспечении прочности связи хлорофилла с белком, предохраняя его от преждевременного распада, что увеличивает содержание хлорофилла в листьях и повышает интенсивность фотосинтеза (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Важной также является роль цинка в фосфорном обмене в растениях. Недостаток элемента усиливает поступление фосфатов в растения, за счёт его перемещения из корней в надземные органы, где он в виде неорганических соединений накапливается в значительных количествах (Парибок, 1970). Также он повышает устойчивость растения к неблагоприятным условиям среды (Chvapil, 1973; Кабата-Пендиас,

Пендиас, 1989). Для зерновых культур отмечено увеличение урожайности на 12–30 %, содержания белка в зерне на 0,4–2,4 %, клейковины на 0,5–3,4 % (Рафик Али Салех, 1980; Шеуджен и др., 1991; Аристархов и др., 2010). При внесении Zn в почву при питании мандарина увеличивается размер кроны, интенсивность цветения, завязывания плодов и урожайность (Srivastava, Singh Shyam, 2009).

В Кении сравнивали внесение цинка в почву (сульфат цинка 150 и 300 кг/га) с некорневой подкормкой (оксид цинка 3 кг/га в 200 л воды/га), где способ некорневой обработки растений показал себя значительно лучше (Tolhurst, 1973, 1978). Также было отмечено, что применение цинка в неблагоприятных погодных условиях помогло чаю восстановиться, и привело к увеличению урожайности. При этом применение цинка, по результатам других исследователей, повышало содержание в листьях чайного растения катехинов, аминокислот, полифенолов, растворимых сахаров; образование протеинов и нитратредуцирующую способность, при снижении малоновых альдегидов, а также продуктов перекисного окисления липидов (Wu, Fang, 1994).

При этом, как дефицит, так и избыток этого элемента в растении, по данным зарубежных авторов (Huiqun, Yuchen, 1987; Yan et al., 1997; Tewari et al., 2008) приводит к существенному снижению роста побегов и корней, вызывает дезорганизацию клеточных органелл, снижает скорости фотосинтеза и транспирации, проводимость устьиц, содержание хлорофиллов *a* и *b*, и, соответственно, в растениях повышается содержание супероксидного аниона, малонового диальдегида, перекиси водорода. Отрицательная роль избыточного содержания цинка в почве во многом обусловлена токсичностью многих его соединений, прежде всего, сульфатов и хлоридов. Так, уставлено, что при содержании в почве 2000 мг/кг цинка растения чая погибают через 15 дней, при 1000 мг/кг через 36 дней, а при 750 мг/кг растения чая испытывают его сильное отравляющее воздействие (Venkatesan et al., 2006).

По обобщённым данным А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиаса (1989), среднее количество Zn в верхних слоях почв разных стран колеблется в пределах 17–125 мг/кг. Содержание валового цинка в буроземах зоны влажных субтропиков России в среднем составляет 79–91 мг/кг, а количество его подвижных форм находится в интервале 2,2–8,8 и 3,2–6,2 мг/кг, для почв леса и чая, соответственно (Малюкова, 1997; Малюкова, Малинина, 2001), что оценивается, как низкая и средняя обеспеченность.

Применение цинкосодержащего удобрения при внесении его в почву в условиях Западной Грузии способствовало усилению ростовых процессов, что повышало урожайность чайного сырья на 10,5 % (Шавишвили, 1973). Исследования на чайных плантациях нашей зоны показали его пользу как при некорневом (Белоус, 2006), так и при почвенном внесении (Малюкова, Козлова, Великий, 2012), что выражалось в увеличении урожайности чая на 12 и 15%, соответственно.

Таким образом, обобщение научных результатов по эффективности применения различных видов и доз минеральных удобрений на чайных плантациях позволило определить спектр основных элементов, требующих ежегодной или периодической компенсации. В условиях влажных субтропиков России, как и в других регионах мира, наиболее важными макроэлементами для чая считаются азот, калий и фосфор. Эти базовый блок элементов целесообразно увеличить как минимум до 6, включив в него Ca, B, Zn.

ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научно-исследовательская работа проведена в рамках государственного задания ФГБНУ ВНИИЦиСК, г. Сочи, (ныне ФИЦ СНЦ РАН) в период с 2010 по 2020 гг. на базе лаборатории агрохимии и почвоведения.

Полевые исследования проведены на базе полевого опыта с удобрениями (рисунок 1а, б), расположенного на производственной плантации чая ЗАО «Дагомысчай» (поселок Уч-Дере, Лазаревский район, г. Сочи, Краснодарский край, 43°69'N, 39°64'E). Плантация чая была заложена в 1983 году. Согласно действующей технологии возделывания чая, до посадки растений были проведены агротехнические мероприятия по окультуриванию почв: плантажная вспашка (на глубину 45–50 см), внесение в почву фосфорно-калийных удобрений в дозе P180K120 кг д.в./га (Методические..., 1977). Посадка проводилась саженцами – 3 саженца на 1 м, междурядье 1,75 м, в посадочные ямы (30x30 см) проведено внесение суперфосфата (25 г). В первые три года проводилась периодическая прополка насаждений, мотыжение почвы между рядами чайных растений, внесение удобрений N75P100. Каждый год в марте проводилась шпалерная подрезка чайной плантации (рисунок 1а), в результате чего в почву поступало существенное количество надземной массы, пополняющей запас органического вещества. Чайный лист собирали систематически 5–8 раз за сезон вручную, временами применяли механизированный сбор на 2–3-лиственную флешь (Методические..., 1977).

Насаждения представлены районированным сортом Колхида, который относится к сортам интенсивного типа и выделяется высокой побегообразовательной способностью (рисунок 1б). Так, по данным многих авторов, побегообразовательная активность этого сорта в зависимости от

условий года и технологии выращивания варьирует от 675 до 1800 шт/м². (Гвасалия, 1973, 1974, 1975; Туов, 1989; Шеховцова, 1989).



а)



б)

Рисунок 1 – Опыт с макро- и микроэлементами: а) подрезка чайных шпалер, март; б) общий вид в листосборный период, июнь

Полевой мелкоделяночный опыт с внесением в почву изучаемых элементов (Mg, Ca, B, Zn) был заложен на этой чайной плантации в 2003 году. Общая площадь опыта 0,05 га (рисунок 2). Площадь опытных делянок

– 10 м², повторность 3-х кратная. Перед закладкой опыта проведено агрохимическое исследование почвы с целью определения степени неоднородности участка по содержанию основных элементов. В 2001 году на участке были начаты работы по выравниванию агрохимического фона и состояния шпалер. Перед наложением схемы опыта почва имела следующие агрохимические характеристики: рН_{KCl} – 3,75±0,14; содержание подвижного алюминия – 6,43±2,16 ммоль(экв)/100 г; содержание обменных кальция и магния – 8,40±1,40 ммоль(экв)/100 г; содержание гумуса – 3,06±0,16 %; содержание подвижного фосфора – 294±37 мг/кг и обменного калия – 273±25 мг/кг.

Схема опыта:

- 1) контроль – N240P70K90 кг д.в./га;
- 2) сульфат магния (MgSO₄) – 100 кг д.в./га MgO (60 кг д.в./га Mg), с 2015 года изучается последствие данного элемента;
- 3) сульфат цинка (ZnSO₄) – 4,3 кг д.в./га, с 2017 изучается в последствии, в связи с увеличением подвижного цинка в почве на варианте в 2–4 раза (Великий, 2016);
- 4) борная кислота (H₃BO₃) – 6 кг д.в./га;
- 5) смесь Zn+B+Mg (4,3 кг д.в./га, 6 кг д.в./га, 60 кг д.в./га, соответственно);
- б) кальцийсодержащий природный материал (250 кг/га).

Кальцийсодержащий природный материал является глинисто-известковыми отходами, образующимися при дроблении известняка на мелкие фракции щебня (карьер, Адлерский район). По механическому составу материал на $\frac{3}{4}$ состоит из фракций тоньше 0,25 мм. Это вещество характеризовалось слабощелочной реакцией водной суспензии (рН – 8,20), содержит в обменной форме кальций (10,9 ммоль(экв)/100 г), в меньшем количестве магний 2,2 ммоль (экв /100 г), а также азот, фосфор и калий.



Рисунок 2 – Опыт с макро- и микроэлементами, общий вид, май

Элементный состав этого природного вещества приведен в работе Л.С. Малюковой с соавт. (2020). Исследуемый материал содержал в среднем 40–50 % кальция, для 45 элементов кларк концентрации был ниже 1, содержание Sr (600 мг/кг) и Cd (0,38 мг/кг) было выше кларка, но не превышало установленные ПДК почвы: 600 мг/кг и 2 мг/кг, соответственно.

Ежегодно микроудобрения вносили на фоне макроудобрений (в дозе N240P70K90 кг д.в./га) в весенний период в верхний слой почвы с заделкой. Дозы макро- (Mg, Ca) и микроэлементов (B, Zn) подобраны с учетом

результатов, полученных в полевых опытах в условиях Западной Грузии (Шавишвили, 1973; Дараселия и др., 1989).

Исходно естественная почва классифицировалась как бурая лесная кислая малогумусная легкоглинистая мощная на элюво-делювии аргиллитов (согласно Классификации..., 1977) (рисунок 3 и приложение Б – описание почвенного разреза). Согласно Классификации и диагностики почв России (2004) эти почвы относятся к отделу структурно-метаморфических, типу бурозёмы. Почвы плантации чая классифицировались как бурые лесные кислые окультуренные (согласно Классификации..., 1977), а согласно Классификации и диагностики почв России (2004) относятся к отделу агрозёмы, типу агрозёмы структурно-метаморфические.



Рисунок 3 – Почвенный разрез, заложенный на опыте с макро- и микроэлементами, февраль, 2013 г.

Изучение влияния элементов на плодородие бурых лесных кислых почв. С целью оценки влияния макро- и микроэлементов на плодородие почвы опытного участка проведены отборы почвенных проб на глубину 0–20 и 20–40 см в 2010, 2013; на глубину 0–20 см 2016 и 2018 годах в 3-кратной повторности по каждому из изучаемых вариантов. В 2012 г. проводили отборы почвенных проб на глубину 0–20 см в течение

вегетационного периода (апрель–октябрь) для изучения дыхательной активности почвы и динамики содержания подвижных форм макро- и микроэлементов. В 2019 году был проведен отбор проб по вариантам опыта с глубин 0–20, 20–40 и 40–60 см.

Лабораторные исследования выполнены по общепринятым методикам (Агрохимические..., 1975; Практикум..., 2001): влажность почвы – весовым методом; pH_{KCl} – потенциметрически (ионметр pH-121, Россия); алюминий и обменная кислотность по Соколову; гидролитическая кислотность по Каппену; азот легкогидролизуемый – по Тюрину и Кононовой, используя колориметрический метод с реактивом Несслера (прибор УСФ-01, Россия); азот нитратный – дисульфифеноловым методом; азот аммиачный – колориметрический метод с реактивом Несслера (прибор УСФ-01, Россия); фосфор подвижный по Ониани с колориметрическим окончанием по Дениже (прибор УСФ 01, Россия); калий подвижный по Ониани (прибор КВАНТ - АФА, Россия); содержание обменных форм Ca^{2+} и Mg^{2+} – трилометрически; содержание подвижного цинка, в вытяжке ААБ (pH 4,8) – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (прибор КВАНТ - АФА, Россия). Определение базального дыхания почвы (эмиссия CO_2) проводили методом абсорбции с титрометрическим окончанием (навеска почвы – 100 г, инкубация почвенных образцов, доведенных водой до 60 % ПВ, проводилась в герметично закрытых полиэтиленовых пакетах в течение 1 суток; поглощающий CO_2 раствор – 0,1н NaOH; раствор, используемый для титрования с 0,1н HCl).

Изучение влияния элементов на состояние растений чая. Для оценки состояния пигментного комплекса листьев чая (2011–2013 гг.) проводили: определение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* (Chl_a), *b* (Chl_b) и каротиноидов (Car)) в зелёных листьях чая 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). Для этих

целей отбирали 1–2-й физиологически зрелый лист, расположенный на ростовом побеге текущего прироста, после недоразвитого «рыбьего» нижнего листа, в количестве 8–10 шт. каждого повторения; объём выборки составлял 30–40 листьев. Сроки отбора: июль, август, сентябрь.

Изучение функционального состояния фотосинтетического аппарата растений чая по параметрам флуоресценции хлорофилла проводили с помощью прибора LPT-3С (Будаговская и др., 2006, 2010) в лабораторных условиях в затемненном помещении. Измерения показателей по вариантам проводили в трёх точках на 3–5 листьях, экспериментальным путём установлено время экспозиции в 2 минуты. Измеряли следующие параметры флуоресценции хлорофилла: максимум флуоресценции F_m (столбец « F_m »); стационарный уровень флуоресценции (столбец « F_T »); показатель относительного тушения флуоресценции или индекс жизнеспособности (столбец « F_m/F_T »); показатель фотосинтетической активности, рассчитанный по алгоритму экстраполяции (столбец « Kf_T »); показатель фотосинтетической активности, рассчитанный в каждый текущий момент времени измерений (столбец « Kf_n »). Для этого анализа отбор зрелых листьев (первый лист после рыбьего, на приросте текущего года) был проведен в течение периода вегетации растений чая (март, май–ноябрь). Количество листьев в выборке 25–30 штук по каждому из вариантов опыта. Также в 2014 году были проведены измерения на молодых листьях (на третьем листе 3-листной флешки).

Ежегодно в течение листосборного периода проводили определение концентрации клеточного сока (ККС) – рефрактометрическим методом Филиппова, на полевом рефрактометре R-1 с одновременной регистрацией температуры и влажности воздуха с использованием психрометра (Филиппов, 1975).

Интегральным показателем роста растений рассматривали урожайность, учет которой проводили по вариантам в периоды подхода чайного листа к сбору, согласно агроправилам (Методические..., 1977).

С целью оценки влияния элементов на побегообразовательную способность растений чая на опытном участке проведен учет количества молодых побегов по вариантам опыта с помощью учетных делянок площадью $0,25 \text{ м}^2$ в 2-точках по 3-м полевым повторностям опыта (рисунок 4).



Рисунок 4 – Оценка побегообразовательной активности чая с помощью учетных делянок, май

Для оценки механического состава чайного сырья в течение вегетационного периода (май, июнь, июль) отбирали образцы флешей, по 100 грамм с каждого варианта, и разбирали по фракциям: 2-х, 3-х, 4-листные нормальные флешы (растущие побеги) и глушки (побеги, остановившиеся в росте на чайном кусте). В каждой фракции подсчитывали их количество, определяли массу флешей и фракционный состав чайного листа в процентах.

Качество чайного сырья оценивали по процентному соотношению разнокачественных флешей (2-, 3- и 4-листные) и биохимическому составу.

Отбор образцов флешей проводили по вариантам опыта в периоды наиболее массового подхода чайного листа к сбору: вторая–третья декада мая, первая – июня, июля, августа; повторность 3-кратная. Проба – образцов для биохимических исследований составляет 100 г 3-листных флешей. Биохимические показатели определяли в свежесобранных флешах, фиксированных путем 3-минутного пропаривания в аппарате Коха с последующим высушиванием при температуре 65–70 °С. В водном экстракте устанавливали количество растворимого танина в процентах по методу Левенталья 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).

Элементный состав листьев чая. Для пробоподготовки листьев применяли ускоренный метод кислотного (мокрого) озоления, позволяющий определять одновременно несколько элементов в навеске – озоление смесью кислот H_2SO_4 и $HClO_4$ в отношении 10:1 по Щегловой, Вульфийус (метод кислотного озоления по К.Е. Гинзбург и др. (1963). Далее азот и фосфор определяли по стандартным методикам на приборе УСФ-01(Россия), соответствующим методом, кальций и магний – трилонометрически. (Агрохимические..., 1975; Практикум..., 2001). Калий и микроэлементы в озольте определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе КВАНТ - АФА, Россия (Методические указания..., 1985).

Физиологические и биохимические показатели были определены на базе лаборатории биотехнологии, физиологии и биохимии растений ГНУ ВНИИЦиСК под руководством кандидата сельскохозяйственных наук Притулы З.В. Освоение методики оценки функционального состояния фотосинтетического аппарата с помощью метода оценки медленной фазы

хлорофилл флуоресценции проходило при содействии научного сотрудника лаборатории селекции кандидата сельскохозяйственных наук Пашенко О.И.

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 \pm стандартное отклонение, диапазоны варьирования по годам.

Экономическая эффективность корневого применения элементов была рассчитана по следующим показателям: себестоимость 1 т, тыс. руб.; стоимость валовой продукции с 1 га, в тыс. руб.; производственные затраты на 1 га, тыс. руб.; чистый доход с 1 га, тыс. руб.; уровень рентабельности, %, окупаемость дополнительно применяемых затрат (Шеуджен, 2012; Экономический анализ, 2017). Уровень рентабельности – отношение прибыли от производства и реализации продукции к ее полной себестоимости, выраженное в процентах. Окупаемость дополнительно применяемых затрат в стоимостном выражении определяется отношением дополнительного чистого дохода к дополнительным производственным затратам. Цена реализации 1 кг свежего чайного листа – 210 руб.

Метеорологические условия в годы проведения исследований. По данным Сочинской Гидрометеостанции многолетние метеорологические показатели Черноморского побережья России за период 1900–2000 гг. характеризуются следующим образом. В зимний период среднемесячная температура составляет +5–6 °С, возможно появление холодов с понижением температуры до –14 °С (Гутиев, Мосияш, 1977). Суммарное количество осадков за два зимних месяца (январь–февраль) составляет около 300 мм. Весенний период характеризуется увеличением среднемесячной температуры от +8 °С в марте до +16 °С в мае, периодически наблюдаются апрельские заморозки. В июньско–сентябрьский период среднемесячная температура варьирует от +20 до +23 °С. В весенний, летний, и ранний осенний период довольно часто отмечаются дневные температуры +30 °С и выше. В летний

период сумма осадков варьирует от 118–412 мм (составляя в среднем около 300 мм), иногда отмечаются засушливые периоды продолжительностью от одной недели до одного месяца и более (Беседина, 2004; Рындин 2009а, 2016).

Метеорологические показатели за период исследований (2011–2020 гг.) в целом были сопоставимы со средними многолетними данными. Однако отдельные годы имели достаточно ярко выраженные контрастные метеоусловия, как относительно благоприятные (оптимальные и близкие к оптимальным, отвечающие требованиям культуры), так и неблагоприятные (существенно отклоняющиеся от оптимальных по температуре и количеству осадков) (таблица 1, приложение В – Параметры метеорологических условий).

Таблица 1 – Метеорологические данные за период исследований 2011–2020 гг.

Метеорологические показатели по периодам		Среднее за период 2011–2020	Среднее в благоприятные годы*	Среднее в неблагоприятные годы**
Среднесуточная температура, °С	год	15,1	15,3	14,9
	вегетации	18,7	18,6	18,8
	май-сентябрь	21,8	21,6	22,2
	март-апрель	10,9	11,3	10,3
	1 декада мая	16,3	17,2	15,0
	июнь-август	23,5	23,4	23,7
	июль-август	24,3	24,1	24,6
	сентябрь	21,2	19,8	23,2
Суммарное количество осадков, мм	год	1522,9	1702,3	1298,7
	вегетации	759,1	935,7	538,4
	май-сентябрь	527,8	662,1	326,4
	март-апрель	231,5	244,6	212,0
	1 декада мая	31,2	33,7	27,3
	июнь-август	279,1	340,1	187,8
	июль-август	182,3	239,3	96,8
	сентябрь	164,2	239,8	50,8

Примечания: * – 2011, 2013, 2014, 2018 и 2019 годы, ** – 2012, 2015, 2017 и 2020 годы.

Так, 2011, 2013, 2014, 2018 и 2019 годы характеризовались относительно благоприятными для культуры чая метеорологическими условиями (таблица 1), в эти годы отмечен более теплый весенний период, способствующий раннему и активному началу вегетации растений чая, и хорошая водообеспеченность растений чая, сумма осадков в разные периоды в среднем в 1,5 раза, а в критический период водопотребления июль–август в 2,5 раза, выше суммы осадков за эти периоды в неблагоприятные годы.

Неблагоприятными по метеоусловиям для культуры чая в исследуемый период были 2012, 2015, 2017 и 2020 годы. В эти годы были отмечены зимние холода, отрицательные или низкие положительные температуры воздуха в марте и апреле, что сдвигало период вегетации чайных растений, а также жаркий летний период, с недостаточным и неравномерным выпадением осадков. За период 2011–2020 гг. установлено, что при сумме осадков за вегетационный период (март–сентябрь) меньше 650 мм, растения чая начинали испытывать стресс, обусловленный недостаточной водообеспеченностью.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

3.1 Кислотно-основные свойства почвы

Кислотно-основное состояние почв является определяющим показателем её чаепригодности и уровня плодородия применительно к ацидофильной культуре чая (Голетиани, 1965, 1976; Саришвили, 1974; Дараселия и др., 1989; Мчедлидзе, 1990; Козин и др., 1992; Беседина, 2004; Малюкова и др., 2007), поэтому при подборе системы удобрения важен контроль комплекса этих показателей.

Исследования показали, что через 7 лет применения удобрений (с 2003 по 2010 гг.) отмечалось подкисление почв в сравнении с её исходными значениями ($pH_{KCl} 3,75 \pm 0,14$ до закладки опыта), наиболее существенное (на 0,5 ед. pH) на контроле с применением только NPK (рисунок 5). Применение кальция, цинка, бора и магния на фоне NPK в целом снижало уровень подкисления на 0,20–0,35 ед. pH_{KCl} в верхних слоях почвы (0–40 см), в большей степени это проявлялось на варианте с магнием, где pH_{KCl} был соизмерим с исходными значениями (таблица 2, приложение Г, таблица 4.1). Гидролитическая ($H_{ГК}$) и обменная ($H_{обм}$) кислотности почв, как правило, коррелирующие с показателем pH_{KCl} , особенно в кислых почвах (Беседина, 2004; Козлова, Малюкова, 2007; Козлова, 2008; Малюкова, 2014), подтверждали выявленные закономерности. В данном исследовании также была установлена обратная связь pH_{KCl} с гидролитической и обменной кислотностью почв ($r = -0,84$ и $-0,76$, соответственно).

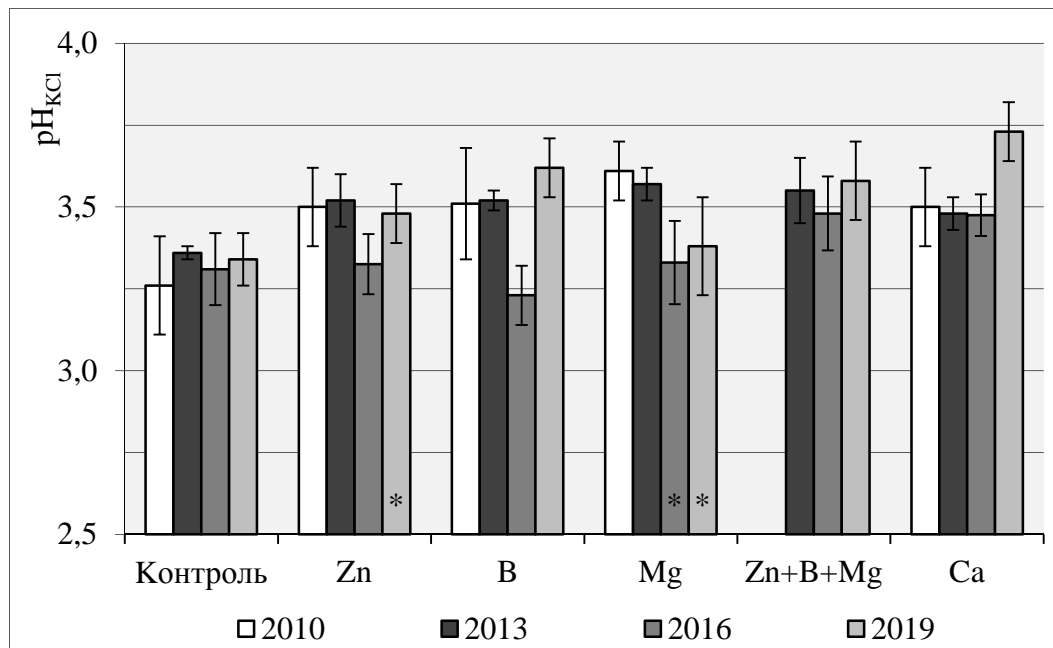


Рисунок 5 – Многолетняя динамика pH_{KCl} бурой лесной почвы в слое 0–20 см по вариантам опыта (октябрь–ноябрь), * – последствие магния или цинка,

Одним из значимых критериев оценки почв под чайными насаждениями является степень насыщенности основаниями (V), которая определяет урожайность чайных плантаций, так как между ними существует тесная обратная связь (Бушин и др., 1994; Беседина, 2004). Для чайного растения, в отличие от большинства других культур оптимальной является низкая степень насыщенности основаниями 10–19 % (Малюкова, Козлова, 2010). В 2010 году степень насыщенности почв основаниями, варьировала по вариантам опыта от 9,1 до 17,2 % в слое 0–20 см (таблица 2) и от 12,5 до 21,5 % в слое 20–40 см (приложение Г, таблица 4.1). Более высокой степенью насыщенности почв основаниями в 1,6–1,9 раза выше в сравнении со значениями на контрольном варианте, характеризовались почвы вариантов с внесением бора, кальцийсодержащего вещества и магния. При этом эти показатели соответствовали высокому уровню плодородия почв для чайных плантаций, согласно существующим грациям (Малюкова, Козлова, 2010).

Таблица 2 – Кислотно-основные свойства бурой лесной почвы в слое 0–20 см (октябрь–ноябрь), * – последствие магния

Вариант	$H_{гк}$	$H_{обм}$	Al^{3+}	V
	ммоль(экв)/100г			%
2010 год				
Контроль	31,7±3,5	12,5±1,2	12,2±1,3	9,1±2,1
Zn	27,8±1,5	11,3±1,0	11,1±1,0	11,9±2,4
B	26,9±2,0	9,8±1,6	9,6±1,5	14,6±5,4
Mg	23,8±1,2	8,8±0,7	8,7±0,7	17,2±3,5
Ca	27,2±1,0	9,8±0,9	9,6±0,9	15,3±2,9
2016 год				
Контроль	28,3±5,9	11,5±1,9	11,3±1,8	13,6±6,0
Zn	33,0±0,3	13,2±0,9	13,0±1,0	8,6±0,6
B	30,4±3,1	10,8±1,1	10,6±1,0	10,3±1,1
Mg*	32,8±1,9	12,6±0,4	12,4±0,3	12,8±3,4
Zn+B+Mg	24,4±3,2	9,6±1,6	9,4±1,6	22,0±7,3
Ca	29,9±1,9	9,9±1,3	9,8±1,3	19,7±6,2

В динамике вегетационного периода (с апреля по октябрь, на примере 2012 г., через 9 лет после начала опыта) показатель кислотности почв pH_{KCl} варьировал в достаточно широких пределах (рисунок ба), различия между весенним и осенним периодом доходили до 0,25–0,60 единиц (в зависимости от варианта опыта). Для гидролитической кислотности, которая коррелировала с pH_{KCl} ($r = -0,86$) также отмечен широкий диапазон значений – от 18,5 в мае до 34,4 ммоль(экв)/100г в октябре (рисунок бб). Исходные показатели pH_{KCl} почв и гидролитической кислотности в апреле, до внесения удобрений, демонстрировали менее кислую среду на вариантах с применением магния, кальция и смеси элементов (Zn+B+Mg) в сравнении с контролем. В мае (через месяц после внесения удобрений) подкисление почв было отмечено только на контроле. Для других вариантов было характерно незначительное снижение кислотности (магний, цинк), или сохранение прежних значений (кальций).

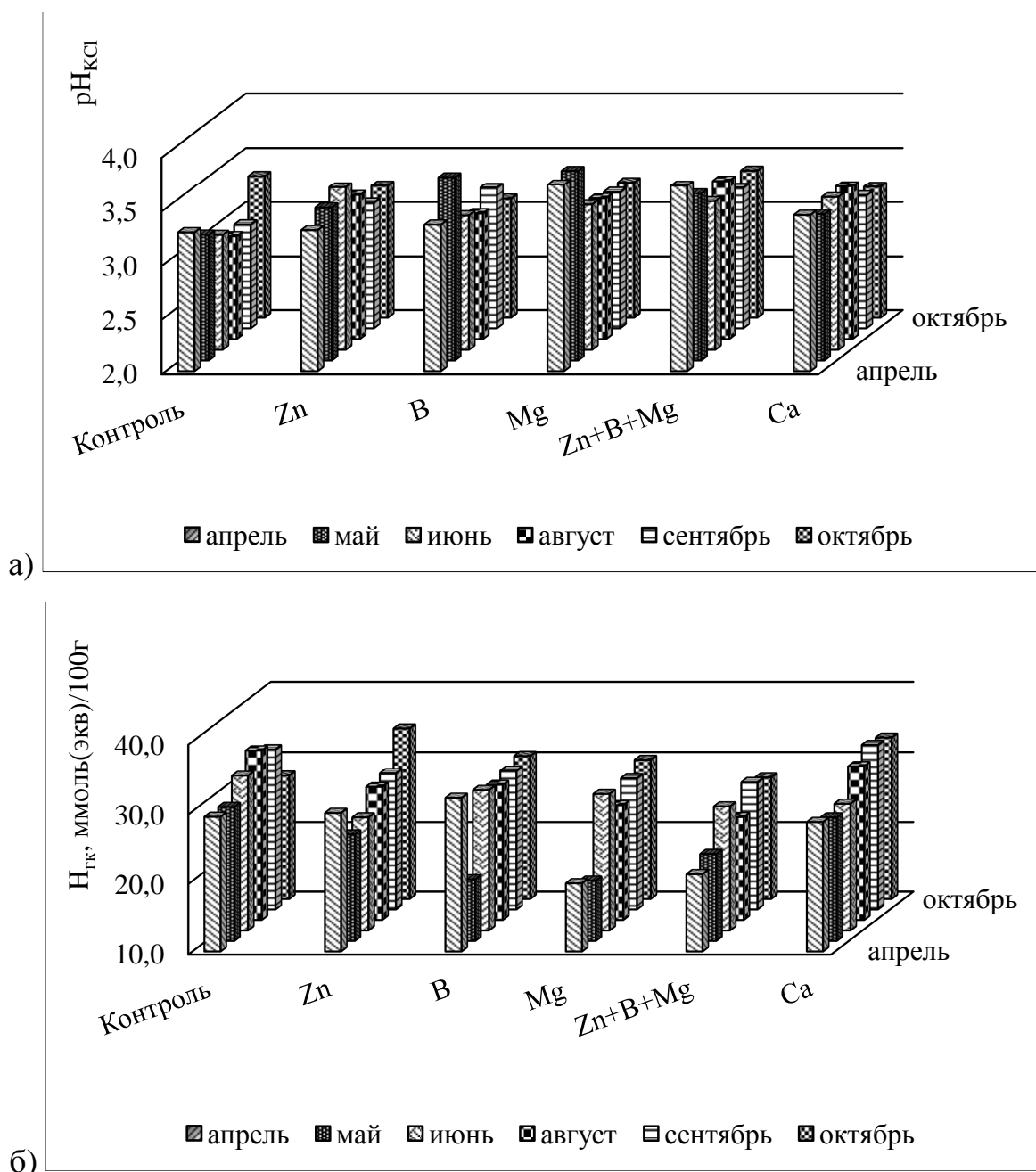


Рисунок 6 – Динамика pH_{KCl} (а) и гидролитической кислотности (б) в почвенном слое 0–20 см по вариантам опыта в течение вегетационного периода (2012 г.)

В июне (период активной вегетации и завершение первой волны роста) и августе (третья волна роста и цветение) для всех вариантов, за исключением цинка и кальция отмечено снижение pH_{KCl} , при соответствующем увеличении гидролитической кислотности, связанное, по-видимому, с активизацией процессов взаимодействия почва-растения-

удобрения (рисунок ба и бб). В сентябре (завершение листосборного периода) pH_{KCl} и гидролитическая кислотность почв, в целом, были соизмеримы с предыдущим периодом, при этом также более кислой реакцией почв характеризовался контроль.

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 (таблица 2). На варианте с магнием это связано с тем, что среди двухвалентных катионов он имеет наименьший радиус, наименьшую энергию поглощения и наибольшее число гидратации (Ярусов, 1937). Поэтому если в начале опыта сульфат магния оказал более сильное нейтрализующее действие, то со временем, как более гидратированный катион, чем кальций, он слабее удерживался почвой и частично вымывался, что повлекло за собой подкисление почвы.

В 2019 году (16 лет применения кальция, бора и смеси элементов, 4 года последствия магния и 3 года последствия цинка) выявленные закономерности влияния биогенных элементов (за исключением магния) на кислотность почв сохранялись (таблица 3). В верхнем почвенном слое 0–20 см варианты с применением кальция, бора, смеси элементов (Zn+B+Mg) и цинка характеризовались менее кислой реакцией среды почвенного раствора и более высокой степенью насыщенности почв основаниями (таблица 3).

С глубиной почвенного профиля (20–40 и 40–60 см) различия по всем показателям нивелировались, поскольку действие удобрений в основном распространялось только на их зону внесения, а именно поверхностный слой. В слое 20–40 см большими значениями обменной кислотности, а также

меньшей степенью насыщенности почв основаниями выделялся только контрольный вариант (таблица 3).

Таблица 3 – Кислотно-основные свойства бурой лесной почвы в слое 0–60 см (ноябрь, 2019 г.), * – последствие магния или цинка

Вариант	pH _{KCl}	H _{ГК}	H _{Обм}	Al ³⁺	V
		ммоль(экв)/100г			%
0–20 см					
Контроль	3,34	30,4	12,8	12,6	5,1
Zn*	3,48	27,1	10,7	10,5	12,8
B	3,62	26,2	10,9	10,7	13,8
Mg*	3,38	28,8	10,9	10,8	9,4
Zn+B+Mg	3,58	25,8	9,6	9,5	17,8
Ca	3,73	20,4	6,7	6,5	25,9
20–40 см					
Контроль	3,66	22,7	10,5	10,4	11,0
Zn*	3,71	21,3	7,2	7,1	25,1
B	3,73	23,5	9,5	9,4	20,5
Mg*	3,53	21,6	7,8	7,6	24,7
Zn+B+Mg	3,48	21,9	8,7	8,6	22,1
Ca	3,66	21,6	7,4	7,3	24,4
40–60 см					
Контроль	3,77	18,8	8,4	8,3	20,1
Zn*	3,76	15,8	5,5	5,4	36,9
B	3,76	23,6	11,0	10,9	24,9
Mg*	3,56	19,3	6,5	6,4	31,4
Zn+B+Mg	3,66	18,4	7,6	7,5	33,2
Ca	3,61	24,3	11,7	11,5	21,4

Таким образом, установлено, что по истечению 16-летнего применения НРК (контроль) происходит существенное подкисление почв в сравнении с исходными значениями (в среднем на 0,5 единиц pH_{KCl}), темпы которой значительно ниже на фоне применения кальцийсодержащего природного материала и смеси элементов (Zn+B+Mg), а также на вариантах с применением бора и цинка.

3.2 Содержание гумуса, макро- и микроэлементов в почве

Бурые лесные кислые почвы являются основным типом, на котором в Краснодарском крае возделывается чай. В связи с исходно невысоким содержанием в них доступных форм азота, фосфора, и в меньшей степени калия, технология их возделывания предусматривает систематическое внесение минеральных удобрений в высоких дозах: N – 200–400, P₂O₅ – 150–180, K₂O – 100–120 кг/га (Дараселия и др., 1989; Малюкова и др., 2007а, 2007б). Ежегодное их применение приводит к накоплению в почвах подвижных фосфатов до критических значений 1000–2150 мг/кг (Малюкова, Козлова, 2010; Козлова, Керимзаде, 2018б), обменного калия в диапазоне 120–1000 мг/кг (Малюкова, Козлова, 2010; Козлова и др., 2018), в меньшем количестве азота 30–180 мг/кг (Малюкова, Козлова, 2010; Козлова, Керимзаде, 2018а). Для данного подтипа почв характерной является не высокая гумусированность верхних почвенных горизонтов (в среднем 3–5 %), для почв высокоурожайных плантаций содержание гумуса повышается до 6–7 % (Малюкова, Козлова, 2010).

Гумус. Мониторинг состояния почв в рамках данного полевого опыта (2010–2019 гг.) показал, что содержание гумуса изменялось по вариантам опыта от 3,0 до 5,9 % (рисунок 7). В 2010 году (через 7 лет после ведения опыта) содержание гумуса увеличивалось на вариантах с внесением кальция, цинка, бора и на контроле (3,4–3,7 %) в сравнении с исходным состоянием (3,06±0,16 %). После весенней подрезки чайных шпалер на двухлетнюю древесину (март 2016 г.) в почву поступил дополнительный объем органического материала. Осенью в 2016 году уже был отмечен существенный прирост содержания гумуса (в сравнении с 2010 г.) на всех вариантах опыта. Также был установлен прирост содержания гумуса вариантах с применением магния, цинка и бора (на 0,30, 0,73 и 0,75 % по отношению к контролю, соответственно). В 2019 году прирост отмечен также на вариантах кальций и смесь Zn+B+Mg (на 0,23 и 1,08 %,

соответственно), что в целом демонстрировало более эффективный процесс воспроизводства почвенного плодородия (рисунок 7).

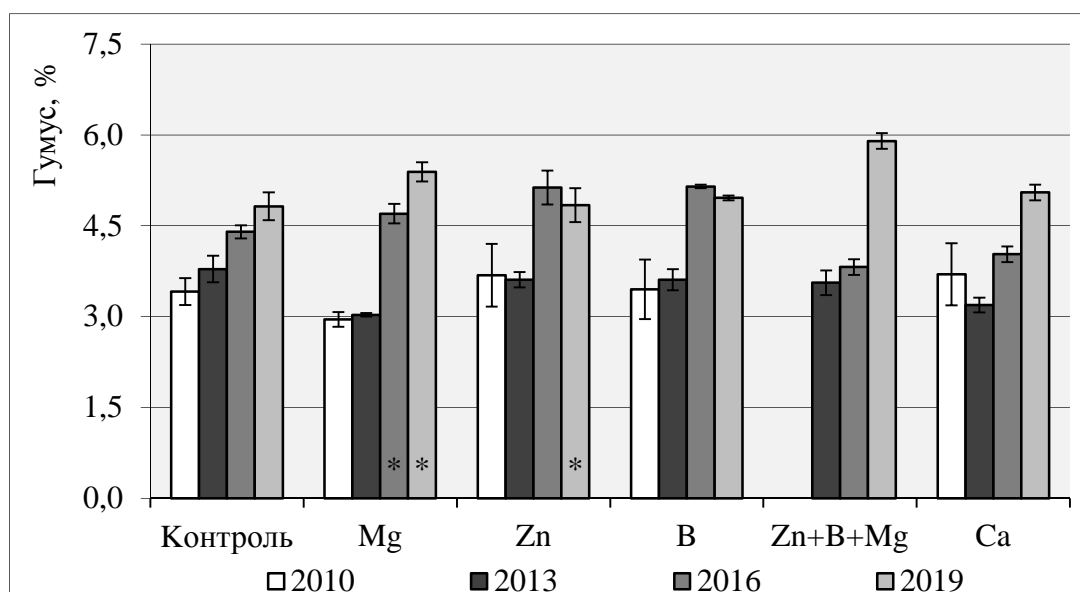


Рисунок 7 – Многолетняя динамика содержания гумуса (%) в почвенном слое 0–20 см по вариантам опыта, * – последствие магния или цинка

Одним из факторов накопления гумуса является поступление в почву большого количества растительных остатков (после подрезки чайных шпалер), особенно на высокоурожайных вариантах, на что указывали и другие исследователи (Бушин и др., 1985; Владыченский и др., 2007; Козлова, 2008). С другой стороны, изменение физико-химических свойств почв на варианте с применением кальция тормозит процессы декарбонирования почвенного профиля, повышая долю более устойчивых гуминовых кислот, связанных с Ca^{2+} (Орлов, 1985, 1990; Орлов и др., 1996).

Таким образом, установлено, что применение изучаемых элементов способствовало усилению процессов гумусообразования и более существенному приросту гумуса, обеспечивая, таким образом, эффективный процесс воспроизводства почвенного плодородия.

Макроэлементы. Азот играет первостепенную роль в системе минерального питания чая. Изучение содержания различных форм азота в почве в многолетней и сезонной динамиках позволило выявить ряд

тенденций и закономерностей поведения этого элемента в почвах. Установлено, что в 2010 году (через 7 лет после закладки опыта) содержание легкогидролизующего азота ($N_{лг}$) в слое почвы 0–20 см по вариантам опыта в осенний период находилось в диапазоне 118–193 мг/кг (рисунок 8а), что соответствует грациям высокой обеспеченности (Малюкова, Козлова, 2010). На глубине 20–40 см содержание азота в почвах составляло 118–154 мг/кг, что также относится к высокой обеспеченности (приложение Г, таблица 4.1). Более высоким содержанием легкогидролизующего азота характеризовался контрольный вариант и вариант с применением цинка. В 2013 году отмечено снижение уровня легкогидролизующего азота в верхнем слое, обусловленное, по-видимому, активизацией процессов минерализации и выносом элемента с урожаем. Через 13 лет ведения опыта (2016 г.) обеспеченность почв азотом в осенний период увеличилась в сравнении с 2013 г (за счет поступления в почву дополнительных объемов органического вещества в ходе омолаживающей подрезки) и существенно не менялась по вариантам опыта (рисунок 8а). В многолетней динамике отчетливого влияния изученных элементов на содержание в почве легкогидролизующего азота не выявлено.

В динамике вегетационного периода (апрель–октябрь 2012 года) отмечено минимальное содержание легкогидролизующего азота в апреле (до ежегодного внесения удобрений). После внесения удобрения с мая к июню–августу происходил закономерный рост его содержания на всех вариантах опыта (рисунок 8б). При этом почвы на вариантах с применением магния, цинка и кальция в течение летнего периода (июнь–август) характеризовались более высоким уровнем легкогидролизующего азота. Далее в сентябре и октябре на некоторых вариантах (контроль, бор, кальций) наблюдалось снижение содержания легкогидролизующего азота (рисунок 8б). Однако, выявленные закономерности могут быть связаны с вариабельностью почв, что требует дальнейшего изучения.

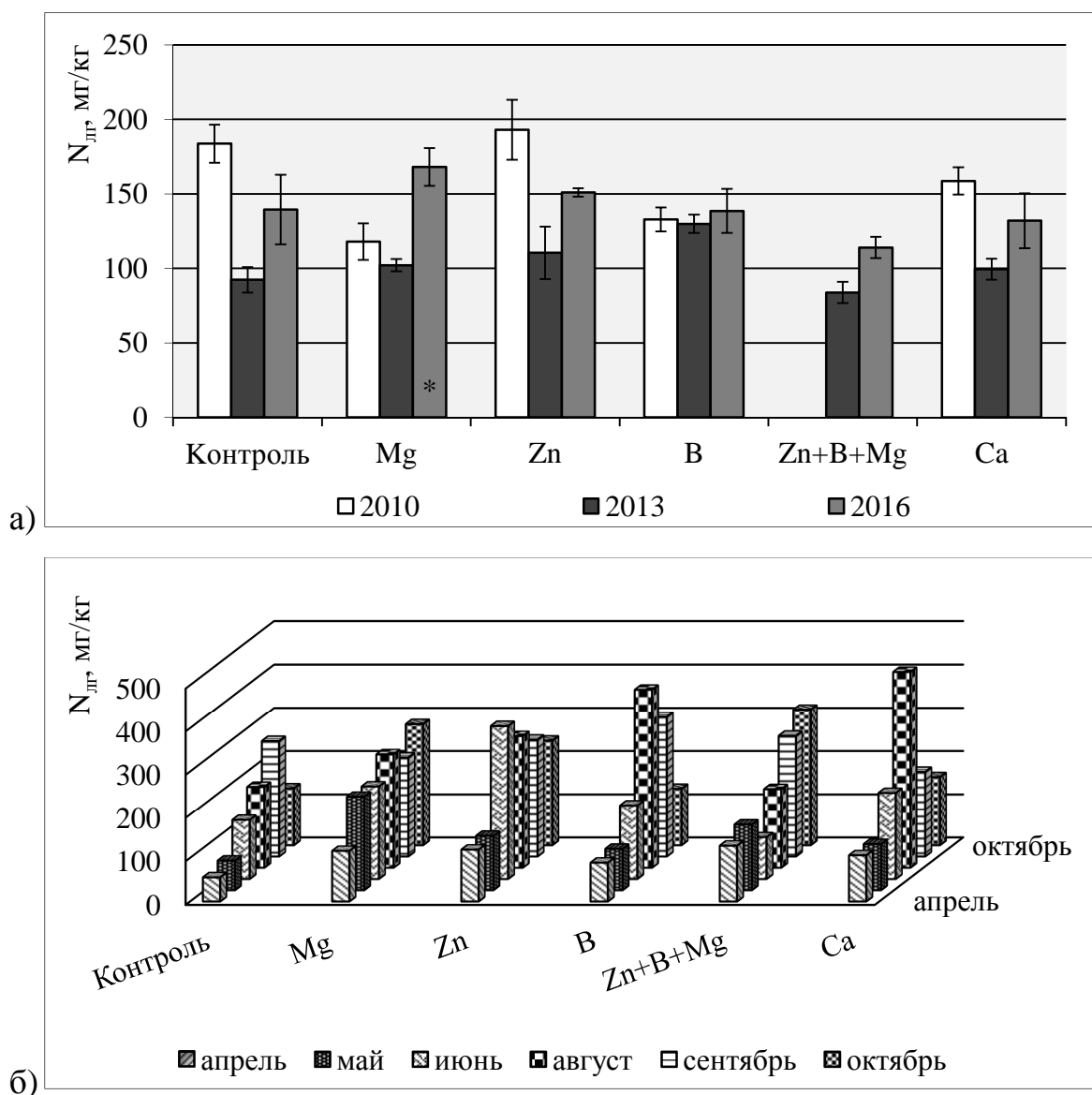


Рисунок 8 – Динамика легкогидролизуемого азота в почвенном слое 0–20 см по вариантам опыта: а) многолетняя; б) вегетационного периода (2012 г.), * – последствие магния

Содержание и особенности распределения нитратного и аммиачного азота по вариантам опыта, представлены на рисунках 9–11. По результатам проведенных исследований установлено, что в осенний период содержание нитратного азота на вариантах опыта находилось в диапазоне от 7,8 до 32 мг/кг (рисунок 9).

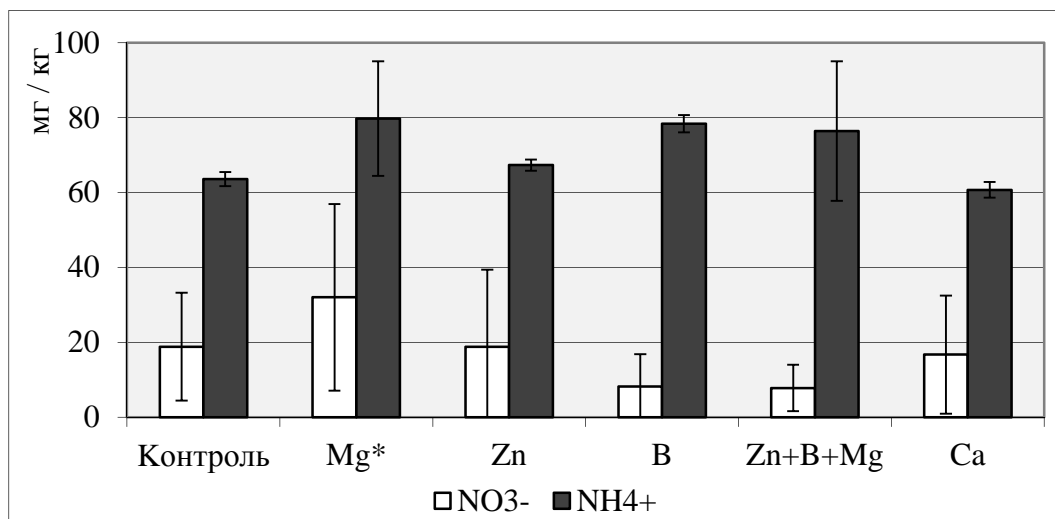


Рисунок 9 – Содержание нитратного и аммиачного азота в почвенном слое 0–20 см по вариантам опыта (октябрь, 2016 г.), * – последствие магния

Также исследования показали, что аммиачный азот на всех вариантах преобладает (61–80 мг/кг) над нитратным в 3–10 раз, что характерно для бурых лесных почв (Беседина, 2004; Козлова, 2008). На вариантах магний (последствие, через год после 12 летнего внесения в почву сульфата магния) и бор отмечена тенденция увеличения содержания аммиачного азота в сравнении с контролем.

В весенний период, до внесения основного удобрения, содержание нитратов было в среднем в 10 раз меньше, чем в осенний период (рисунок 10а), почти на порядок ниже, что обусловлено, по-видимому, процессами денитрификации, которые более активны в этот период (Кудеяров, 1989). Различия между вариантами были несущественные.

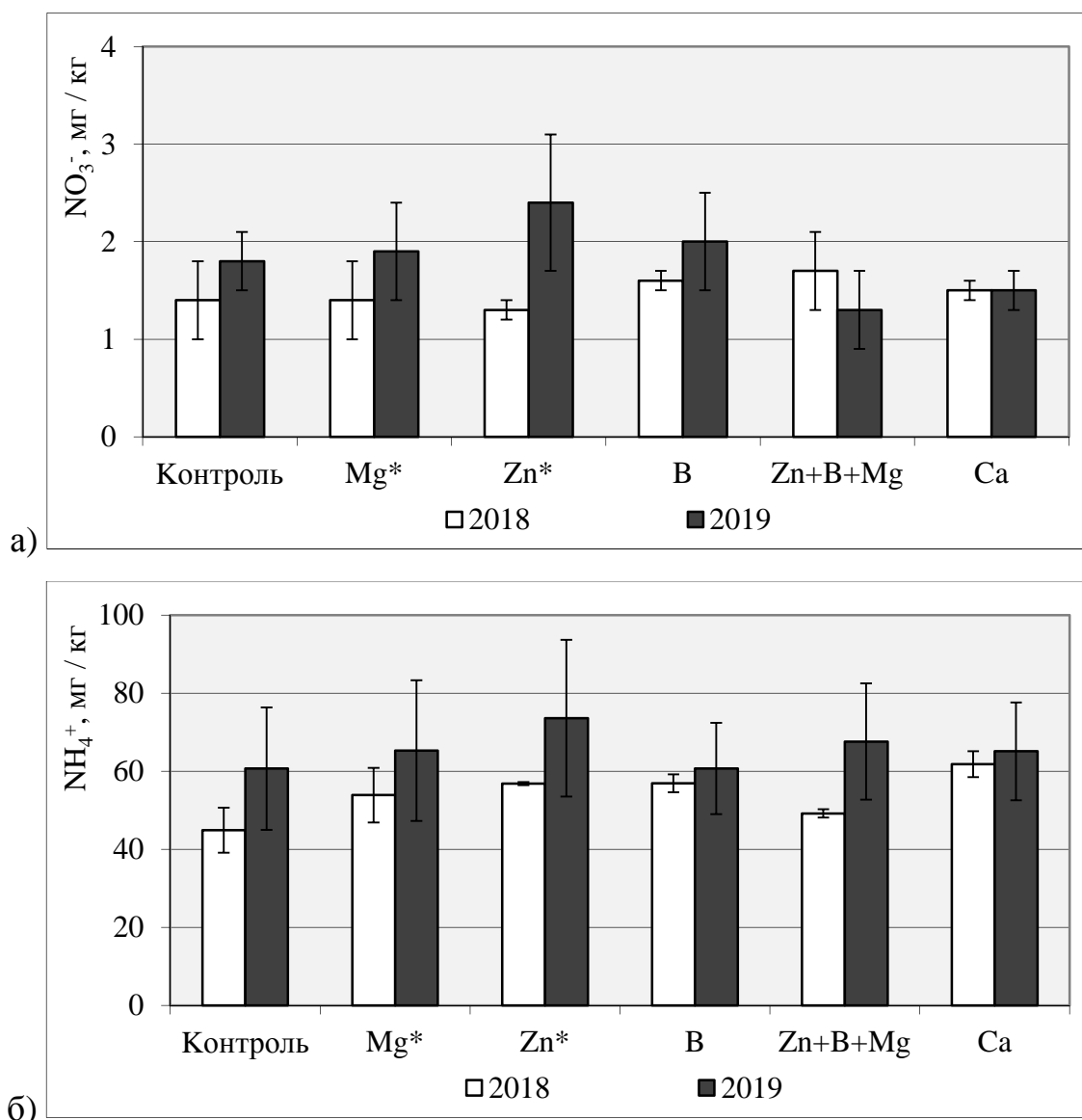


Рисунок 10 – Содержание нитратного (а) и аммиачного азота (б) в почвенном слое 0–20 см по вариантам опыта в весенний период (апрель), * – последствие магния или цинка

При этом содержание аммиачного азота выше практически на всех вариантах опыта в сравнении с контролем (рисунок 10б). В 2018 году содержание нитратного и аммиачного азота почти на всех вариантах опыта ниже, чем в тот же срок 2019 года (рисунок 10а и 10б). Возможно ранняя вегетация чайных растений в 2018 году, начавшаяся на 2–3 недели раньше обычных сроков отразилась на запасах питательных элементов в почве. В тоже время аммиачный азот на всех вариантах преобладает над нитратным, что уже было отмечено и для осеннего периода.

В 2019 году (16 лет применения кальция, бора и смеси элементов; 4 года последействия магния и 3 года последействия цинка) сумма минерального нитратного и аммиачного азота по вариантам опыта до глубины 60 см варьировала от 104 до 203 мг/кг почвы (рисунок 11). Для всех вариантов отмечено увеличение содержания аммиачного азота в сравнении с контролем.

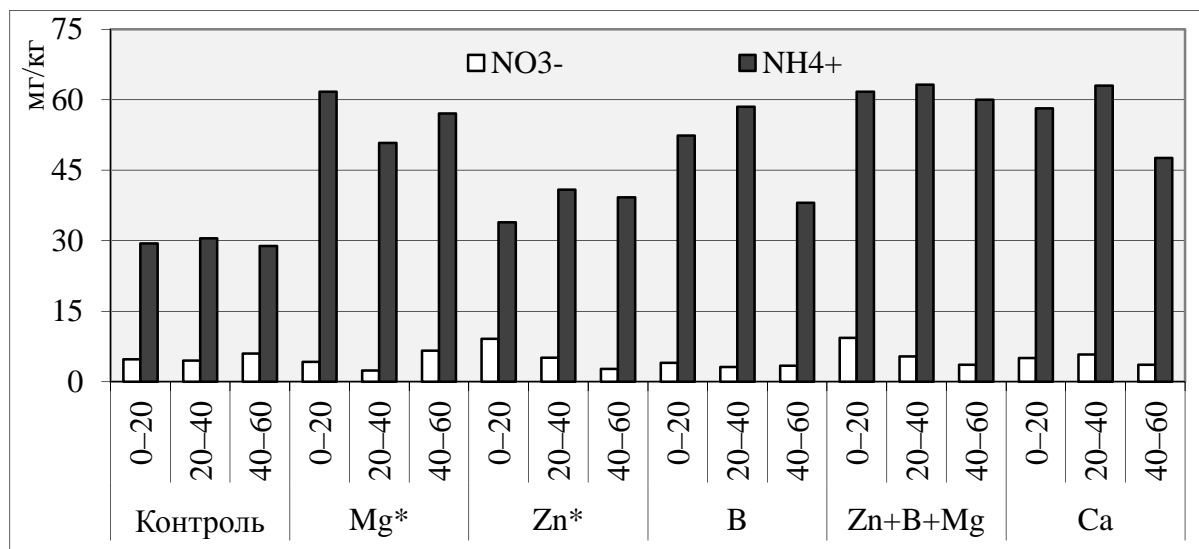


Рисунок 11 – Содержание нитратного и аммиачного азота в бурой лесной почве в слое 0–60см по вариантам опыта в осенний период (ноябрь, 2019 г.),

* – последействие магния или цинка

Выявленное преобладание аммиачного азота над нитратным сохранялось и прослеживалось для глубин 20–40 см и 40–60 см (рисунок 11). В целом, следует отметить, что на вариабельность содержания минерального азота в почвах различных вариантов опыта (на фоне единых доз азотных удобрений) возможно, повлияла скорость минерализации органических остатков, которая зависела от биологической активности почв.

Таким образом, содержание легкогидролизуемого азота в почвах опытных вариантов варьировало в многолетней и сезонной динамиках, но не выходило за пределы средней и высокой обеспеченности. Преобладающей минеральной формой азота являлась аммиачная, которая превышала

нитратную форму в 3–10 раз в осенний период, и в 30–40 раз в ранневесенний. На вариантах магний (последствие, через год после 12 летнего внесения в почву сульфата магния) и бор отмечена тенденция увеличения содержания аммиачного азота в сравнении с контролем.

Фосфор. Содержание подвижного фосфора в почве по вариантам опыта в многолетней динамике варьировало от 243 до 700 мг/кг почвы (рисунок 12а). Согласно существующим градам для чая, высокий уровень обеспеченности почв фосфором наблюдается при наличии его 410–500 мг/кг для верхнего слоя (Малюкова, Козлова, 2010). В результате исследований отмечено, что в 2010 году на вариантах с внесением магния, цинка, бора и кальция, уровень обеспеченности почв подвижным фосфором был ниже (рисунок 12а), и оценивался как средний, что во многом объясняется образованием с этими элементами менее растворимых соединений или процессами конкурентного замещения. На перераспределение и фиксацию (хемосорбцию) фосфатов могут оказывать влияние почвенные процессы, обусловленные применением других видов удобрений (Гинзбург, 1981; Кудеярова, 1995). Так, отмечалось существенное (в 1,3 раза) снижение в почвах подвижного фосфора при внесении кальция, (рисунок 12а), которые в связи с их высоким химическим сродством к иону Ca^+ , образуют слаборастворимые соединения (Кудеярова, 1995). При этом в энергетическом отношении фосфор этих кальцийсодержащих компонентов жидких фаз почв (в отличие от алюмо- и железофосфатов) является более доступной формой для растений, что обусловлено высоким сродством лигандов корневых выделений к кальцию (Кудеярова, 1995).

В течение вегетационного периода на некоторых вариантах (В, Zn) установлено снижение подвижных фосфатов уже в мае, непосредственно через месяц после внесения удобрений (рисунок 12б). При этом было отмечено значительное варьирование этого показателя по вариантам опыта, связанное, по-видимому, с формированием микроочагов при внесении и

последующим перераспределением удобрений между почвенными частицами.

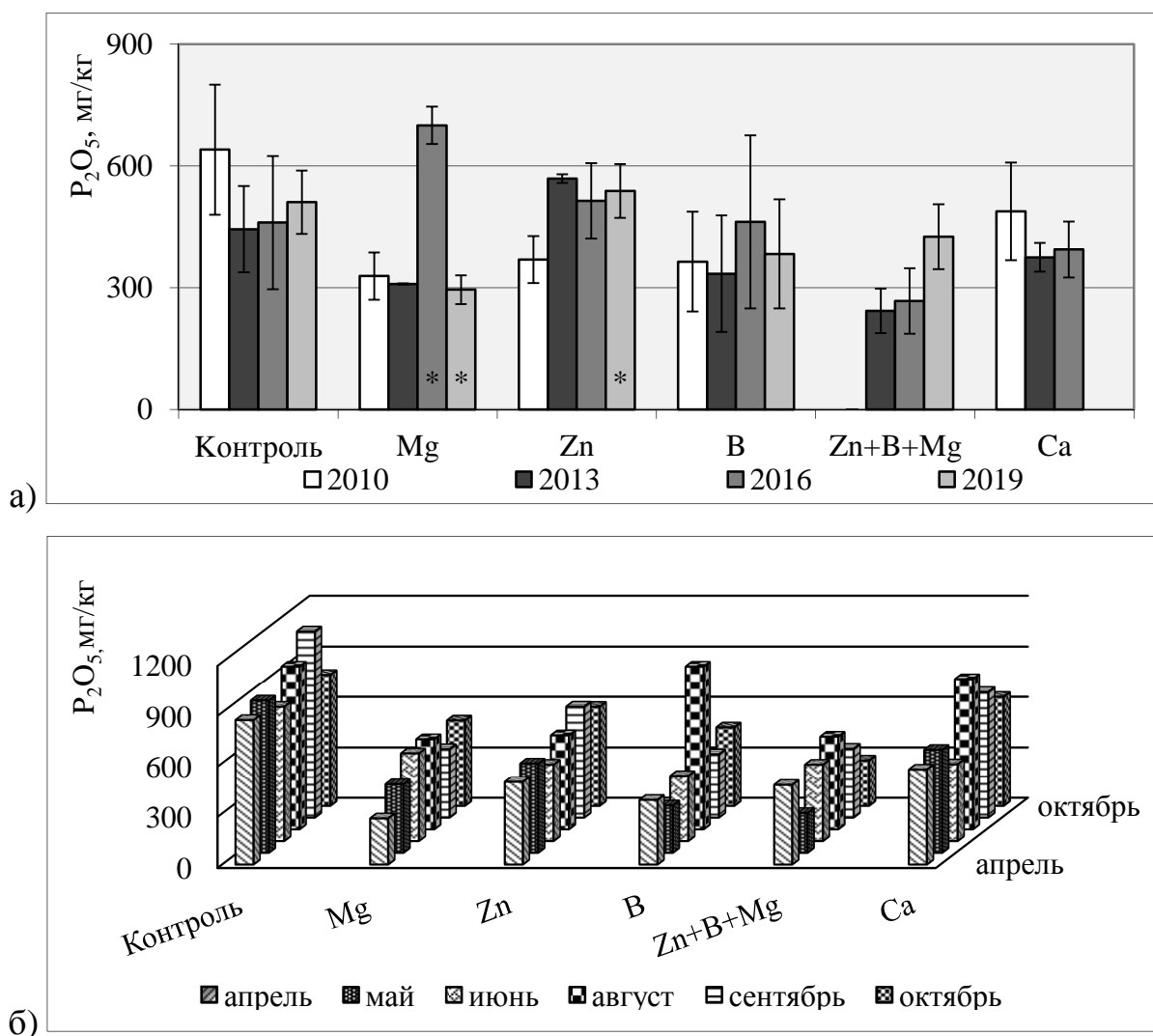


Рисунок 12 – Динамика подвижных фосфатов в почвенном слое 0–20 см по вариантам опыта: а) многолетняя; б) вегетационного периода (2012 г.), * – последствие магния или цинка

В 2016 году, через год после прекращения внесения сернокислого магния отмечено резкое повышение содержания подвижного фосфора в почве, которое стабилизировалась на прежнем уровне в 2019 году (рисунок 12а). Также в этот период сохранялась тенденция снижения подвижных фосфатов на вариантах с применением бора, смеси элементов и кальция.

В 2019 году содержание подвижных фосфатов в целом, учитывая высокую вариабельность, было соизмеримо с предыдущими периодами. С глубиной на всех вариантах опыта отмечалось уменьшение подвижных фосфатов: 20–40 см до 237–358 мг/кг; 40–60 см до 192–247 мг/кг.

Таким образом, в результате исследований установлено снижение содержания подвижных фосфатов в почвах на вариантах с внесением кальция, бора, магния и смеси элементов Zn+B+Mg.

Калий. Содержание подвижного калия в почве по вариантам опыта варьировало от 204 до 507 мг/кг почвы (рисунок 13а), что оценивается как среднее и высокое (Беседина, 2004; Малюкова, Козлова, 2010). При внесении цинка количество подвижного калия в почве увеличивалось, а в период последствий 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. Содержание обменного калия в почве по вариантам опыта сильно варьировало в течение вегетационного периода (253–510 мг/кг), накапливаясь к осени, а в период начала активной вегетации (апрель–май), отмечено снижение его содержания в почве на вариантах с внесением бора и смеси элементов на 10–35 % (рисунок 13б). В многолетней динамике (с 2010 по 2019 гг.) отмечено снижение содержания подвижного калия на всех высокоурожайных вариантах, включая контроль (рисунок 13а). При этом на низкоурожайном варианте с магнием это снижение не отмечено.

С глубиной почвенного профиля (20–40 и 40–60 см) содержание калия снижалось до уровня 190–294 мг/кг и 180–270 мг/кг, соответственно. При этом различия по содержанию калия нивелировались, поскольку действие удобрений в основном распространялось только на их зону внесения, а именно на поверхностный слой.

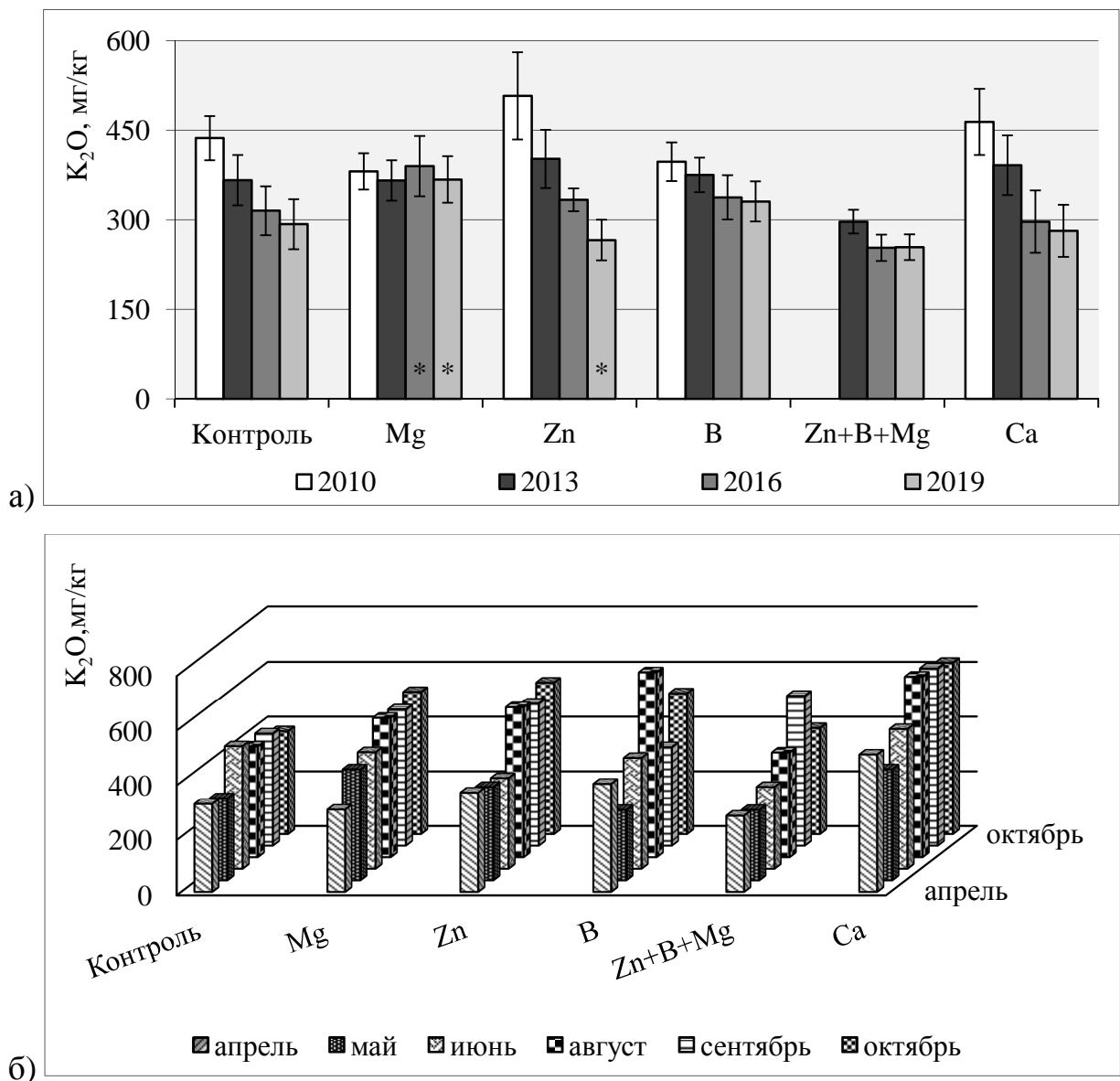


Рисунок 13 – Динамика подвижного (обменного) калия в почвенном слое 0–20 см по вариантам опыта: а) многолетняя; б) вегетационного периода (2012 г.), * – последствие магния или цинка

Таким образом, отмечено снижение содержания подвижного калия на всех высокоурожайных вариантах, включая контроль.

Кальций и магний. Внесение кальцийсодержащего природного материала и сернокислого магния (в течение 7 лет) увеличивало содержание обменных форм этих элементов в почве в сравнении с контролем (таблица 4, рисунок 14а). Так, в 2010 году содержание суммы подвижных катионов кальция и магния на контроле снизилось в 2,7 раза до 3,1 ммоль(экв)/100 г в

сравнении с исходным 8,4 ммоль(экв)/100 г. В тоже время на вариантах с кальцием и магнием их содержание в почве составило 4,1 и 5,0 ммоль(экв)/100 г почвы, соответственно, что на 32 % и 61 % выше их суммы на контрольном варианте (таблица 4). Дальнейшее (с 2013–2014 гг.) внесение магниевого удобрения оказывало угнетающие действие на растения чая, что привело к заметному снижению урожайности на этом варианте.

Таблица 4 – Содержание катионов кальция и магния в бурой лесной почве в слое 0–20 см (октябрь–ноябрь), * – последствие магния

Вариант	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	ммоль(экв)/100 г		
2010 год			
Контроль	3,1±0,7	1,8±0,5	1,3±0,6
Zn	3,7±0,7	1,4±0,7	2,3±1,1
B	4,5±1,4	2,2±0,7	2,3±1,4
Mg	5,0±1,3	2,5±1,0	2,5±1,3
Ca	4,1±0,9	2,8±1,0	1,3±0,6
2016 год			
Контроль	4,3±1,3	2,6±0,7	1,7±0,7
Zn	3,1±0,2	1,9±0,5	1,2±0,2
B	3,5±0,1	2,3±0,5	1,2±0,5
Mg*	4,9±1,7	2,2±0,8	2,7±1,0
Zn+B+Mg	6,9±2,0	4,2±1,1	2,7±0,9
Ca	6,6±2,1	3,1±0,5	3,5±1,6

Через 13 лет (таблица 4, рисунок 14а) внесения кальцийсодержащего удобрения, сумма обменных катионов в почве на варианте выросла в 1,6 раз, в сравнение с контролем и приблизилась к исходным (до закладки опыта) (таблица 4). Рост суммы обменных кальция и магния отмечен для варианта смесь (Zn+B+Mg), одним из компонентов которой является сернокислый магний. Для варианта магний, через год после прекращения внесения, отмечено сохранение уровня подвижного кальция и магния, а в 2019 – их снижение на 40 % (рисунок 14а).

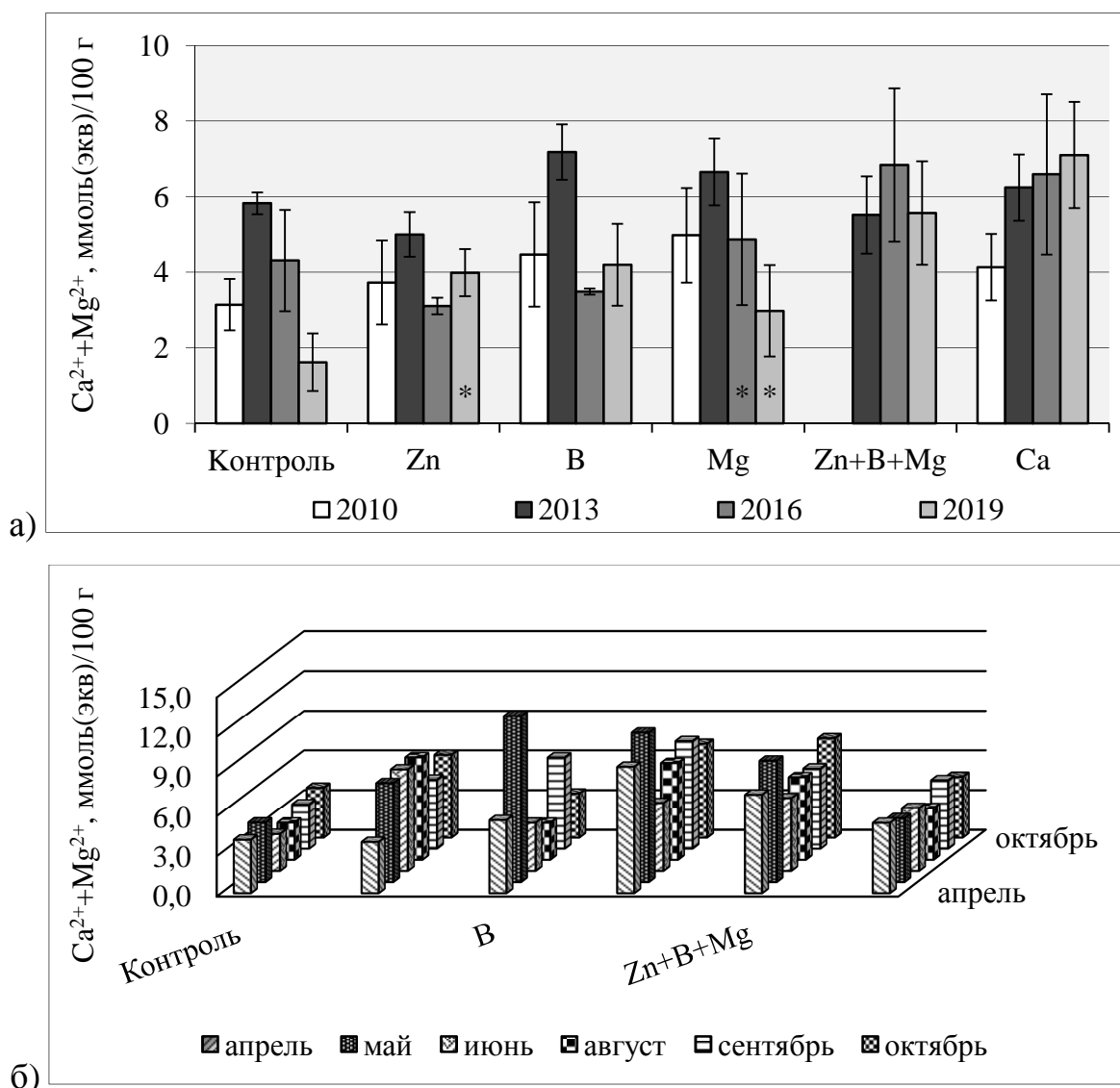


Рисунок 14 – Динамика суммы обменных катионов ($\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$) в почвенном слое 0–20 см по вариантам опыта: а) многолетняя; б) вегетационного периода (2012 г.), * – последствие магния или цинка

В динамике вегетационного периода также прослеживалось закономерно более высокое содержание суммы кальция и магния на вариантах с внесением кальцийсодержащего природного материала, смеси элементов (Zn+B+Mg) и сульфата магния (рисунок 14б). На варианте с бором отмечено снижение содержания обменных кальция и магния в отдельные периоды (июль, август, октябрь), что может быть связано с закреплением этих элементов при взаимодействии с борной кислотой. На варианте с цинком содержание обменных кальция и магния было выше контроля для

всех периодов, что связано, по-видимому, с процессами взаимодействия цинка и магния в почвенно-поглощающем комплексе.

В 2019 году (16 лет применения кальция, бора и смеси элементов и 4 года последействия магния и 3 года последействия цинка) был проведен анализ распределения обменных катионов до глубины 60 см на каждом варианте опыта (таблица 5).

Таблица 5 – Содержание катионов кальция и магния в бурой лесной почве в слое 0–60 см (ноябрь, 2019 г.), * – последействие магния или цинка

Вариант	pH _{KCl}	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
		ммоль(экв)/100 г		
0–20				
Контроль	3,34	1,6	1,1	0,5
Zn*	3,48	4,0	2,9	1,1
B	3,62	4,2	2,8	1,4
Mg*	3,38	3,0	2,00	1,0
Zn+B+Mg	3,58	5,5	3,5	2,0
Ca	3,73	7,2	5,2	2,0
20–40				
Контроль	3,66	2,8	2,2	0,6
Zn*	3,71	7,2	4,4	2,8
B	3,73	6,0	4,3	1,7
Mg*	3,53	7,1	4,2	2,9
Zn+B+Mg	3,48	6,2	4,0	2,2
Ca	3,66	7,0	4,6	2,4
40–60				
Контроль	3,77	4,7	3,0	1,7
Zn*	3,76	9,3	5,2	4,1
B	3,76	7,8	5,5	2,3
Mg*	3,56	8,8	5,1	3,7
Zn+B+Mg	3,66	9,1	4,9	4,2
Ca	3,61	6,6	3,9	2,7

Минимальными значениями этих показателей по всей глубине 0–60 см характеризовался контрольный вариант (таблица 5). Для вариантов с применением бора, цинка и смеси с глубиной почвенного профиля по мере

снижения уровня кислотности, отмечается закономерный рост содержания катионов кальция и магния, а также их суммы (таблица 5). Вариант с применением кальция характеризовался более высоким содержанием обменного кальция, которое незначительно снижалось вниз по профилю, по-видимому, действие этого вида удобрения в основном распространялось только на зону внесения, а именно на поверхностный слой.

Таким образом, применение кальцийсодержащего природного материала (в течение 16 лет) и сернокислого магния (в течение 7 лет) восстанавливало запас обменных кальция и магния в почве вызванное длительным применением минеральных удобрений (NPK). Для варианта магний, через год после прекращения внесения, отмечено сохранение уровня подвижного кальция и магния, а в 2019 – их снижение на 40 %. Применение смеси элементов (Zn+B+Mg) также увеличивало обеспеченность почвы обменными магнием и кальцием.

Цинк. Количество валового цинка, согласно литературным данным (Малюкова, 1997), в бурых лесных кислых почвах естественных биоценозов в среднем колеблется от 65 до 109 мг/кг, на чайных плантациях он находится в пределах 66–91 мг/кг. Количество его подвижных форм для леса и для плантации чая составляет 2,2–8,8 и 3,2–6,2 мг/кг, соответственно (Малюкова, 1997) и оценивается как низкая и средняя обеспеченность, что и определило актуальность изучения его корневого применения. Однако, учитывая химию этого элемента, при применении цинксодержащих удобрений необходимо проводить мониторинг его содержания в почвах и растениях.

Исследования показали, что содержание подвижного цинка на опытном участке в почвенном слое 0–20 см варьировало по вариантам опыта в пределах 1,83–15,19 мг/кг (таблица 6).

Таблица 6 – Динамика содержания подвижного цинка (мг/кг) и рН_{KCl} в бурой лесной почве в слое 0–20 см за вегетационный период, 2012 г.

Вариант	Период определения, месяц			
	апрель	май–июль	август–октябрь	апрель–октябрь
Содержание подвижного цинка, мг/кг				
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
рН _{KCl}				
Контроль	3,28±0,03	3,11±0,07	3,07±0,21	3,12±0,16
Zn	3,30±0,02	3,46±0,06	3,24±0,09	3,32±0,12
Zn+B+Mg	3,71±0,05	3,46±0,12	3,37±0,08	3,46±0,15

За 10 лет внесения цинксодержащих удобрений его содержание в почве увеличилось в среднем в 2–4 раза и, по ориентировочным градациям обеспеченности (Малюкова, 1997), почва перешла из низкообеспеченной в разряд высокообеспеченной, но при этом его количество не превысило уровень ПДК (23 мг/кг). В динамике вегетационного периода прослеживалось, что на варианте с внесением цинка в апреле, до внесения основного удобрения, его количество было наибольшее (таблица 6).

В первые 2 месяца после внесения сульфата цинка (май–июнь) отмечено существенное снижение подвижных форм цинка, обусловленное, по-видимому, как изменением кислотности почв (в сторону менее кислых значений), так и осаждением его свежевнесенными фосфатами (рисунок 15). К середине лета его содержание в верхнем слое 0–20 см увеличивалось до уровня весеннего периода. Согласно многочисленным опытам, содержание подвижного цинка в почве увеличивается с ростом почвенной кислотности (Виноградов, 1957; Малюкова, Малинина, 2001; Малюкова, 2010; 2011), что подтверждалось и нашими исследованиями.

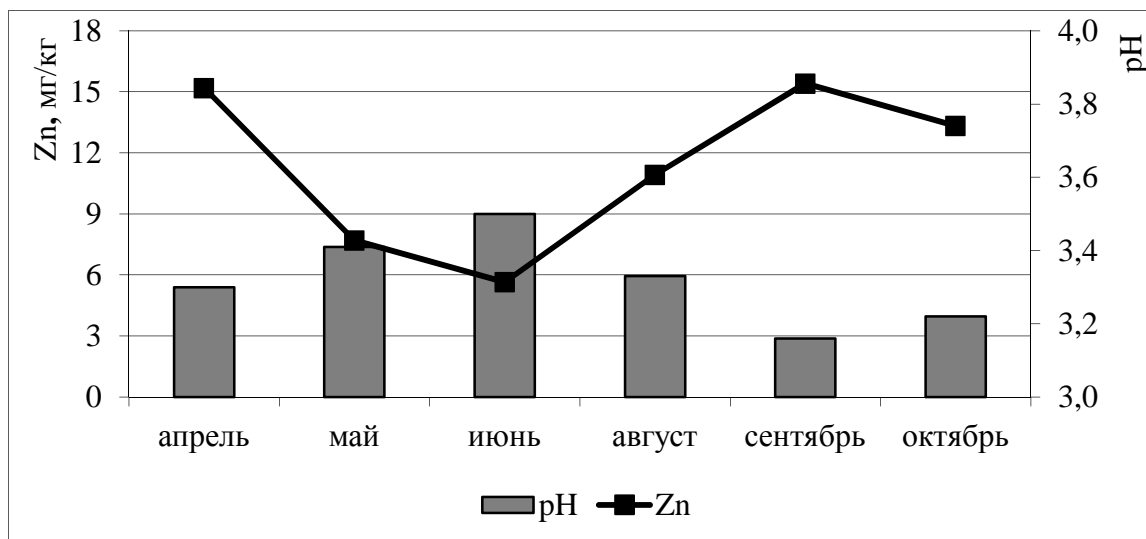


Рисунок 15 –Динамика содержания подвижного цинка и pH_{KCl} в бурой лесной почве в слое 0–20 см за вегетационный период 2012 г.

В 2019 году (3 года последействия цинка) был проведен анализ особенностей содержания подвижного цинка до глубины 60 см на каждом варианте опыта (таблица 7). Отмечена тенденция увеличения содержания его подвижных форм с глубиной, наиболее выраженная на вариантах с применением сульфата цинка, а также его снижение в верхнем слое 0–20 см в условиях последействия (таблица 7).

Таблица 7 – Содержание подвижного цинка в бурой лесной почве в слое 0–60 см (ноябрь, 2019 г.), * – последействие магния или цинка

Вариант	pH_{KCl}	0–20	20–40	40–60
		мг/кг		
Контроль	3,34	1,91 ± 0,02	3,31 ± 0,05	3,67 ± 0,05
Mg*	3,48	2,64 ± 0,09	4,78 ± 0,03	5,38 ± 0,05
Zn*	3,62	6,20 ± 0,08	7,14 ± 0,01	5,46 ± 0,01
B	3,38	4,00 ± 0,07	5,67 ± 0,05	5,49 ± 0,02
Zn+B+Mg	3,58	5,81 ± 0,02	5,71 ± 0,14	5,29 ± 0,08
Ca	3,73	4,32 ± 0,04	4,33 ± 0,08	4,55 ± 0,05

Таким образом, установлено, что при внесении цинкосодержащих удобрений на чайных плантациях в течение 10 лет содержание подвижного цинка в почвах увеличивалось в 2–4 раза, что повышало уровень

обеспеченности почв чайных плантаций этим важным элементом, при этом не выходило за рамки предельно допустимой концентрации.

3.3 Базальное дыхание почв (эмиссия CO₂)

Почвы длительно эксплуатируемых чайных плантаций, в значительной степени подвергаются агрогенному воздействию, сопровождающемуся изменением их физико-химических и биологических свойств (Малюкова и др., 1999; Козлова, 2008; Струкова, 2014). В агрохимии при оценке степени нарушения почв, а также устойчивости почвенной экосистемы (способности поддерживать плодородие почв, биогеохимический круговорот и биоразнообразие) рассматривается комплекс показателей биологической активности почв (Гузев, Левин, 1991; Деградация..., 2002; Даденко, 2004; Казеев и др., 2004; Garcia-Ruiz R et al., 2008). В этом аспекте интегральным функциональным показателем является скорость продуцирования почвой CO₂ (активность «микробного» дыхания –C-CO₂), которая характеризует интенсивность минерализации органического вещества, активность жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и корневой системы растений и является универсальной единицей процессов обмена веществ и энергии в экосистеме (Ананьева, 2002; Чимитдоржиева, Чимитдоржиева, 2010).

В результате исследований установлено, что в почве естественного биоценоза (фоновая территория – лес) в течение года наблюдений (за исключением января) сохранялся стабильно высокий уровень «дыхательной» активности (92,2–157,9 мг CO₂ / кг почвы в сутки). Динамика эмиссии CO₂ в определенной степени зависела от погодных и гидротермических условий почвы и их сочетания. В агроценозе чайной плантации зимне-весенний период для всех изученных вариантов характеризовался минимальными или близкими к ним значениями, связанными с воздействием пониженных температур. Ингибирующее действие минеральных удобрений, внесенных в

апреле, фиксируемое по снижению дыхательной активности почв, прослеживалось до мая, несмотря на более оптимальные по сравнению с апрелем термические условия (в апреле среднесуточная температура воздуха находилась в пределах 7,0–14,0 °С; в мае – 15,0–18,3 °С).

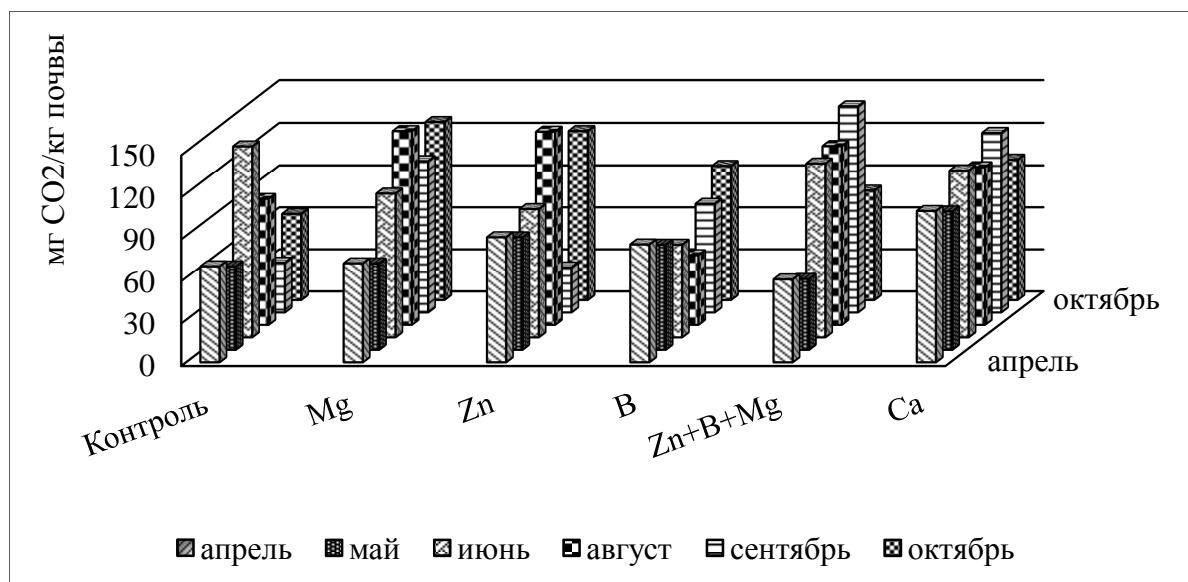


Рисунок 16 – Дыхательная активность бурой лесной почвы по вариантам опыта в течение вегетационного периода (апрель–октябрь, 2012 г.)

Далее, в динамике отмечался рост этого показателя к июню–августу, связанный, во-первых, с наступлением биологически более активного периода, во-вторых, с активизацией в этих условиях минерализации растительных остатков (подрезочной массы); усилением ростовых процессов и, соответственно, дыхательной активности корневой системы, а также снижением ингибирующего действия минеральных удобрений, по прошествии более чем 2-х месяцев после их внесения (рисунок 16). В целом установленные временные закономерности имели схожий тренд с показателями ферментативной активности почв, полученных на этих же объектах в другие периоды исследований (Струкова, 2014).

Почвенное внесение макро- (Mg, Ca) и микроэлементов (B, Zn) (после 10 летнего периода их применения) в целом оказывало положительное влияние на дыхательную активность почв, проявляющееся в различные

периоды в разной степени (рисунок 16). Так, в апреле, до ежегодного внесения базовых минеральных удобрений, отмечалась лишь тенденция роста дыхательной активности почв на фоне макро- и микроэлементов, различия между вариантами и контролем недостоверны ($НСР_{\leq 0,05}=21,2$).

В конце мая (почти через два месяца после внесения минеральных удобрений) отмечался закономерный спад дыхательной активности почв, обусловленный ингибирующим воздействием вносимых агрохимикатов. В июне через 2,5 месяца после внесения минеральных удобрений на всех вариантах, кроме варианта с применением бора, отмечался достоверный рост показателя по сравнению с предыдущим периодом. В августе дыхательная активность почв на всех вариантах опыта, за исключением бора, достигала максимальных или близких к ним значений и достоверно превышала контроль ($НСР_{\leq 0,05}=20,8$), демонстрируя таким образом стимулирующее влияние Mg, Ca, Zn на этот показатель.

На варианте с бором дыхательная активность продолжала снижаться к августу и начало её восстановления зафиксировано только в конце сентября. В целом же, этот показатель, существенно изменяясь в течение вегетационного периода под влиянием комплекса агрогенных и биотических факторов, к концу октября возвращался практически на исходный уровень, установленный в апреле, или даже существенно возрастал по сравнению с ним. Однофакторный дисперсионный анализ, позволяющий рассчитать долю влияния фактора, в данном случае макро- и микроудобрений, показал в динамике рост этой доли от 55 % в апреле (недостоверное влияние) до 93 % в августе и снижение к октябрю до 73 %, при достоверной связи в этот период фактора «удобрения» с «дыханием» почв.

Таким образом, в целом интенсивность «дыхания» бурых лесных кислых почв чайных плантаций при различной интенсивности агрогенного воздействия (виды и дозы минеральных удобрений) варьировала в течение года в пределах от 32 до 138 мг CO_2 / кг почвы в сутки. Установленная годовая динамика этого показателя была обусловлена гидротермическими

условиями, а также действием минеральных удобрений. Среди макро- и микроэлементов в большей степени положительное действие обнаруживалось при применении кальций, магний и цинксодержащих удобрений, выраженное в более быстром восстановлении дыхательной активности почв (в течение месяца) после внесения веществ и последующем её существенным ростом.

Таким образом, резюмируя вышеизложенный материал, можно констатировать, что применение изученных макро- и микроудобрений оказывало существенное влияние на плодородие почв, выражаемое через комплекс агрохимических показателей, среди которых кислотно-основные свойства, гумус и содержание питательных элементов.

На варианте с применением магния установлен прирост содержания гумуса и увеличение содержания аммиачного азота, а также снижение подвижных фосфора и калия в сравнении с контролем. Применение сернокислого магния в течение 7–10 лет снижало степень подкисления почв и обогащало её обменным магнием. Однако через год после прекращения применения этого вида удобрений отмечалось усиление процессов ацидизации почв.

Корневое внесение сульфата цинка способствовало увеличению содержания гумуса, подвижного калия, а также снижению подвижных фосфатов. При внесении цинксодержащих удобрений в течение 10 лет содержание подвижного цинка в почвах увеличивалось в 2–4 раза, что повышало уровень обеспеченности почв чайных плантаций этим важным элементом, при этом не выходило за рамки предельно допустимой концентрации.

Применение бора способствовало увеличению содержания гумуса и аммиачного азота, при снижении содержания подвижных фосфатов. Также применение бора снижало подкисление почв, что положительно влияло на обеспеченность почв обменными магнием и кальцием.

На варианте смесь (Zn+B+Mg), выявлены похожие закономерности, как и при изучении каждого элемента в отдельности: увеличение содержания гумуса и аммиачного азота; снижение содержания подвижных фосфатов и подвижного калия; снижение темпов подкисления почвы, что положительно повлияло на обеспеченность почв обменными магнием и кальцием.

Применение кальцийсодержащего природного материала в течение 16 лет существенно снижало ацидизацию бурых лесных кислых почв, вызванную длительным применением физиологически кислых минеральных удобрений (NPK), и восстанавливало запас обменных кальция и магния. Корневое применение кальция в виде природного удобрения способствовало увеличению содержания гумуса и снижению содержания подвижных фосфатов.

Среди макро- и микроэлементов в большей степени положительное действие на интенсивность «дыхания» обнаружено при применении кальция, магний и цинксодержащих удобрений, выраженное в более быстром восстановлении дыхательной активности почв (в течение месяца) после внесения веществ и последующем её существенным ростом.

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

4.1 Фотосинтетическая деятельность чайного растения

Одним из принятых научным сообществом индикаторов состояния жизнедеятельности растений является эффективность первичных процессов фотосинтеза. Важность этого показателя определяется как значимостью фотосинтетической функции в жизни растений, так и высокой чувствительностью фотосинтетического аппарата к изменениям факторов окружающей среды (Lichtenthaler, Rindere, 1988; Lichtenthaler, 1992; Govindjee, 1995; Maxwell, Jonson, 2000; Baker, 2008; Будаговская и др., 2006; Гольцев и др., 2016.). Процесс фотосинтеза заключается в преобразовании энергии света в энергию химических связей, который осуществляется в хлоропластах (Application chlorophyll..., 1988; Бухов, 2004). Энергия поглощенных ими квантов света расходуется тремя путями: 1 – используется в синтезе углеводов (фотохимическая работа), 2 – преобразуется в тепло и 3 – избыток переизлучается в виде флуоресценции (Application chlorophyll..., 1988; Lichtenthaler, Rindere, 1988; Maxwell, Jonson, 2000; Baker, 2008; Будаговский и др., 2010).

Флуоресценция является неизменным спутником фотосинтеза, и ее уровень зависит от интенсивности фотохимических процессов в обратной пропорции – чем меньше фотохимическая работа, тем выше флуоресценция (Application chlorophyll..., 1988; Будаговский и др., 2010). Расстройство в первичных процессах фотосинтеза напрямую отражается на изменениях флуоресценции хлорофилла и проявляется задолго до видимых нарушений физиологического состояния растений. Определение флуоресценции хлорофилла является удобным и информативным, и наиболее быстрым среди других экспериментальных методов (Карапетян, Бухов, 1986; Веселовский,

1990; Krause, Weis, 1991; Гаевский, Моргун, 1993; Maxwell, Jonson, 2000; Корнеев, 2002). Он используется с целью выяснения влияния различных факторов на фотосинтетический аппарат и физиологическое состояние растений (Navaux, Lannoeye, 1983; Andrews, 1995; Lootens, 2004; Aiyelaagbe et al., 2005; Будаговская и др., 2006). В число этих факторов входят низкие и высокие температуры, засуха, гербициды, химическое загрязнение окружающей среды, вирусные и грибковые инфекции, минеральное питание.

Состав и структура пигментного аппарата также являются важными характеристиками функционального состояния растений, в том числе и чая, особенно в нетипичных условиях произрастания и могут служить индикаторами устойчивости растений к стресс-факторам (Белоус, Притула, 2004; Белоус и др., 2009). Влияние засухи может вызывать стрессовую реакцию у растений, в том числе приводить к структурно-функциональной перестройке фотосинтетического аппарата и ингибированию фотосинтеза (Софронова и др., 2014; Fathi et al., 2016; Hu et al., 2018). Пигментная система растений, помимо хлорофиллов, содержит каротиноиды, которые поглощают свет в синей области спектра, защищают фотосинтетический аппарат от фотодеструкции, а также выполняют другие защитные функции (Sun et al., 2018). Поэтому в данной работе эти показатели были изучены параллельно в многолетней и сезонной динамиках.

Исследование структуры фотосинтетического аппарата листьев чая показало, что содержание пигментов в зрелых листьях чайного растения, в целом, существенно изменялось по сезонам, степени зрелости листа и вариантам опыта (Притула, Малюкова, Великий, 2017, 2018). Была выявлена характерная для растений чая (Белоус, Притула, 2004; Белоус и др., 2011) динамика роста количества хлорофилла *a* и *b* (далее по тексту и в таблицах используется обозначение – Chl_a и Chl_b), а также каротиноидов (Car) с июля к сентябрю, в соответствие с фазами развития растений, температурным режимом и фотопериодизмом (таблицы 8, 10). Содержание Chl_a в среднем в

1,5–2 раза превышало содержание Chl_b, а содержание каротиноидов было в 4–5 раз ниже суммы хлорофиллов (таблицы 8, 10).

В летние периоды, которые характеризовались разной степенью выраженности гипертермии, содержание фотосинтетических пигментов значительно варьировало, в целом отмечался рост каротиноидов в летний период 2012 г. и 2013 г. в сравнении с 2011 г., что может быть результатом как перестройки структуры фотосинтетического аппарата под воздействием более сильного стресса, так и другими факторами (таблица 8).

Таблица 8 – Содержание фотосинтетических пигментов в зрелом листе чайного растения в летний период (2011–2013 гг.)

Вариант	Хлорофилл			Car	Отношение	
	Chl _a	Chl _b	Chl _a +Chl _b		Chl _a / Chl _b	Chl _a +Chl _a / Car
	мг/г					
25.07.2011						
Контроль	1,43±0,05	0,99±0,08	2,42±0,13	0,60±0,04	1,44±0,06	4,03±0,09
Mg	1,39±0,08	0,96±0,11	2,35±0,19	0,57±0,09	1,45±0,08	4,12±0,42
Zn	1,33±0,07	0,91±0,08	2,24±0,15	0,55±0,05	1,46±0,04	4,07±0,10
B	1,21±0,07	0,80±0,15	2,01±0,19	0,49±0,06	1,51±0,22	4,10±0,18
Zn+B+Mg	1,33±0,07	0,87±0,08	2,20±0,14	0,53±0,05	1,53±0,06	4,15±0,20
Ca	1,26±0,13	0,82±0,15	2,08±0,28	0,51±0,07	1,54±0,12	4,08±0,07
23.08.2012						
Контроль	1,95±0,09	1,29±0,12	3,25±0,20	0,65±0,03	1,52±0,07	4,99±0,16
Mg	1,76±0,06	1,03±0,09	2,80±0,14	0,67±0,04	1,72±0,10	4,17±0,13
Zn	1,72±0,05	1,02±0,06	2,74±0,11	0,57±0,05	1,70±0,06	4,86±0,20
B	1,83±0,08	1,13±0,09	2,97±0,17	0,62±0,02	1,62±0,07	4,79±0,21
Zn+B+Mg	1,89±0,08	1,19±0,11	3,08±0,20	0,70±0,04	1,59±0,08	4,42±0,07
Ca	1,78±0,11	1,07±0,14	2,85±0,25	0,67±0,06	1,68±0,12	4,28±0,25
10.07.2013						
Контроль	1,88±0,06	1,14±0,16	3,02±0,21	0,64±0,07	1,67±0,20	4,80±0,10
Mg	1,84±0,07	1,10±0,11	2,93±0,17	0,62±0,07	1,69±0,10	4,86±0,13
Zn	1,87±0,10	1,13±0,12	2,99±0,22	0,60±0,07	1,66±0,10	5,02±0,16
B	1,79±0,08	1,05±0,08	2,85±0,16	0,57±0,03	1,71±0,06	5,02±0,05
Zn+B+Mg	1,42±0,04	1,35±0,07	2,77±0,10	0,71±0,02	1,05±0,04	3,93±0,05
Ca	1,48±0,14	1,39±0,22	2,83±0,33	0,74±0,08	1,02±0,09	3,95±0,12

По вариантам опыта более высоким содержанием хлорофиллов характеризовался контроль. На фоне внесения кальция (в сравнении с контролем), в большей степени, чем на остальных вариантах, абсолютное содержание всех пигментов было ниже контроля, однако при этом наблюдался рост доли каротиноидов на единицу хлорофиллов (за исключением 2011 г.), что указывало на своевременную перестройку фотосинтетического фонда пигментов в стрессовых условиях (таблица 8) (Притула, Малюкова, Великий, 2017). Известно, что кальций защищает мембраны тилакоидов от повреждения (прямо или косвенно) при стрессовых условиях путем повышения активности антиокислительных ферментов и содержания осморегулирующих веществ, а также участвует в переориентации хлоропластов, их механическом движении с целью наиболее эффективного поглощения квантов света (Бухов, 2004; Jarén-Galán, Minguez-Mosquera, 1997; Fang et al., 2015).

На вариантах с корневым внесением микроэлементов и магния содержание всех исследуемых пигментов в зрелых листьях было сопоставимо или ниже в сравнении с контролем. Однако в некоторые годы доля фотосинтетически активного Chl_a относительно суммы хлорофиллов была выше в листьях растений на этих вариантах в сравнении с контролем (таблица 8) (Притула, Малюкова, Великий, 2018).

Отмеченные изменения в структуре фотосинтетического аппарата отражались на его функциональной активности. В 2012 году было начато изучение медленной фазы хлорофилл флуоресценции в зрелых листьях (таблица 9; рисунок 17). Оценка функционального состояния фотосинтетического аппарата листьев чайного растения осуществлялась по параметрам флуоресценции хлорофилла: максимум флуоресценции F_m (столбец « F_m »); стационарный уровень флуоресценции (столбец « F_T »); показатель относительного тушения флуоресценции или индекс жизнеспособности (столбец « F_m/F_T »); показатель фотосинтетической активности, рассчитанный по алгоритму экстраполяции (столбец « Kf_T »); показатель фотосинтетической

активности, рассчитанный в каждый текущий момент времени измерений (столбец «Kf_n»).

В соответствии с рекомендациями Будаговского А.В. (2012), прописанными в инструкции к прибору LPT-3CF, опытным путём произвели подбор временного интервала, для уверенного выхода на плато (постоянное значение интенсивности флуоресценции), что отображено на графиках изменения интенсивности флуоресценции (рисунок 17а, б). Изначально время для определения флуоресценции хлорофилла было равно одной минуте (рисунок 17а). При дальнейшем изучении параметров флуоресценции мы установили, что экспозиция в 2 минуты для листьев чая, гораздо информативнее отражает всю картину изменений, так как за это время флуоресценция падает до стационарного уровня F_T (рисунок 17б).

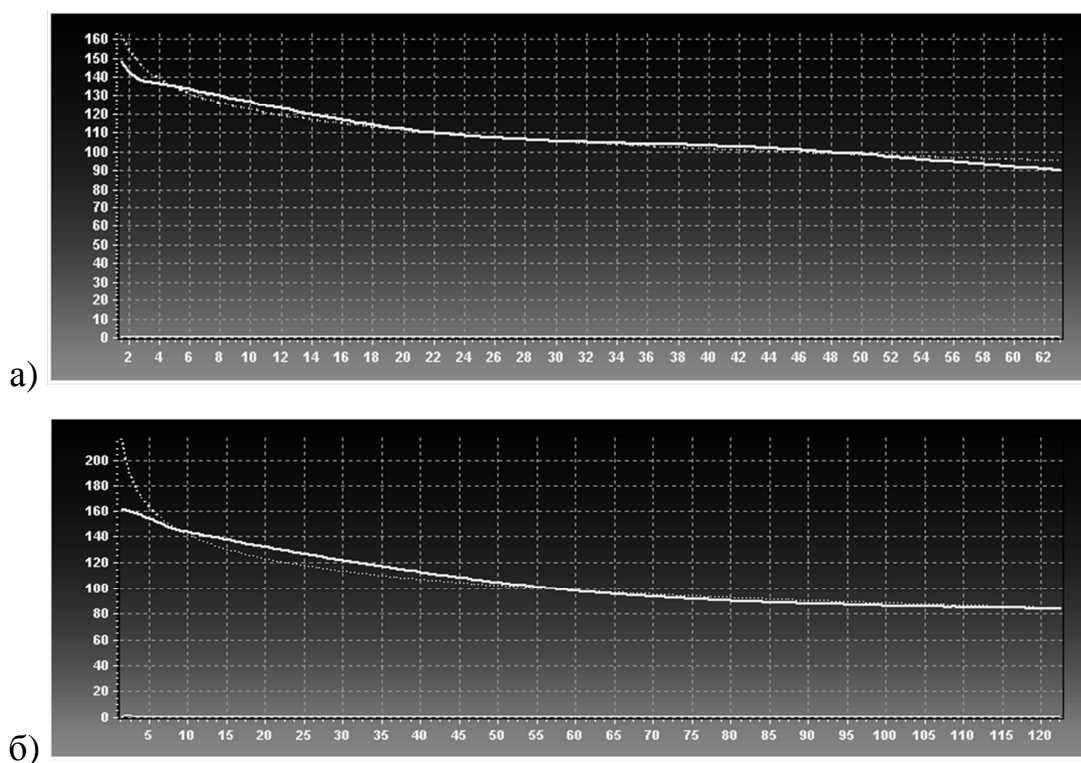


Рисунок 17 – График медленной индукции флуоресценции хлорофилла при облучении в течение 1 (а) и 2 (б) мин. для зрелых листьев чая

Также исследования показали высокую вариабельность и разную информативность изученных показателей (таблица 9). Так, в августе (стресс)

максимальными значениями флуоресценции характеризовался контроль, что снижало фотосинтетическую активность растений и индекс жизнеспособности. Более высокой фотосинтетической активностью, а также индексом жизнеспособности характеризовались растения на вариантах с кальцием, смесью элементов и бором.

Таблица 9 – Параметры медленной индукции флуоресценции хлорофилла при облучении в течение 1 и 2 мин. зрелых листьев чая (2012 г.)

No	Fm	F_T	Fm/F_T	Kf_T	Kf_n
21 августа					
Контроль	151,6±5,7	68,1±10,3	2,31±0,20	0,56±0,04	0,37±0,03
Mg	151,5±0,9	64,4±10,5	2,30±0,40	0,55±0,07	0,36±0,06
Zn	150,8±0,5	67,6±0,2	2,37±0,16	0,57±0,03	0,38±0,02
B	146,4±5,2	58,2±4,2	2,56±0,14	0,60±0,02	0,39±0,02
Zn+B+Mg	137,8±0,3	49,9±2,9	2,83±0,14	0,63±0,02	0,42±0,03
Ca	144,6±1,5	47,0±1,6	2,98±0,38	0,65±0,04	0,45±0,04
26 сентября					
Контроль	147,2±1,5	51,0±3,8	2,96±0,12	0,66±0,02	0,50±0,01
Mg	144,9±17,1	48,2±10,6	3,31±0,36	0,67±0,03	0,52±0,03
Zn	157,6±9,5	67,7±16,6	2,47±0,46	0,58±0,08	0,44±0,07
B	147,2±1,6	46,3±1,4	3,32±0,09	0,69±0,01	0,52±0,01
Zn+B+Mg	145,5±3,0	49,8±2,7	2,98±0,10	0,66±0,01	0,51±0,01
Ca	146,7±8,5	50,9±3,7	2,94±0,04	0,65±0,004	0,50±0,003

В сентябре изученные показатели находились на том же уровне и в меньшей степени варьировали по вариантам опыта, при этом более высокой фотосинтетической активностью выделялся вариант с применением бора. Все изученные показатели изменялись пропорционально друг другу, то есть коррелировали, и были учтены в алгоритме программы при производстве расчётов. С учетом этого, а также рекомендаций исследователей и разработчиков метода (Будаговский и др., 1988; Будаговская, 2001) далее при интерпретации данных в качестве базового показателя использовали индекс жизнеспособности (далее по тексту используется также аббревиатура ИЖ, а в таблицах – Fm/F_T).

Анализ этого показателя в различные периоды вегетации (рисунок 18) показал, что на варианте с кальцием отмечался достоверный рост (август 2012 г.), либо тенденция роста (август 2014 г.) индекса жизнеспособности в сравнении с контролем (рисунок 18), что свидетельствовало о более высокой удельной продуктивности фотосинтеза. На вариантах с цинком и бором эта тенденция также прослеживалась, но была менее выражена. Возможно процессы структурной перестройки пигментного фонда, как адаптивной реакции на стресс, происходили более эффективно на этих вариантах. Положительное влияние цинка отмечали и другие исследователи (Белоус, 2006), при применении его в виде фолиарных обработок в качестве листовой подкормки растений чая.

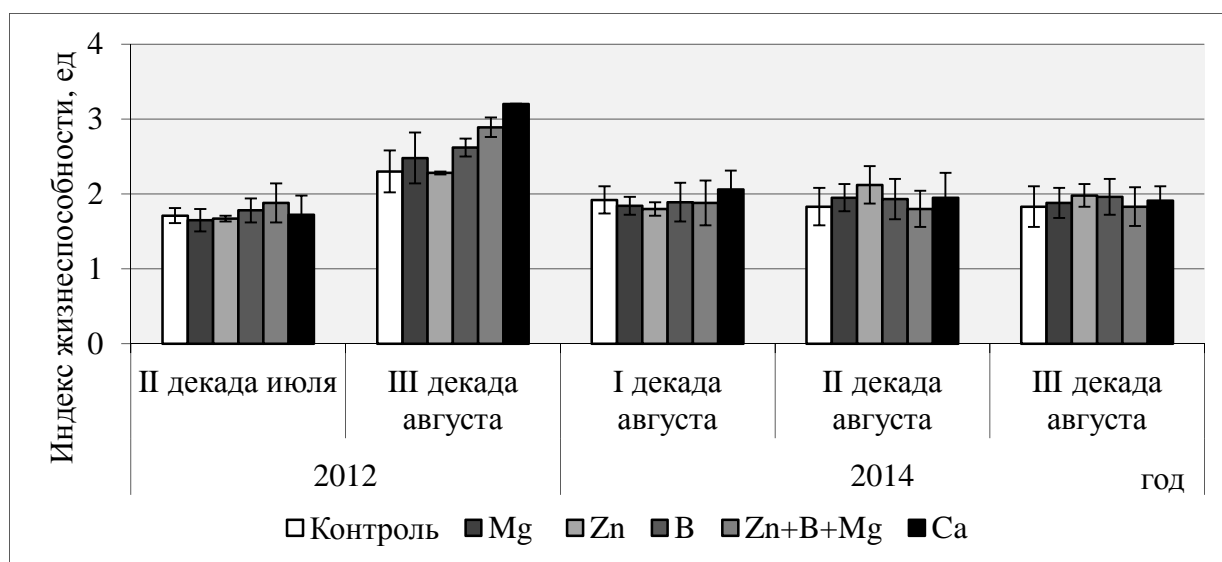


Рисунок 18 – Индекс жизнеспособности зрелого листа чайного растения в период засухи

В целом, можно предположить, что цинк, являясь структурным компонентом антиоксидантных ферментов, в частности супероксиддисмутазы (CuZnСОД) (основное количество которой локализовано в хлоропластах), а также его неоспоримо важную роль в синтезе комплекса других антистрессовых соединений (полифенолов, катехинов, аминокислот, растворимых сахаров) (Karpinski, 1993; Kumar,

2014), сохраняет устойчивость пигментного аппарата в стрессовых условиях, которая наблюдается в повышении его функциональной активности. Для варианта с бором, это может быть следствием его участия в антистрессовых процессах, в том числе в синтезе пролина и других осмолитиков (Uradhyaya et al., 2012; Kumar, 2014), а также влиянии на эффективность использования воды (Apostol, Zwiazek, 2004).

Таблица 10 – Содержание фотосинтетических пигментов в зрелом листе чайного растения в осенний период (2011–2012 гг.)

Вариант	Хлорофилл			Car	Отношение	
	Chl _a	Chl _b	Chl _a +Chl _b		Chl _a / Chl _b	Chl _a +Chl _b / Car
	мг/г					
19.09.2011						
Контроль	1,61±0,06	1,32±0,14	2,93±0,20	0,78±0,04	1,22±0,09	3,76±0,14
Mg	1,69±0,07	1,27±0,15	2,96±0,22	0,72±0,05	1,33±0,12	4,11±0,06
Zn	1,73±0,06	1,34±0,14	3,07±0,20	0,71±0,06	1,29±0,11	4,32±0,33
B	1,57±0,12	1,23±0,25	2,80±0,37	0,69±0,08	1,28±0,17	4,06±0,34
Zn+B+Mg	1,51±0,14	1,04±0,07	2,55±0,20	0,67±0,18	1,45±0,07	3,81±0,70
Ca	1,65±0,04	1,15±0,07	2,80±0,11	0,69±0,03	1,43±0,06	4,06±0,11
22.10.2012						
Контроль	2,16±0,07	1,34±0,12	3,50±0,10	0,71±0,03	1,63±0,18	4,99±0,53
Mg	2,26±0,10	0,91±0,07	3,16±0,10	0,63±0,03	2,49±0,25	5,06±0,29
Zn	2,36±0,23	0,97±0,12	3,34±0,34	0,62±0,02	2,44±0,16	5,34±0,40
B	2,52±0,09	0,99±0,06	3,51±0,14	0,64±0,02	2,56±0,11	5,48±0,26
Zn+B+Mg	1,86±0,12	0,88±0,08	2,74±0,11	0,57±0,02	2,12±0,28	4,81±0,13
Ca	1,72±0,15	0,89±0,15	2,60±0,30	0,59±0,04	1,95±0,17	4,43±0,25
21.11.2012						
Контроль	1,94±0,06	1,32±0,05	3,26±0,09	0,73±0,04	1,48±0,06	4,45±0,23
Mg	1,96±0,10	1,32±0,09	3,28±0,20	0,75±0,07	1,49±0,03	4,41±0,21
Zn	2,09±0,02	1,50±0,04	3,59±0,06	0,81±0,02	1,40±0,03	4,43±0,09
B	2,20±0,12	1,38±0,17	3,38±0,28	0,74±0,04	1,46±0,09	4,53±0,15
Zn+B+Mg	1,80±0,06	1,08±0,06	2,88±0,12	0,70±0,03	1,67±0,04	4,12±0,03
Ca	1,98±0,11	1,34±0,12	3,32±0,23	0,75±0,05	1,49±0,06	4,41±0,07

В осенние месяцы по мере снижения интенсивности флешеобразования и роста возраста листа содержание фотосинтетических пигментов существенно возрастало по сравнению с летним периодом, при этом в целом структура фотосинтетического аппарата сохранялась (таблица 10). Разница

между вариантами прослеживалась в количестве фотосинтетических пигментов с явным ростом на контрольном варианте в сравнении с кальцием. При этом на фоне внесения кальция (в сравнении с контролем) также прослеживалась, в меньшей степени выраженная по сравнению с летним периодом, тенденция роста доли каротиноидов на единицу хлорофиллов.

Также отмечено увеличение количества Chl_a и его доли в структуре суммы хлорофиллов на вариантах с внесением микроэлементов в октябре 2012 года (после летней засухи). Причиной этого являлась интенсивность формирования пигментного фонда (рост содержания пигментов в осенний период в сравнении с летним), которая возрастала на вариантах с внесением микроэлементов (таблица 10, таблица 8).

Индекс жизнеспособности листьев в осенний период, по аналогии с пигментами, также увеличивался и варьировал по вариантам опыта (рисунок 19).

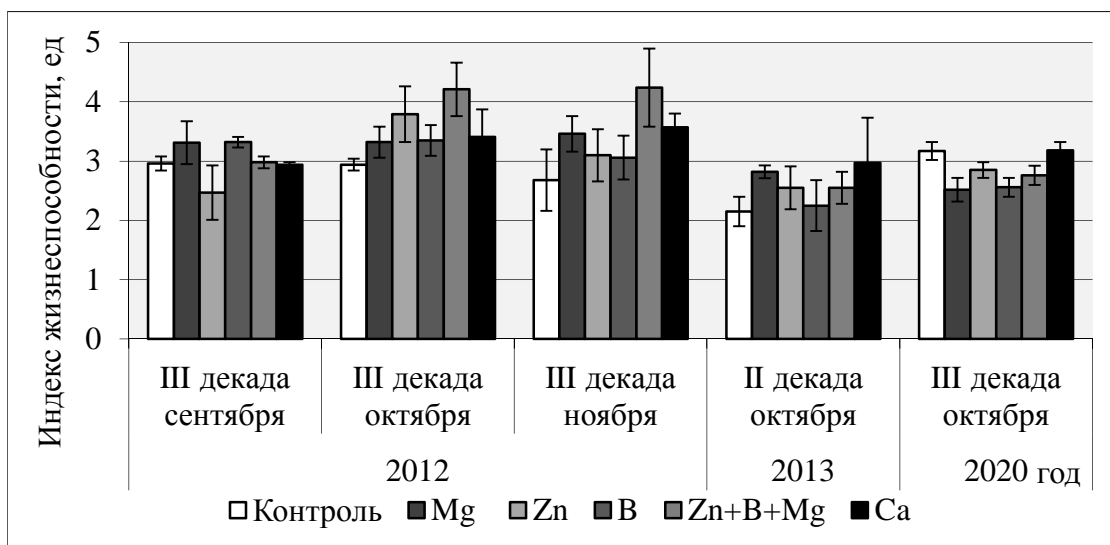


Рисунок 19 – Индекс жизнеспособности зрелого листа чайного растения в осенний период по вариантам опыта в 2012 г.

В осенний период отмечалась тенденция увеличения индекса жизнеспособности листьев на всех вариантах в сравнении с контролем,

отражающая более эффективную работу фотосинтетического аппарата (рисунок 19).

Самое высокое содержание фотосинтетических пигментов по сравнению с другими периодами отмечено в марте (прошлогодний лист – возраст 10 месяцев) (таблица 11), когда наиболее активны ассимиляционные процессы, ответственные за подготовку первой волны роста флешей (Романова, 1956; Белоус, Притула, 2004). Этот период являлся показательным в оценке степени восстановления функционального состояния 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 по отношению к контролю, при одинаковой структуре фотосинтетического аппарата, что являлось, по-видимому, следствием сохранения целостности пигментного фонда в стрессовых условиях.

Таблица 11 – 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

Индекс жизнеспособности листьев в весенние периоды также по аналогии с пигментами увеличивался и варьировал по вариантам опыта (рисунок 20).

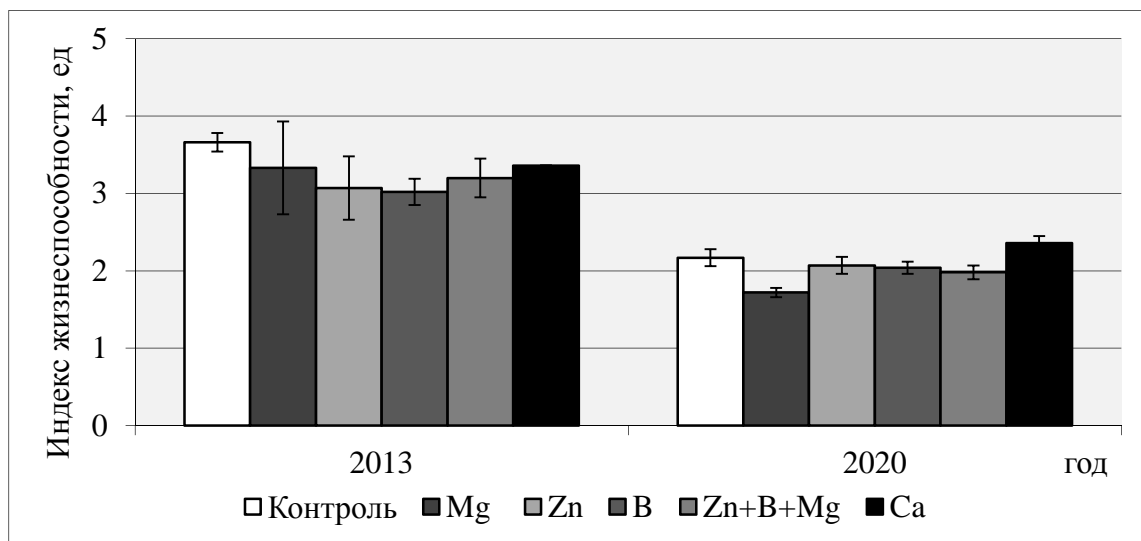


Рисунок 20 – Индекс жизнеспособности зрелого листа чайного растения в весенний период по вариантам опыта (II декада марта)

Сравнение двух зимних периодов исследований показало, что при более низких температурах в феврале 2020 года жизнеспособность зрелого листа была ниже на 1–1,5 ед., чем за тот же период 2013 года (рисунок 20). При этом данные, полученные в 2020 г., подтвердили гипотезу о более эффективной работе фотосинтетического аппарата на фоне применения кальцийсодержащего минерального удобрения (Великий, 2020) (рисунок 20). Коэффициент жизнеспособности на нем был выше, чем на других вариантах, несмотря на более сложные метеорологические условия в этот период.

Для 3-листной флешки, в частности для вызревшего листа молодого побега первой волны роста, содержание всех пигментов существенно ниже в сравнении со зрелым листом. На варианте с кальцием (по сравнению с контролем) отмечено более высокое содержание пигментов (хлорофилла и каротиноидов) в сочетании с повышенным индексом жизнеспособности (таблица 12, рисунок 21).

Таблица 12 – Содержание фотосинтетических пигментов в 3-листной флешей чайного растения (06.05.2013 г.)

Вариант	Хлорофилл			Car	Отношение	
	Chla	Chlb	Chla+Chlb		Chla / Chlb	Chla+Chlb / Car
	мг/г					
Контроль	0,64±0,01	0,25±0,01	0,89±0,01	0,24±0,01	2,51±0,17	3,72±0,09
Mg	0,65±0,11	0,27±0,07	0,91±0,18	0,25±0,04	2,48±0,24	3,70±0,06
Zn	0,64±0,16	0,25±0,09	0,89±0,25	0,25±0,06	2,61±0,28	3,60±0,11
B	0,57±0,11	0,22±0,07	0,79±0,18	0,23±0,05	2,70±0,41	3,44±0,02
Zn+B+Mg	0,71±0,37	0,21±0,21	1,02±0,59	0,26±0,12	2,47±0,50	3,76±0,52
Ca	0,84±0,05	0,42±0,02	1,26±0,03	0,32±0,01	1,98±0,19	3,98±0,04

Функциональная активность (ИЖ), сопоставимая по вариантам опыта в мае, в более жаркие летние месяцы (июнь и август) была также выше на вариантах с применением микроэлементов (рисунок 21). Также особо стоит отметить сильную вариабельность показателя при исследовании молодых флешей, так как за счет активного роста создаётся неоднородность, которая сохраняется даже при очень тщательном отборе растительного материала.

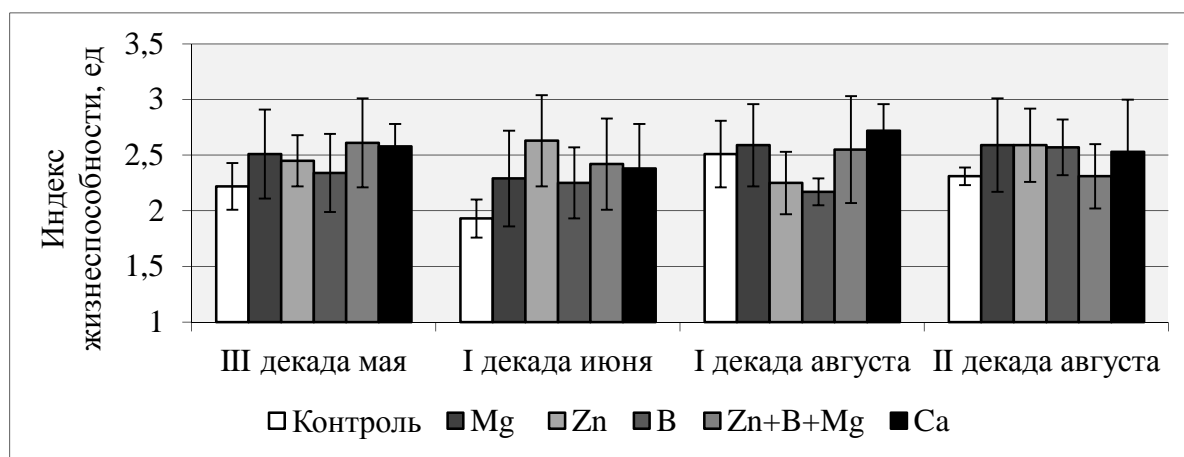


Рисунок 21 – Индекс жизнеспособности в 3-листной флешей чайного растения по вариантам опыта в течение листосборного периода (май–август, 2014 г.)

Таким образом, показано, что увеличение фонда хлорофиллов и каротиноидов начиналось в летний период по мере созревания листа, и в ранневесенний период следующего года их содержание было в среднем на 30 % выше, чем летом и осенью. В целом, изучение содержания

фотосинтетических пигментов (в зрелых листьях) и их функциональной активности в течение ряда лет демонстрировало усиление эффективности работы пигментной системы на высокоурожайных вариантах с внесением кальция, в меньшей степени бора и цинка. Количественное содержание фотосинтетических пигментов в летний период на этих вариантах в зрелых листьях было сопоставимо или достоверно ниже контроля, в отличие от осеннего, где отмечено увеличение доли фотосинтетически активного Chl_a относительно суммы хлорофиллов в листьях растений. Функциональная активность молодых и зрелых листьев разного возраста на вариантах с корневым внесением кальция, бора и цинка, оцененная по параметру медленной индукции флуоресценции хлорофилла «индексу жизнеспособности», также оценивалась, как более высокая в сравнении с контролем.

4.2 Ростовые процессы и урожай чайного листа

Побегообразовательная способность чайного растения. С давних пор, чай выращивают главным образом для сбора молодых 2–3-листных флешей, которые и являются исходным чайным сырьём для производства готового продукта. Побегообразовательная активность растений чая является одним из основных критериев формирования высокой урожайности и зависит от комплекса факторов: гидротермических условий, агротехники возделывания и сортовых особенностей (Гвасалия, 1975; Методические ..., 1977; Дараселия и др., 1989; Чхаидзе, Микеладзе, 1991).

Изучение этих процессов в течение вегетационного периода (2013–2014 гг.) показало, что в благоприятных метеоусловиях суммарное количество получаемых побегов-флешей составляет от 1060 до 1600 шт. в пересчете на 1 м² в зависимости от вариантов опыта (рисунок 22), что в пересчете на вес составляло от 800 до 1050 г/м². Максимальное побегообразование зафиксировано на вариантах с внесением бора, кальция и

цинка. На учетных площадках данных вариантов было получено максимальное количество побегов на 1 м² от 1373 до 1599, что в 1,1 раза выше чем на контрольном варианте, и в 1,3–1,5 раза выше показателей варианта магний (рисунок 22). Минимальная побегообразовательная активность была отмечена на варианте магний, растения на котором за весь листосборный период дали 1060 побегов на 1 м².

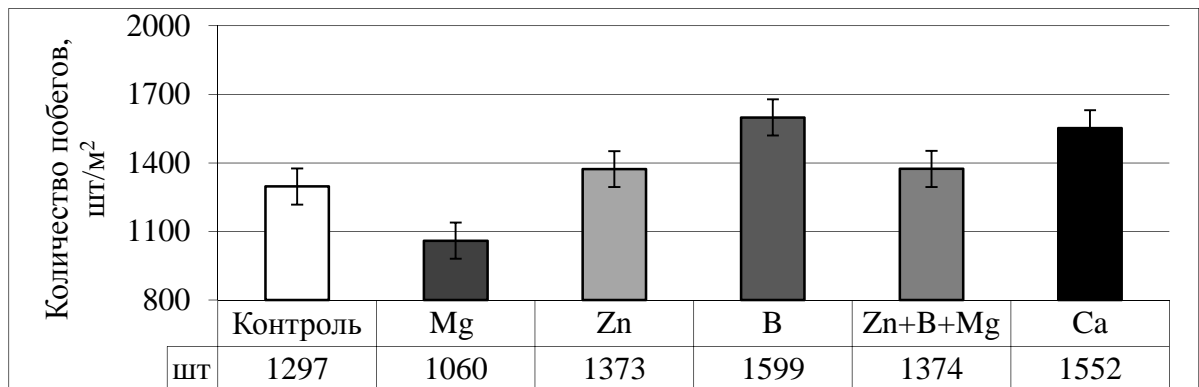


Рисунок 22 – Побегообразовательная способность чайных растений за листосборный период, шт/м²

Исследования показали, что при благоприятных условиях побегообразовательная активность растений чая сорта Колхида на варианте контроль с мая по август находилась в диапазоне от 40 до 155 молодых (нормальные + глухие побеги) флешей, собранных с 1 м². Динамика побегообразовательной активности была напрямую связана с гидротермическими условиями вегетационного периода, а также с биологией растения. Изменялась она следующим образом: с каждым последующим сбором в течении листосборного периода количество нормально развитых побегов флешей снижалось, а число глухих флешей (глушков) увеличивалось. В начале июля (6 сбор) уменьшение количества нормально развитых флешей и увеличение доли глушков обусловлено биологией растения (депрессия ростовых процессов), а также изменениями погодных условий (увеличение температуры воздуха и недостаточное увлажнение) (рисунок 23а, б).

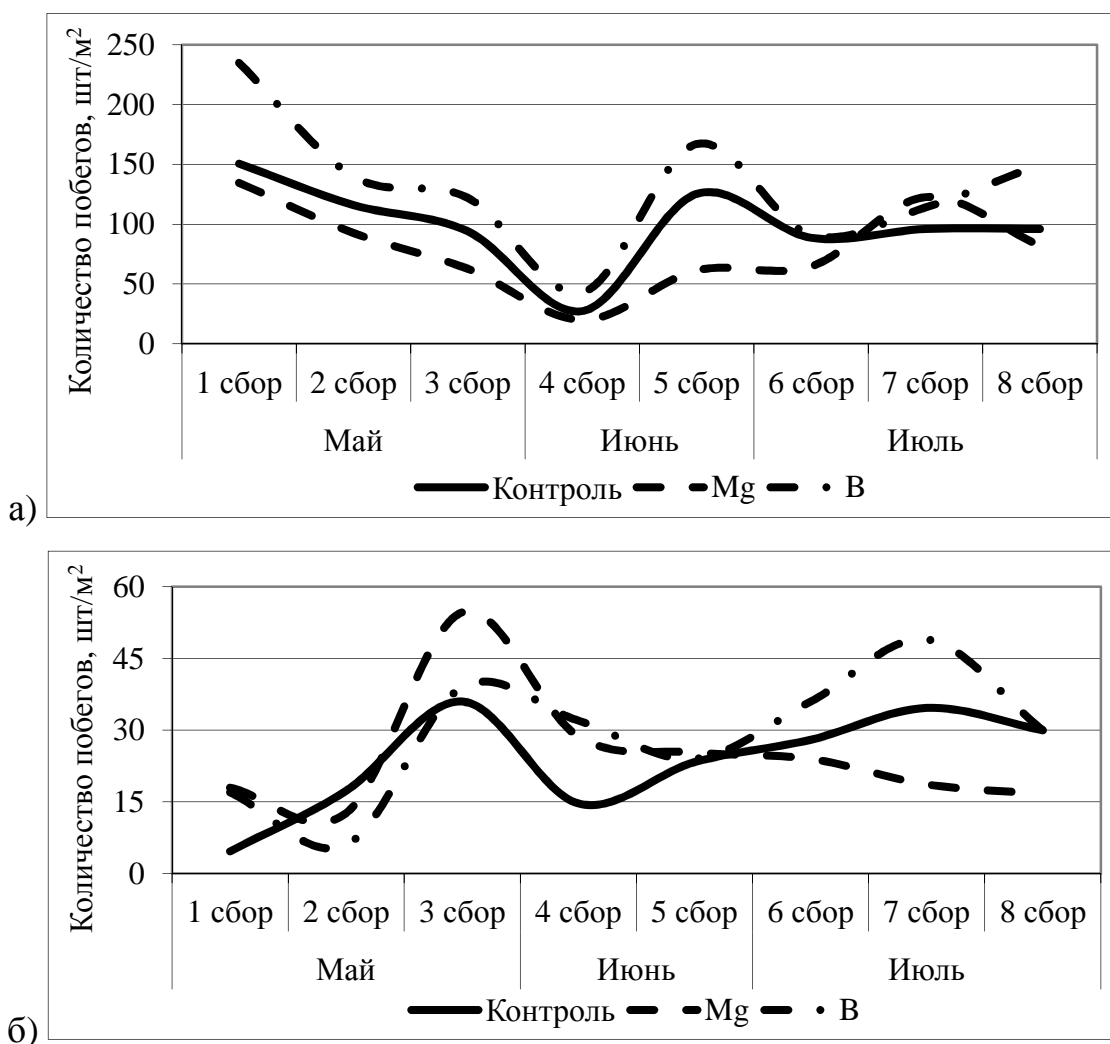


Рисунок 23 – Динамика нарастания: а) нормальных; б) глухих побегов чая (на примере вариантов: контроль, магний, бор), шт/м², 2013 г.

Применение изучаемых элементов оказывало существенное влияние на ростовые особенности растений чая, что позволило получать дополнительно от 20 до 50 молодых побегов на 1 м² за 1 сбор (рисунок 23а и б), что в свою очередь обеспечило получение прибавки урожая до 14–27 % от действия цинка, кальция, смеси элементов (цинк, бор и магний) и бора.

По структуре урожая (соотношение различных типов побегов флешей) можно выделить увеличение числа глухих побегов для варианта магний, и тенденцию роста доли 2-х и 4-листных флешей в общей структуре урожая для варианта цинк, 3-х и 4-листных флешей для кальция и 4-листных флешей для бора (рисунок 24).

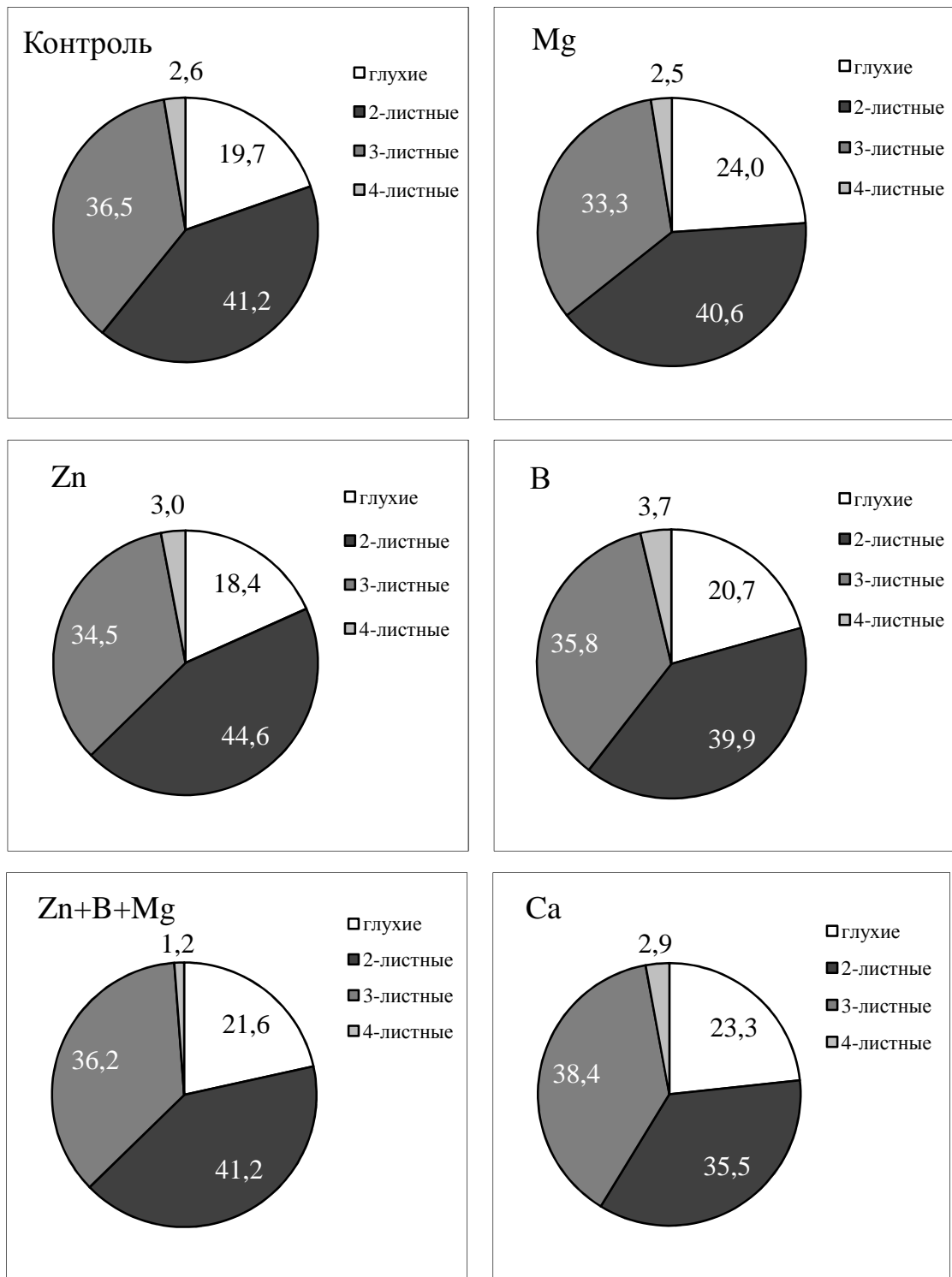


Рисунок 24 – Соотношение разнокачественных побегов чайных растений за листосборный период 2013 года, %.

Урожайность чайной плантации напрямую зависит от средней массой флеша: чем она тяжелее, тем больше урожая собирают с единицы площади (Дараселия и др., 1989; Туов, 1989; Шеховцова, 1989; Белоус, 2006). По данным проведённого анализа установлено, что масса глухих и 2-листных

флешей была примерно одинаковой. Далее следует пропорциональное увеличение массы флешей чайного растения на 0,4–0,5 г от 2-листной к 4-листной флешей (таблица 13).

Таблица 13 – Средняя масса глухих и нормальных флешей за листосборный период, г

Вариант	Масса флешей, г			
	глухой	2-листной	3-листной	4-листной
Контроль	0,63±0,07	0,57±0,05	0,98±0,11	1,66±0,13
Mg	0,59±0,07	0,58±0,06	0,90±0,13	1,50±0,25
Zn	0,62±0,07	0,60±0,04	0,98±0,08	1,57±0,02
B	0,63±0,12	0,60±0,04	0,94±0,08	1,62±0,09
Zn+B+Mg	0,71±0,11	0,61±0,03	1,03±0,06	1,55±0,04
Ca	0,69±0,12	0,58±0,04	0,95±0,07	1,59±0,21

И хотя средняя масса флешей, по результатам исследований была достаточно стабильна, и почвенное внесение макро- и микроэлементов не влияло на изменение этого показателя, было замечено несколько особенностей. Первая – это тенденция к большей массе у 3-листной флешей, полученной от совместного внесения цинка, бора и магния, вторая – это большая вариабельность массы 4-листной флешей от внесения магния и кальция.

В целом по опыту и периоду исследований отмечена более низкая (на 0,2–0,3 г) средняя масса флешей чая сорта Колхида в сравнении с данными, приводимыми другими исследователями при описании этого сорта. Так по данным М.Т. Туова (1989) средняя масса 2-листных флешей сорта Колхида за сезон составляет 0,8 г, 3-листных – 1,1 г, а 4-листных – 1,8 г.

Таким образом, установлено, что чайное растение сорта Колхида характеризовалось высокой побегообразовательной активностью и массой побегов, определяющих его урожайность. Максимальное побегообразование зафиксировано на вариантах с внесением бора, кальция и цинка. В динамике вегетационного периода отмечен более активный рост в мае месяце. Масса

флешей, в целом, характеризуется высокой однородностью в течение всего листосборного периода. Применяемые макро- и микроудобрения в большей степени влияют на количество побегов, не затрагивая их среднюю массу.

Урожай чайного растения. Развитие и продуктивность чайных растений в значительной степени зависит от почвенно-климатических условий (Чхаидзе, Микеладзе, 1979; Туов, 1997; Малюкова, 2014). Выращивание чая в богарных условиях в различных регионах мира, как правило, сопряжено с рисками потери урожайности в засушливые периоды. Помимо традиционных путей решения этой проблемы (орошение) мировым научным сообществом широко изучается влияние различных видов удобрений на реакцию растений и урожайность культуры в стрессовых условиях (Gao et al., 1999; Bowler, Fluhr, 2000; Li, 2005; Белоус, 2006; Малюкова, 2009, 2014; Upadhyaya et al., 2011).

Черноморское побережье России, по мнению Л.С. Малюковой (2014), является зоной неустойчивого чаеводства, поскольку наступление неблагоприятных для выращивания культуры чая метеорологических условий (засуха, понижение температуры в поздне-весенний период) составляет около 60 %. Анализ влияния метеорологических условий и агротехнических приемов на урожайность чайных плантаций проводился на протяжении всего периода выращивания чая в субтропиках России (Бушин, 1975; Туов, 1997; Малюкова, 2014). П.М. Бушин (1975б) установил влияние температурного фактора на 1-й майский сбор чайного листа, последующие же сборы (6-8-ой) зависели от количества осадков. Исследования Малюковой Л.С. (2014) показали, что урожайность чайных плантаций в природно-климатических условиях Черноморского побережья России на 50–60 % определяется метеорологическими условиями весеннего и летнего периодов.

В рамках данного исследования была проанализирована урожайность чая сорта Колхида по вариантам опыта за 10-летний период во взаимосвязи с метеорологическими условиями. Анализ которых (в главе 2. Условия, объекты и методы проведения исследования) позволил объединить годы

проведения исследований в две группы: с относительно благоприятными (2011, 2013, 2014, 2018 и 2019 гг.) и относительно неблагоприятными метеоусловиями (2012, 2015, 2017 и 2020 гг.) для культуры чая.

Урожай чайного листа в благоприятные по метеорологическим условиям годы. В 2011 году сложились благоприятные условия для роста и развития чая, и по показателям среднемесячной температуры и сумме выпавших осадков он был близок к средним многолетним показателям. Среднемесячные температуры $+4-7$ °С и обильное выпадение осадков 150–170 мм в начале года, свидетельствовали о мягкой и влажной зиме (рисунок 25). Весенние месяцы также были довольно теплыми и влажными, количество осадков составило 483 мм, что в 2 раза больше среднемноголетних показателей. Таким образом, хорошие метеоусловия зимне-весеннего периода способствовали раннему и дружному началу вегетации чайных растений.

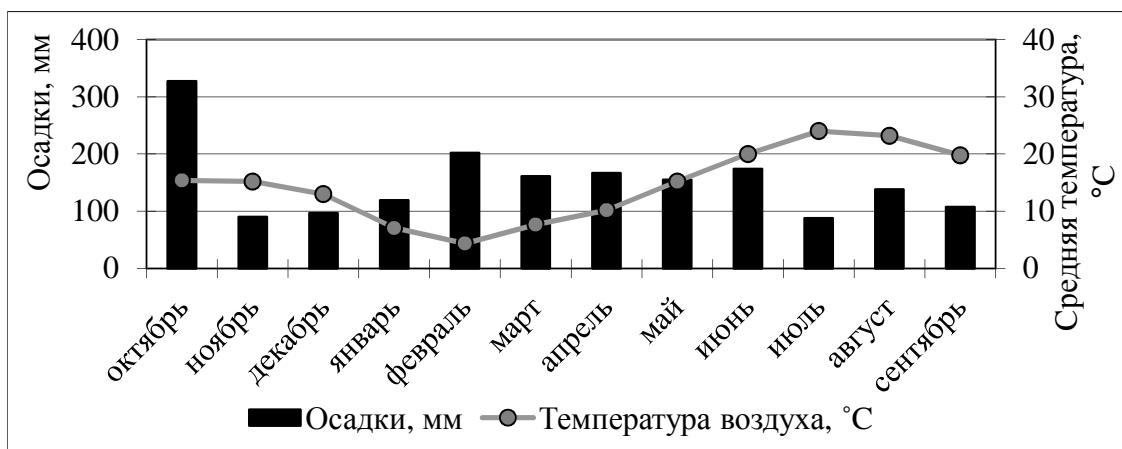


Рисунок 25 – Распределение осадков и температуры за вегетационный период 2010–2011 гг.

Дальнейшая вегетация также проходила в оптимальных метеоусловиях, среднемесячная температура была около $+25-26$ °С (рисунок 25). Концентрация клеточного сока (ККС) флешей колебалась в диапазоне 6,3–7,2 %. При этом практически на всех вариантах с почвенным внесением изучаемых элементов были отмечены более низкие значения ККС (на 0,5–0,7

%) по сравнению с контролем. В конце первой волны побегообразования (середина июня) ККС флешей по вариантам опыта колебалась в пределах 7,0–7,8 %, что свидетельствовало об очень хорошей водообеспеченности растений чая. Стрессовые условия для чая, связанные с высокой температурой и засухой, были отмечены только в третьей декаде июля, но были непродолжительными. На начало нарушения водного режима указывал рост ККС флешей до значений 9,8–11,0 %. Осадки, равномерно распределенные по месяцам в течение вегетации, способствовали и равномерному поступлению чайного листа в моменты сбора. За вегетационный период было проведено 7 сборов, первый сбор проведен 18 мая, последний – 19 сентября.

Урожайность чайной плантации на фоне различных агросхем варьировала в 2011 году в диапазоне 5,86–9,11 т/га (таблица 14).

Таблица 14 – Урожай чайного листа при применении макро- и микроэлементов в благоприятные 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 (среднеквадратическое отклонение / средняя арифметическая * 100), %.

Минимальные значения урожайности зафиксированы на фоне применения только макроудобрений N240P70K90, а также с добавлением к этой агросхеме кальцийсодержащего удобрения (таблица 14). Максимальная урожайность отмечалась при внесении в почву цинка, магния и бора, а также их смеси на фоне N240P70K90. Наиболее существенные прибавки к урожаю

отмечены при внесении бора и магния: 3,25 и 2,37 т/га, соответственно, что составило 56 % и 41 % от контроля.

Зиму 2013 года можно охарактеризовать, как достаточно мягкую с непродолжительными заморозками до -2 °С. Среднемесячные температуры были выше многолетних данных, и составляли для января $+7$ °С, а для февраля $+9,5$ °С. Весенние месяцы также были довольно теплыми и влажными, количество осадков составило 243 мм (рисунок 26а). Таким образом, хорошие метеоусловия зимне-весеннего периода способствовали раннему и дружному началу вегетации чайных растений.

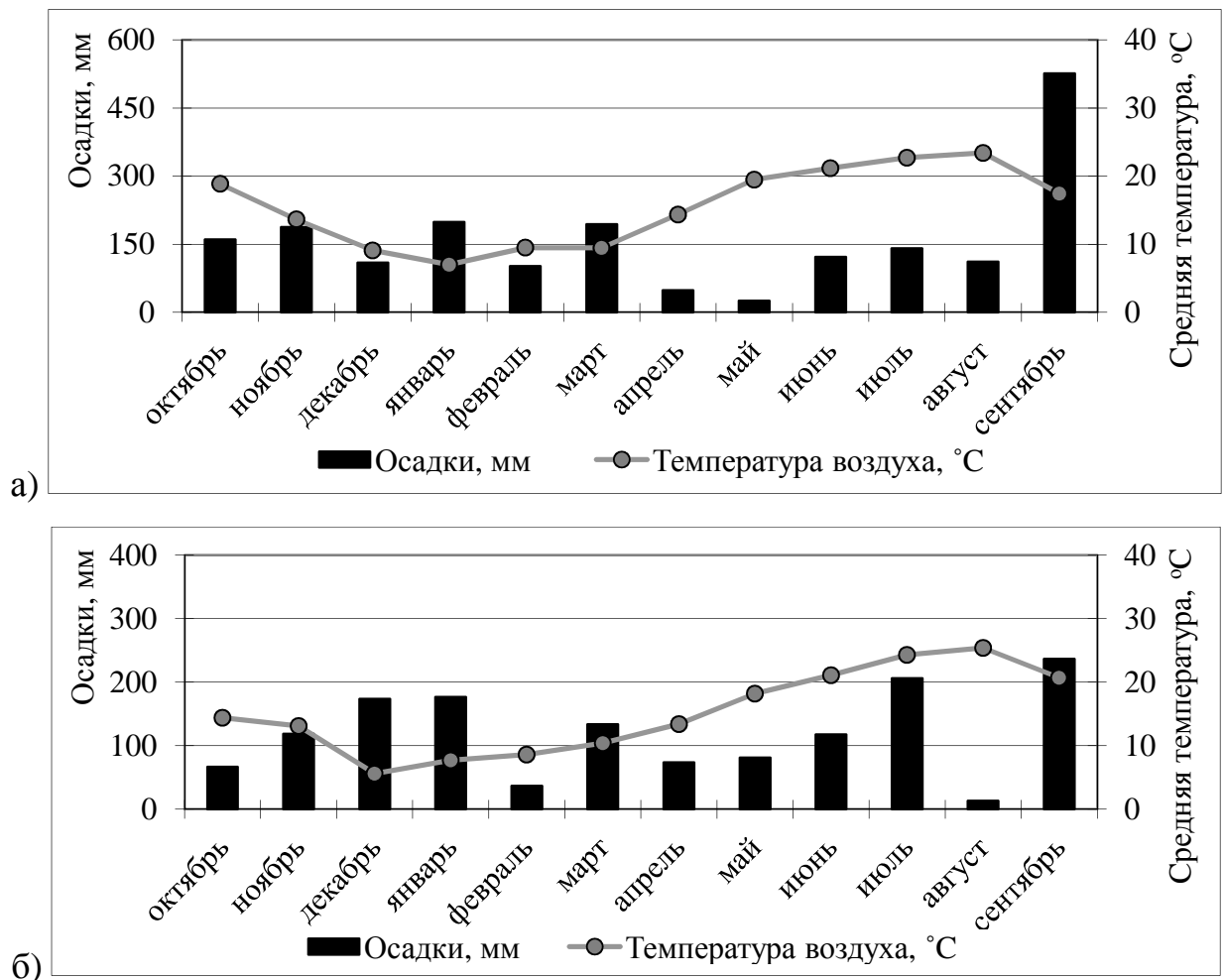


Рисунок 26 – Распределение осадков и температуры за вегетационный период: а) 2012–2013 гг.; б) 2013–2014 гг.

Дальнейшая вегетация проходила в оптимальных метеоусловиях, среднемесячная температура была около +21–23 °С. Отмечено обильное выпадение осадков в летние месяцы (374 мм) (рисунок 26а). Они были равномерно распределены по этим месяцам и способствовали активному росту чайного листа в период сбора. В течение всего вегетационного периода практически не отмечалось нарушение водного режима растений чая. Тем не менее, очень ранняя дождливая осень, с понижением среднесуточной температуры до 17,4 °С (с суточными колебаниями от 9,5 до 30 °С) привела к торможению дальнейших ростовых процессов, и к прекращению сборов во второй декаде сентября (рисунок 26а). За вегетационный период 2013 года было проведено 12 сборов чайного листа. Первый сбор проведен 6 мая, последний – 18 сентября.

В этих наиболее благоприятных метеоусловиях был собран урожай максимально близкий к потенциально возможному для чая сорта Колхида (около 10 т/га). На фоне различных вариантов с применением макро- и микроудобрений она изменялась в пределах 8,63–11,66 т/га (таблица 14). Максимальная урожайность была получена на вариантах с применением в почву цинка, совместного применения элементов (вариант смесь Zn+B+Mg), бора и кальция на фоне NPK для которых также отмечалась высокая побегообразовательная способность (рисунок 22, таблица 14). Наиболее существенные прибавки к урожаю отмечены при внесении бора и кальция, что составило 22 % и 24 % от контроля. В 2013 году впервые был выявлен значительный положительный эффект (повышение урожайности чайного листа) от применения кальцийсодержащего материала. На фоне предыдущего засушливого года, приведшего к существенной дегидратации растений, более эффективно процессы восстановления в зимне-весенний период с последующей существенной активизацией деятельности пигментного аппарата (содержание хлорофилла и каротиноидов) происходили на варианте с кальцием. Так, на фоне снижения содержания фотосинтетических пигментов в зрелом листе чайных растений в октябре–ноябре прошлого года

(2012 г.) отмечалось максимальное (по сравнению с другими вариантами) накопление хлорофиллов на этом варианте в марте следующего года, что видимо и явилось катализатором ростовых процессов растений (таблица 11, рисунок 27). Выявленный эффект возможно обусловлен тем, что, кальций выполняет функцию универсального вторичного мессенджера (является посредником в передаче сигнала внутри клетки) в усилении синтеза стрессорных белков и других защитных соединений, обеспечивающих устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды, а также последующий выход из этого состояния, в частности дегидратации (Uradhyaya et al., 2012).

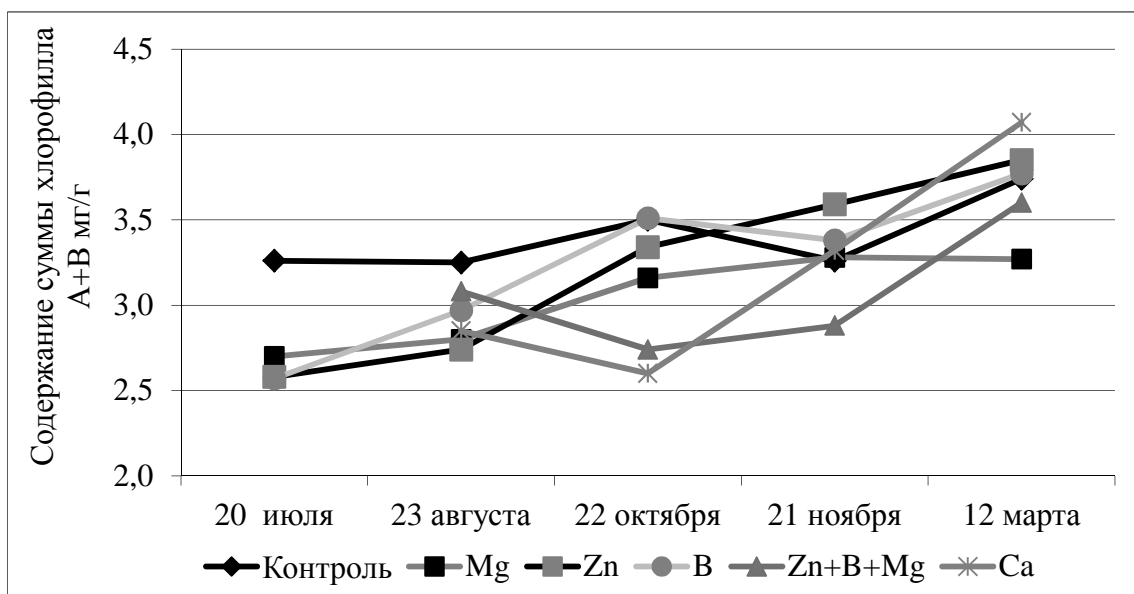


Рисунок 27 – Динамика содержания хлорофиллов в зрелых листьях чая 2012–2013 гг.

Более низкие значения урожайности в 2013 году были зафиксированы на варианте с магнием и на контроле. Снижение урожайности на варианте с внесением магния на 6 % являлось не типичным по сравнению с рядом предыдущих лет (не считая 2012 года) и коррелировало с характером активности фотосинтетического аппарата. Для растений этого варианта отмечался существенный спад содержания хлорофиллов в зрелом листе в

июле предыдущего года, а также минимальное по сравнению с другими вариантами содержание хлорофиллов в листьях в начале вегетационного периода 2013 г. (таблица 11, рисунок 27), что указывало на менее активное восстановление фотосинтетического аппарата (содержание хлорофиллов и каротиноидов) по сравнению с другими вариантами после существенной дегидратации растений в засушливом 2012 году. Следствием этого явилась также зафиксированная в отчетном году минимальная по сравнению с другими вариантами побегообразовательная деятельность растений (глава 4.2, рисунок 22).

Метеорологические условия в 2014 году характеризовались отсутствием отрицательных температур в зимний период и в целом мягкой зимой (рисунок 26б). Однако в марте отмечено возвращение холодов, понижение температуры до $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в третьей декаде, что привело к задержке побегообразования у растений. В этих условиях было проведено 8 сборов, первый – 22 мая и последний – 17 сентября. В 2014 году наиболее благоприятные условия для роста и развития чая были в период июнь–июль и по показателям среднемесячной температуры, и по сумме выпавших осадков (среднемесячные температуры $+21\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$ и обильное выпадение осадков 324 мм).

Второе стрессовое воздействие было зафиксировано в августе месяце, которое характеризовалось дефицитом осадков (13 мм) и высокой среднесуточной температурой воздуха ($25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) (рисунок 26б), с максимумом до $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ (приложение 3, таблица 3.4). В этих условиях отмечался рост ККС до значений 8,1–8,6 %, что, однако, не выходило за пределы критических.

Урожайность в этом году составила на различных вариантах опыта 6,51–9,56 т/га (таблица 14). Более низкие значения урожайности характерны для вариантов с применением магния и на контроле. Отрицательное влияние магния на урожайность отмечалось в течение последних 3 лет (2012–2014 гг.). Для этого же варианта выявлено подкисление ризосферного локуса почвы на 0,2 единицы $\text{pH}_{\text{КС1}}$ по сравнению с почвой, свободной от корней,

свидетельствующее об усилении синтеза кислых корневых экссудатов, направленных на корректировку эдафических условий. Этот же вариант визуально отличался меньшим количеством корней в слое 0–20 см, что, безусловно, являлось следствием применения сернокислого магния, который относится к осмотикам. Выявленный отрицательный эффект от применения магния определил переход к изучению последствий этого вида удобрений (с 2015 года).

Максимальной урожайностью в 2014 году (7,27–9,56 т/га) характеризовались варианты с внесением в почву цинка, кальция, бора, и совместное применение цинка, бора, и магния (вариант смесь) на фоне NPK. Прирост урожайности составил 0,76–3,05 кг/га или от 12 до 47 %.

2018 год отметился ранней теплой весной: среднесуточная температура в марте–апреле на 2 °С, и в первой декаде мая на 3 °С превышала те же периоды в предыдущем 2017 году исследований (рисунок 28а). В 2018 году наличие теплой весны, способствовало более раннему началу вегетации у растений чая, что позволило получить первые урожаи уже 18 апреля.

В летний период отмечено крайне неравномерное выпадение атмосферных осадков. Так в июне сумма атмосферных осадков составила 35,9 мм, тогда как обильное количество осадков в июле (199 мм) сформировало в августе более благоприятные условия для роста молодых побегов на чайных растениях (рисунок 28а). Концентрация клеточного сока, свидетельствующая о водном режиме растения, к концу июня была повышенной (около 10,0 %), и перед дождями в середине июля достигла критических значений (11,0–14,4 %). За вегетационный период было проведено 11 сборов, первый сбор чайного листа был проведён – 18 апреля, последний – 11 сентября. Более низкие значения урожайности характерны для вариантов с применением магния и на контроле. Максимальной урожайностью (6,21–6,47 т/га) характеризовались варианты с внесением в почву кальция, цинка, совместного применения бора, цинка и магния

(вариант смесь) и бор на фоне NPK (таблица 14). Прирост урожайности составил 1,64–1,91 т/га или от 26 до 44 %.

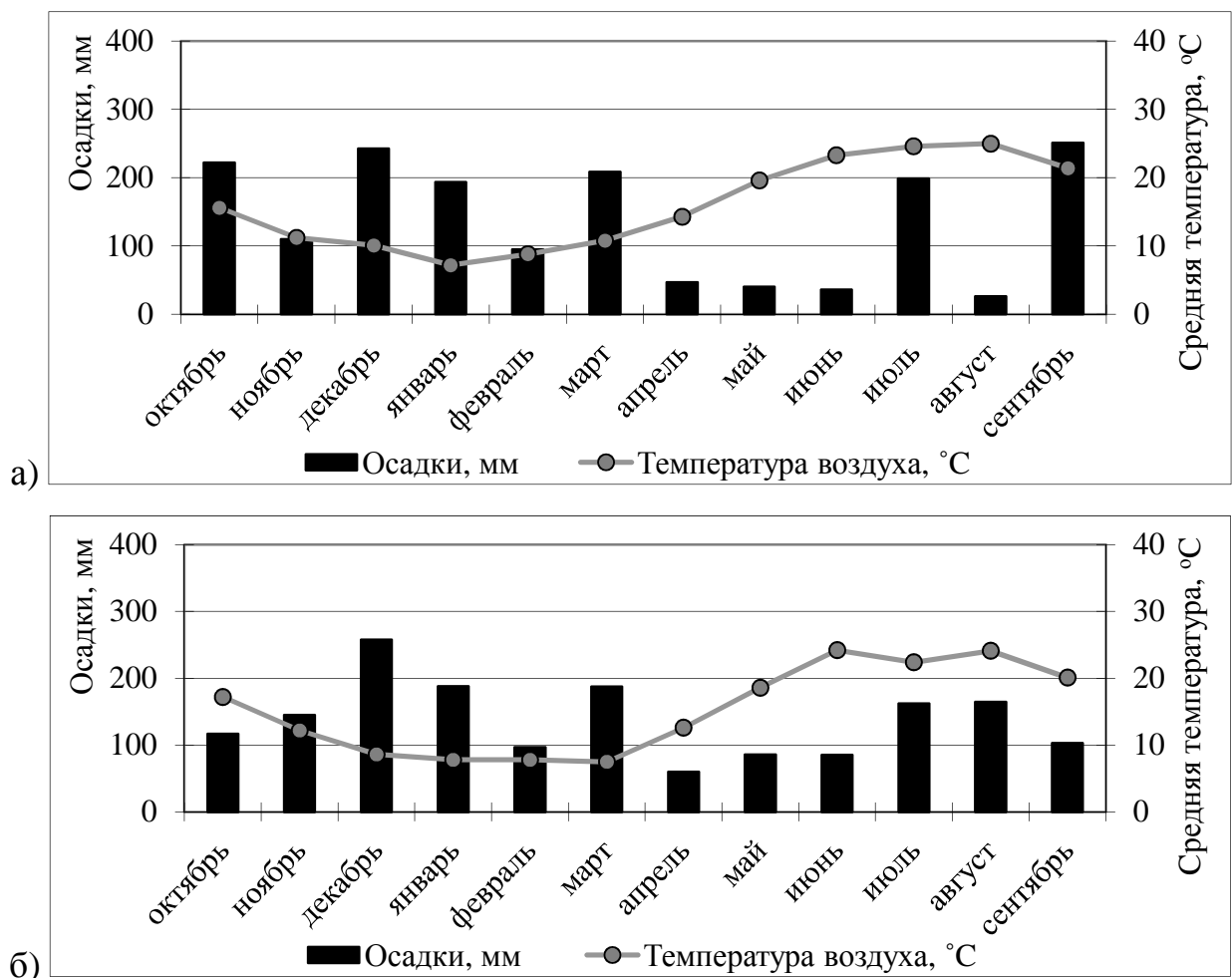


Рисунок 28 – Распределение осадков и температуры за вегетационный период: а) 2017–2018 гг.; б) 2018–2019 гг.

Осенне-зимний период 2018–2019 гг. характеризовался среднесуточной температурой воздуха близкой к многолетним показателям, но с абсолютным минимумом в марте до $-0,2$ °C и выпадением снега, что затормозило рост молодых побегов. Однако за счет теплых весенних месяцев, сбор зеленого чайного листа в 2019 году начался во второй декаде мая (рисунок 28б). За вегетационный период было проведено 9 сборов. Первый сбор чайного листа был проведен 15 мая, последний – 19 сентября, основной прирост урожая был сформирован в период май–июнь.

В июле среднесуточная температура варьировала от 14,0 °С до 31,2 °С на фоне выпадения значительного (не типичного для этого месяца) количества осадков (162,2 мм). В августе был отмечен рост среднесуточной температуры до 24,1 °С, количество осадков составило 165 мм. Схожий термический режим с незначительным снижением среднесуточной температуры был отмечен и в сентябре, с количеством осадков 103 мм (рисунок 28б). Концентрация клеточного сока, свидетельствующая о водном режиме растения, в июле была близка к норме (8,5–9,5 %), повышаясь в середине августа (9,0–10,4 %) и, снижаясь в первой декаде сентября до оптимальных значений 7,5 %. Ливневые дожди и большая сумма осадков в июле–сентябре (430 мм за 3 месяца) привели к торможению побегообразовательной деятельности растений уже в начале июля. Избыток воды вреден для растения, так как переувлажненные почвы обычно холоднее, в них происходит ухудшение аэрации и условий питания, что приводит к медленному росту кустов и слабому отрастанию флешей (Чхаидзе, 1979, Филлипов, 1971). В этих, обильных по увлажнению условиях, урожайность оценивалась как средняя, около 50 % от потенциально возможной для данного сорта; по вариантам опыта варьировала в пределах 4,45–6,11 т/га. Прослеживалось, как и в предыдущие годы, положительное влияние на урожайность применения кальция, в меньшей степени бора, однако различия по вариантам опыта были на грани достоверности (таблица 14). Прирост урожайности составил 0,77–1,18 т/га или от 15 до 21 %.

Таким образом, в благоприятные по метеорологическим условиям годы (2011, 2013, 2014, 2018, 2019) концентрация клеточного сока (ККС) флешей колебалась в диапазоне 6,3–10,3 %, отмечались лишь небольшие нарушения водного режима в июле–августе с кратковременным повышением ККС до 14 %. Урожай чая сорта Колхида в эти годы варьировал от 4,45 до 11,66 т/га, а в 2013 году был сопоставим с потенциально возможным для этого сорта в данной климатической зоне (10,00–11,00 т/га). В среднем в благоприятный по метеоусловиям период он

составил 6,20–8,26 т/га по вариантам опыта (таблица 15). Прирост урожая относительно контроля 1,08–2,06 т/га, вариабельность показателя по годам – 26–31 %. 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 15 – Средний урожай чайного листа при применении макро- и микроэлементов за период исследований, 2011–2020 гг., т/га

Вариант	Благоприятный период 2011, 13, 14, 18, 19 гг.	Неблагоприятный период 2012, 15, 17, 20 гг.	За период 2011-2020 гг.	V, %
Контроль	6,20±1,82	3,37±0,82	4,94±2,03	41
Mg	6,63±1,84	2,97±0,85	5,00±2,38	48
Zn	7,28±1,88	3,59±1,24	5,64±2,48	44
B	8,26±2,32	3,76±1,17	6,26±2,97	47
Zn+B+Mg	8,20±2,32	3,71±1,10	6,20±2,95	48
Ca	7,72±2,37	3,90±1,44	6,02±2,76	46

Примечание: V – коэффициент вариации по годам (среднеквадратическое отклонение / средняя арифметическая * 100), %.

Урожай чайного листа в неблагоприятных метеорологических условиях. За изученный 10 летний период годы с разными неблагоприятными метеоусловиями для культуры чая были отмечены 4 раза, среди которых 1 год характеризовался экстремально засушливыми условиями, что согласуется с данными за более длительный 25-летний период (Малюкова, 2014). Однако в десятилетних периодах (1986–1990 гг.; 1991–2000 гг.; 2001–2010 гг.; 2011–2020 гг.) наблюдений за погодными условиями на Черноморском побережье России, начиная с 1986 года, наблюдается тенденция к увеличению частоты появления засушливых лет.

В сложных метеорологических условиях на фоне внесения макро- и микроудобрений урожай был низким для культуры и варьировал по

вариантам опыта от 2,97 до 3,93 т/га (таблица 15). Снижение урожая чайного листа составило 32–41 % по сравнению со средними показателями для полновозрастной плантации за период 2011–2020 гг. (таблица 15), 46–55 % по сравнению с благоприятными периодом и 60–70 % от потенциально возможной урожайности 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 от внесения бора и цинка, прибавка на этих вариантах составила от 0,21 до 0,53 т/га, или 7–14 % по отношению к контролю (таблица 15). Вариабельность урожая для вариантов опыта за этот период составила от 24 до 37 %.

Таблица 16 – Урожай чайного листа при применении макро- и микроэлементов в неблагоприятный период, т/га

Вариант	Год наблюдений				V, %
	2012	2015	2017	2020	
Контроль	2,61	2,90	4,47	3,51	24
Mg	2,12	2,59	4,12	3,05	29
Zn	2,27	2,92	5,07	4,07	35
B	2,70	3,03	5,30	4,00	31
Zn+B+Mg	2,74	3,22	5,27	3,60	30
Ca	2,16	4,04	5,68	3,73	37
НСР _{0,05}	0,46	0,52	0,68	0,69	-

Примечание: V – коэффициент вариации по годам (среднеквадратическое отклонение / средняя арифметическая * 100), %.

Исследования 2012 года проведены на чайной плантации 29-летнего возраста (9й год ведения опыта). Метеорологические условия для культуры чая в этом году оценивались как неблагоприятные (рисунок 29а). Отмечено проявление отрицательных температур в зимний период до $-4,5$ °C с выпадением осадков в виде снега. Месяц март можно охарактеризовать как довольно холодный, среднемесячная температура была около $+4,0$ °C, что существенно ниже средней многолетней для этого месяца. В целом снежная и прохладная зима, и довольно нетипичный холодный март привели к замедлению ростовых процессов у чая, и наступление первых признаков

вегетации было отмечено в середине апреля, что на месяц позже установленных сроков. Не типичным стал и май месяц. Наблюдалось резкое повышение температуры в этот период, фактическая средняя температура месяца по данным наблюдений $18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, отклонение от нормы составило $+2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вариабельность суточной температуры находилась в диапазоне от $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+31,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (приложение В, таблица 3.2 и таблица 3.10). Более высокой среднемесячной температурой отмечен и период июнь–август, когда она была на $+1,0\text{--}1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше, чем в прошлом году (рисунок 29а). Летом наблюдался более длительный период с температурами выше $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$, который начался со 2 декады мая и продлился до середины октября. Нарушение водного режима растений чая наблюдалось со второй половины июня. Концентрация клеточного сока (ККС) флешей чая, которая находится в тесной зависимости от гидротермических условий, в этот период составляла $9,2\text{--}10,8\%$ (оптимум $8\text{--}9\%$). В июле, в период усиливающейся засухи, высокой температуры и солнечной инсоляции, ККС достигла $11,8\text{--}13,8\%$. Это обусловило снижение интенсивности ростовых процессов и массовое появление глухих побегов у растений на всех вариантах опыта. Неравномерное выпадение осадков по декадам в течение нескольких месяцев, на фоне высоких температур, а также крайне низкое суммарное количество осадков за период апрель–сентябрь ($403,5\text{ мм}$) привело к неравномерному поступлению к сбору чайных флешей, и довольно продолжительному периоду летнего покоя у растений. Низкая влажность воздуха, резкий перепад дневных и ночных температур воздуха, разница между которыми была в $2\text{--}2,5$, а иногда и в 3 раза, приводили к выпадению утренней росы, на поверхности чайных шпалер. Роса в свою очередь, под действием солнца испарялась, оставляя ожоги на листьях чая, что усугубляло стрессовое положение растений в летний период. За вегетационный период было проведено 6 сборов, из них только первый майский сбор по объему был полноценным, соизмеримым с урожаем в благоприятные годы. Остальные сборы были не типичными (единичное побегообразование), и

осуществлялись для поддержания активности ростовых процессов и листосборной поверхности чайных шпалер. Первый сбор чайного листа был проведен 30 мая, последний 29 сентября.

Урожайность чайной плантации в этих достаточно экстремальных метеоусловиях на фоне различных агросхем с применением макро- и микроудобрений варьировала в диапазоне 2,12–2,74 т/га (таблица 16). Более высокой урожайностью характеризовались варианты с внесением в почву бора, совместного применения бора, цинка и магния (вариант смесь Zn+B+Mg) на фоне N240P70K90, а также контроль. Прирост урожайности на вариантах составил 0,09–0,13 т/га или от 4 до 5 % по отношению к контролю. Минимальные значения урожайности зафиксированы на фоне применения макроудобрений N240P70K90 с дополнительным внесением магния.

Зиму 2015 года можно охарактеризовать, как относительно теплую с непродолжительными заморозками до $-2,9$ °C. Среднемесячные температуры были выше многолетних данных, и составляли для января $+6,8$ °C, а для февраля $+9,0$ °C (рисунок 29б). Месяц март можно охарактеризовать как довольно теплый, среднемесячная температура была около $+9,6$ °C, что существенно выше средней многолетней для этого месяца. Не типичным стал и апрель месяц, отмечены минимальные температуры $+0,8$ – $3,1$ °C. В целом сочетание довольно нетипичного теплого марта и прохладного апреля привело к замедлению ростовых процессов у чая, наступление первых признаков вегетации было отмечено в конце апреля, что на месяц позже установленных сроков.

Со второй декады мая и до конца сентября наблюдался период со среднесуточными температурами выше $+27$ °C, и с крайне неравномерным выпадением осадков, что привело к неравномерному поступлению урожая чайных флешей, и к полной остановке роста флешей уже в первой декаде августа (рисунок 29б). За вегетационный период было проведено 5 сборов. Первый сбор чайного листа был проведен 28 мая, последний 7 августа.

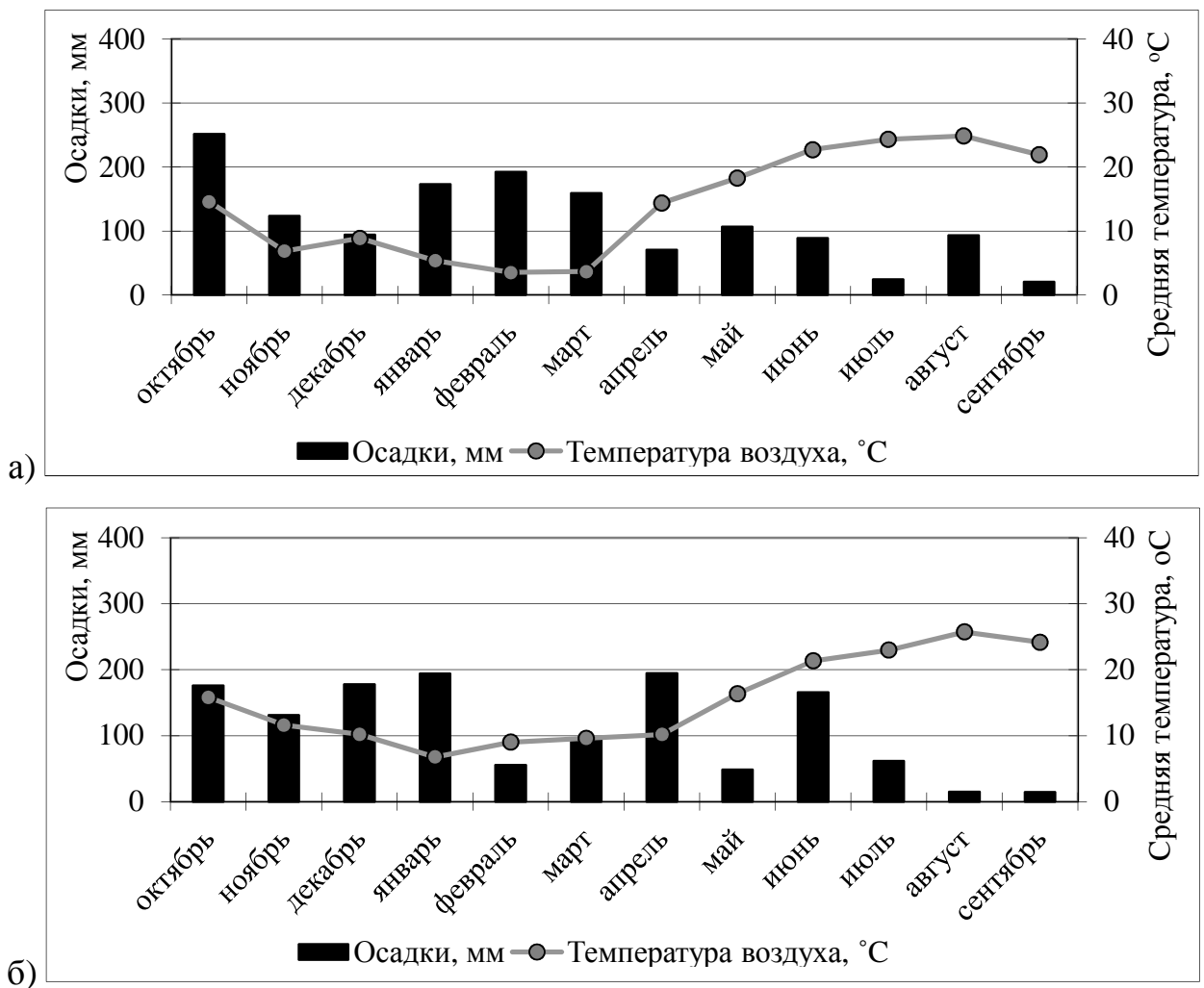


Рисунок 29 – Распределение осадков и температуры за вегетационный период: а) 2011–2012 гг.; б) 2014–2015 гг.

Уже в июле ККС на отдельных вариантах опыта выходила за норму (рисунок 30). К середине августа в условиях почвенно-воздушной засухи ККС уже достигла 13 %, которая к 1-й декаде сентября возросла до 15 % и выше, что привело к завяданию флешей. Для варианта с магнием выявлена рекордно высокая ККС (19 %), приведшая к морфологическим изменениям мезоструктуры листьев растений, что визуальнo проявлялось в их необратимом завядании. При этом вариант с применением бора характеризовался минимальными значениями ККС в сравнении с другими вариантами. Сложившиеся условия обусловили замедление ростовых процессов уже в начале августа, массовое появление глухих побегов у растений чая и прекращение сбора урожая.

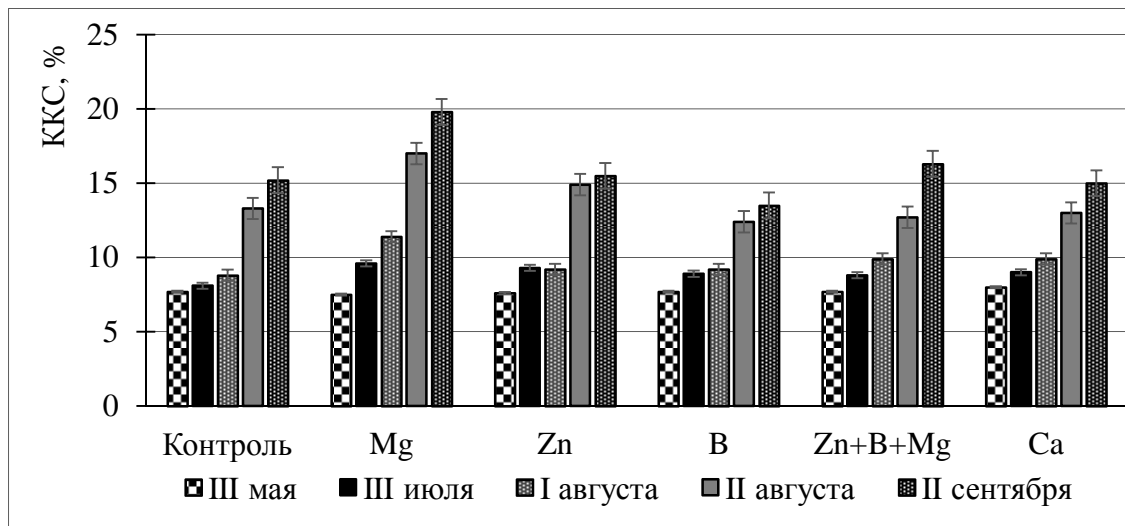


Рисунок 30 – Динамика концентрации клеточного сока 3-листной флешы чайного растения при внесении биогенных элементов, 2015 г.

Урожайность по вариантам варьировала в пределах 2,59–4,04 т/га (таблица 16). Более низкие значения характерны для вариантов с применением магния и контроль. Максимальной урожайностью (3,22–4,04 т/га) характеризовались варианты совместного применения элементов (вариант смесь Zn+B+Mg) и с внесением кальция на фоне NPK. Прирост урожайности на них составил 0,32–1,15 т/га или от 11 до 40 %. Зафиксированный в предыдущие годы положительный эффект от применения бора и цинка (Малюкова и др., 2012, Малюкова, 2014; Великий, 2014), проявляющийся в росте количества побегов и, соответственно, урожайности в текущем году не был достоверен.

Осенне-зимний период 2016–2017 года характеризовался низкой среднесуточной температурой воздуха, с абсолютным минимумом до $-5,4$ °С. Возвращение низких температур в третью декаду марта, а также апреля (2,2 и 3,8 °С, соответственно) привело к угнетению ростовых процессов у растений чая, и более позднему началу активной вегетации – в середине 2 декады мая (рисунок 31а). Несмотря на это, основной прирост урожая был сформирован в период май–июнь. За вегетационный период было проведено 9 сборов, из которых только первый и второй сбор в мае был полноценным. Остальные сборы были не типичными (единичное побегообразование), молодая флешь

отрастала не равномерно. Первый сбор чайного листа был проведен 17 мая, последний 10 августа.

В июне количество атмосферных осадков составило 84,6 мм. В июле среднемесячная температура повысилась до 24,3 °С (с вариацией среднесуточных температур от 17 °С до 37 °С (приложение В, таблица 3.6), количество осадков приблизилось к критическому (68 мм), в августе был отмечен дальнейший рост среднемесячной температуры до 25,9 °С, количество осадков составило 33 мм. Схожий термический режим с незначительным снижением среднемесячной температуры был отмечен и в сентябре, с количеством осадков 49 мм (рисунок 31а). Концентрация клеточного сока, свидетельствующая о водном режиме растения, к концу июня была близка к норме (около 9,0 %), в конце июля достигла критических значений (10–11%), а в первой декаде августа составила 13,8 %.

В дефицитных по увлажнению условиях, урожайность оценивалась, как средняя, около 50 % от потенциально возможной для данного сорта, и по вариантам опыта варьировала в пределах 4,12–5,68 т/га (таблица 16). Прослеживалось, как и в предыдущие годы, положительное влияние на урожайность применения кальция, бора, в меньшей степени смеси элементов (Zn+B+Mg) и цинка, прирост составил 0,60–1,21 т/га или от 15 до 23 % по отношению к контролю. Однако различия между этими вариантами опыта были на грани достоверности (таблица 16).

Метеорологические условия 2020 года в ряду последних 10 лет являются уникальными по дефициту суммы осадков – около 1000 мм за год, и 346 мм за вегетацию (март–сентябрь). Однако следует отметить, что за последний 25 летний период наблюдений были похожие годы: 1986 г. – 1006 и 411 мм, и 1998 г. – 1181 и 381 мм (Малюкова, 2014). По сравнению с 2012 годом, одним из засушливых в последние 10 лет наблюдений (за период 2011–2020 гг.), в 2020 году количество осадков за год было меньше на 350 мм. Зимний период 2019–2020 года характеризовался низкой среднемесячной температурой воздуха, с абсолютным минимумом в феврале, когда

минимальная температура была зафиксирована на отметке $-7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рисунок 31б). Однако за счет теплых весенних месяцев, сбор зеленого чайного листа начался в первой декаде мая. За вегетационный период было проведено 6 сборов, первый сбор чайного листа – 7 мая, последний – 5 августа.

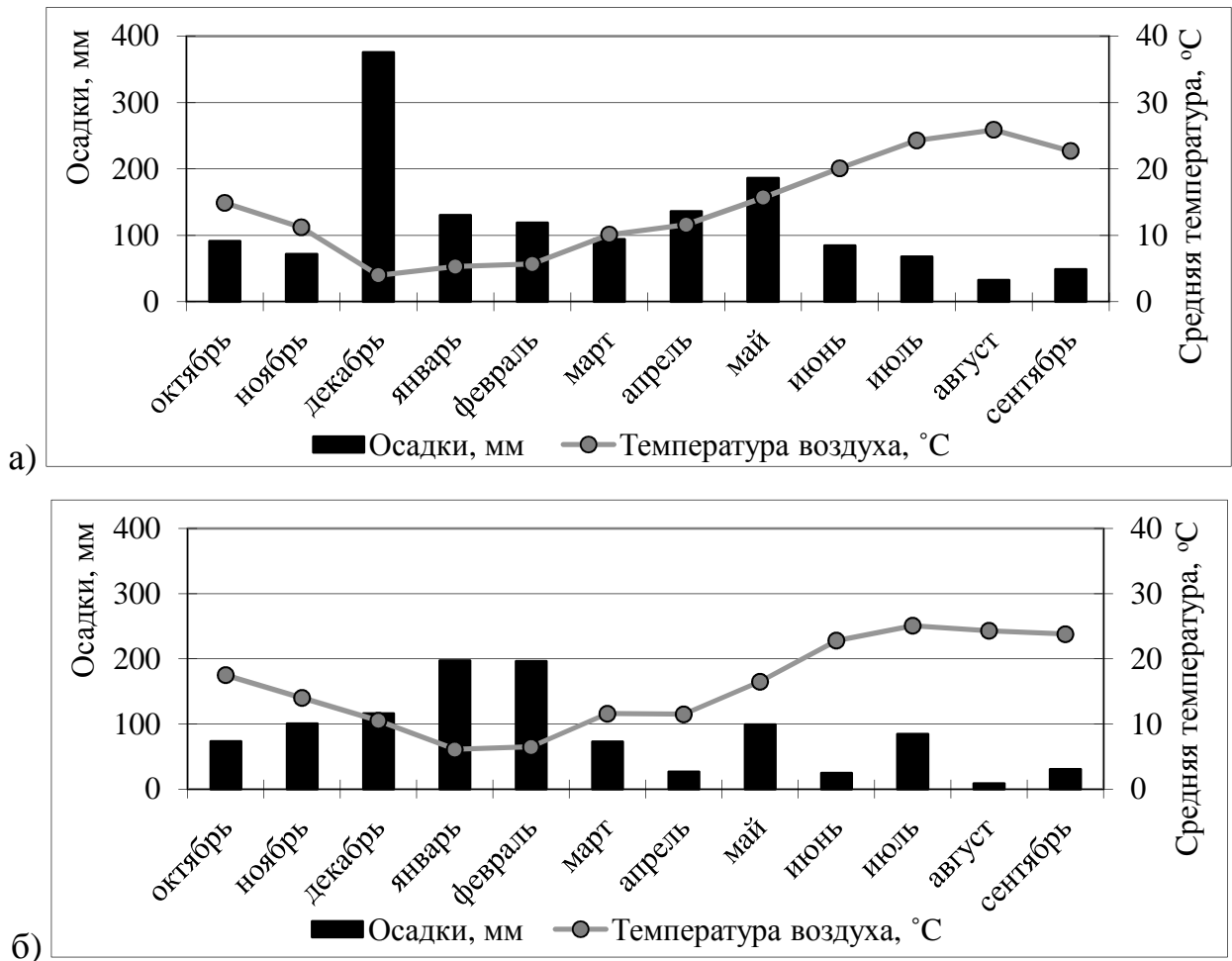


Рисунок 31 – Распределение осадков и температуры за вегетационный период: а) 2016–2017 гг.; б) 2019–2020 гг.

В июле 2020 года среднемесячная температура воздуха составила $25,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с вариацией среднесуточных в течение суток от $17,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $33,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), количество осадков приблизилось к критическому (84 мм), в августе рост среднесуточной температуры прекратился, однако количество осадков составило всего 8,5 мм (рисунок 31б). Сумма осадков в течение июня–августа была в 2,3 раза ниже, чем средние показатели этого периода за 2011–2020 год, и в 3,5 раза ниже, чем в 2019 году (рисунок 31б). В виду отсутствия

дождей полевая влажность почвы составила 24 %, а местами она снизилась до 19 %, что отразилось на всех физиологических процессах растений чая. Концентрация клеточного сока, свидетельствующая о водном режиме растения, в начале июня была близка к норме (около 9 %), в июле уже достигла критических значений (13,5–15,0 %), и в первой декаде августа достигла максимума в 19–20 %.

Суммарная урожайность в сложных метеорологических условиях 2020 года на фоне внесения макро- и микроудобрений была низкой для культуры и варьировала по вариантам опыта от 3,05 до 4,07 т/га (таблица 16). Снижение урожайности чайного листа составило 28–42 % по сравнению со средними показателями по опыту за период 2011–2019 гг. (таблица 16). В 2020 году, как и в предыдущие годы, прослеживалось положительное влияние на урожай чайного листа от последствия цинка, а также внесение бора, и в меньшей степени внесение кальция, прибавка на этих вариантах составила от 0,22 до 0,56 т/га, или 6–16 % от контрольного варианта (таблица 16).

Сравнительный анализ урожайности в годы с неблагоприятными метеоусловиями показал, что в 2012 году она была самая низкая (менее 3 т/га), а в 2017 году по отдельным вариантам опыта она составила около 5 т/га (таблица 16). Это связано не только с недостаточным и неравномерным выпадением осадков в течение вегетационного периода, но и с низкими температурами зимне-весеннего периода. Однако в критический по водопотреблению период для культуры чая июнь–август, как показали наблюдения, потери урожая только от засухи составили до 50–60 %, что ещё раз свидетельствует о лимитирующем факторе суммы осадков для успешного возделывания чайных плантаций на Черноморском побережье России. В годы, характеризующиеся неблагоприятными погодными условиями, 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 о наступлении почвенной засухи. В

таких условиях потеря урожая составила 65–70 %, относительно лет с благоприятными условиями.

В изученном периоде (2011–2020 гг.) был выделен 2016 год, в котором в феврале провели омолаживающую подрезку чайных шпалер на двухлетнюю древесину. При этом был удален весь прошлогодний прирост и срезана почти вся облиственная поверхность куста. Начало сбора чайного листа отодвинулось по сравнению с обычным почти на месяц (конец первой декады июня в сравнении с началом мая). Для восстановления облиственности шпалер при сборе урожая на растущем побеге оставляли два листа после рыбьего. За вегетационный период было проведено 8 сборов, некоторые из них были выравнивающими. Первый сбор чайного листа был проведен 7 июня, последний 26 августа.

Зимний период 2015–2016 года характеризовался низкой среднесуточной температурой воздуха, с абсолютным минимумом в январе, когда минимальная температура была зафиксирована на отметке $-7,3$ °C (рисунок 32). Наблюдалось возвращение низких температур в третью декаду марта, а также апреля ($0,1$ и $3,7$ °C, соответственно).

В июне количество атмосферных осадков составило 69,4 мм. В июле среднемесячная температура повысилась до $23,8$ °C (с вариацией среднесуточных от $17,3$ °C до $31,6$ °C), с обильным выпадением осадков 122,2 мм, в августе был отмечен дальнейший рост среднесуточной температуры до $25,9$ °C, количество осадков составило 64 мм. Отмечена ранняя дождливая осень с понижением среднесуточной температуры до $19,5$ °C (с суточными колебаниями от $8,2$ до $29,4$ °C) (рисунок 32).

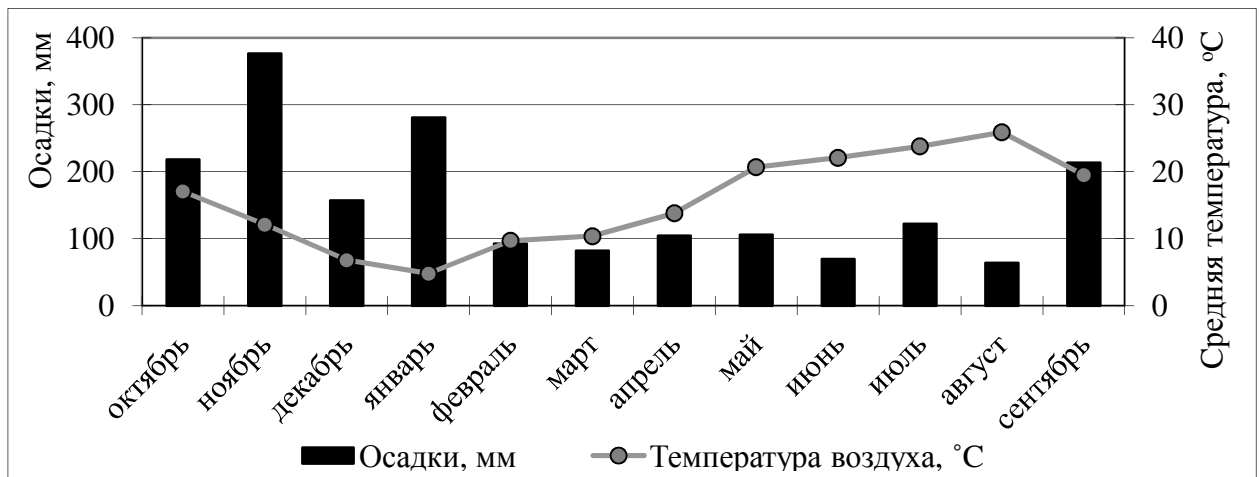


Рисунок 32 – Распределение осадков и температуры за вегетационный период 2015–2016 гг.

На фоне подрезки урожай чая при ручном сборе в 2016 году составил на разных вариантах опыта от 3,42 до 4,91 т/га, что на 40–50 % ниже средних многолетних показателей для полновозрастной плантации (рисунок 33). Ранее в опыте с применением различных схем и доз макроудобрений после подрезки также отмечалось значительное снижение урожайности чайной плантации на 40–80 %, однако на следующий год она восстановилась в полном объеме (Великий, 2010).

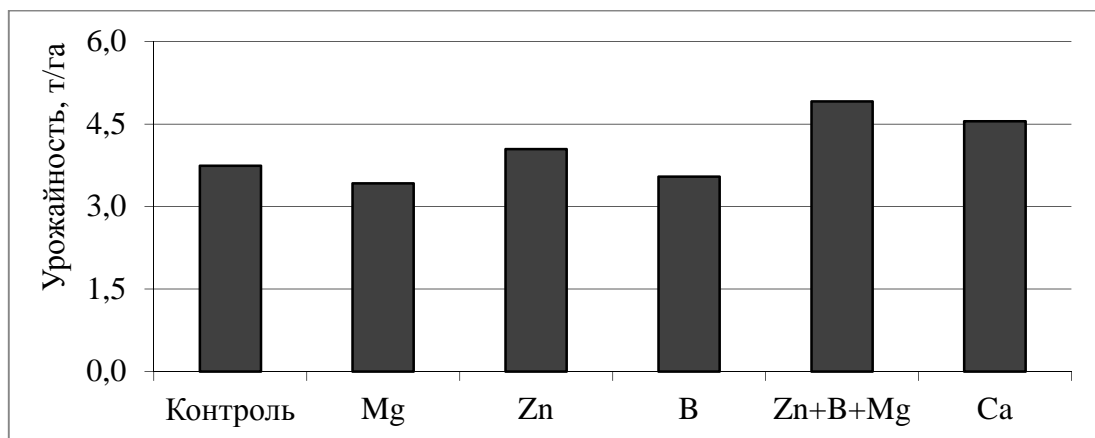


Рисунок 33 – Урожайность чайной плантации после омолаживающей подрезки на двухлетнюю древесину в 2016 году

Наблюдаемое снижение урожая связано с поздним началом флешеобразования и, соответственно, потерей самых продуктивных первых

майско-июньских сборов, составляющих большую долю (44–65 %) в годовом урожае. Самая низкая урожайность отмечалась на варианте с внесением магния, а также на контрольном варианте. Наиболее высокая урожайность получена на вариантах опыта по совместному применению смеси элементов (Zn+B+Mg), а также на варианте с внесением Ca-содержащего вещества. Прибавка урожая на этих вариантах составила 1,17 и 0,81 т/га, или 33 и 17 % от контрольного варианта (рисунок 33).

Анализ по периодам сбора чайного листа детализировал особенности формирования урожая и роль в этом вносимых биогенных элементов. Основная доля урожая в благоприятных условиях формировалась достаточно равномерно, главным образом в период мая–начала августа (таблица 17), с некоторым преимуществом майских сборов (до 30%).

Таблица 17 – Урожайность чая сорта Колхида по периодам сборов, т/га

Месяц сбора	2011 г.*			2013 г.*			2015 г.**		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Май	2,31	3,97	2,11	2,4	3,15	3,10	0,47	0,65	0,94
Июнь	0,45	0,57	0,72	2,20	2,56	2,62	1,04	1,24	1,61
Июль	1,80	3,05	1,99	1,80	2,35	2,69	0,42	0,39	0,65
Август	0,72	1,34	1,04	2,02	2,60	2,58	0,96	0,75	0,85
Сентябрь	0,59	0,17	0,47	0,50	0,94	0,68	0,0	0,0	0,0
Итого	5,86	9,11	6,37	9,15	11,56	11,66	2,90	3,03	4,04

Примечания: * – годы с благоприятными условиями; ** – с неблагоприятными условиями; 1 – контроль (фон), 2–фон + бор, 3 – фон +кальций.

Внесение борсодержащего удобрения обеспечивало стабильную прибавку урожая, и в наиболее благоприятные годы она составляла до 33 %. Также отмечено, что прибавку в 10–20 % можно получить от дополнительного внесения кальция, а после неблагоприятных лет вариант с применением кальция может давать прибавку до 30 %.

Роль кальция наиболее четко прослеживалась в период 2-й волны роста – вначале формирования неблагоприятных для растения погодных условий

(гипертермия, водный дефицит), когда отмечался более существенный прирост урожайности по сравнению с контролем (таблица 17). Так в 2013 году отмечено, что после засушливого 2012 года, растения чая на вариантах с внесением бора и кальция быстрее восстановились и дали в каждом периоде сборов среднем на 0,50 т/га больше по сравнению с урожайностью контрольного участка. В неблагоприятном по метеоусловиям 2015 году с длительным засушливым периодом (июнь–август) именно на варианте с внесением кальция наблюдалась наиболее высокая урожайность. В целом можно констатировать, что у растений этого варианта более высокий продуктивный потенциал и устойчивость к стрессовым условиям.

Таким образом, показано, что метеорологические условия являются ведущим лимитирующим фактором, влияющим на продуктивность растений чая. В неблагоприятные годы (по гидротермическому режиму), снижение урожайности чайного листа составило 32–41 % по сравнению со средними показателями для полновозрастной плантации за период 2011–2020 гг., 46–55 % по сравнению с благоприятными периодом и 60–70 % от потенциально возможной урожайности сорта. Положительное влияние цинка, кальция, смеси элементов (Zn+B+Mg) и бора в большей степени проявилось в оптимальные по метеоусловиям годы, где прирост урожайности составил 17–33%. В неблагоприятные годы наибольший прирост урожайности отмечен от внесения кальцийсодержащих удобрений – прибавка относительно контроля составила 16 %, на других вариантах прирост составил от 6 до 11 %. При этом отмечена положительная роль этого элемента в прохождении растениями чая стрессового периода и затем в более быстром их восстановлении.

За весь период 2011–2020 гг. средний урожай чая сорта Колхида находился в диапазоне 4,94–6,26 т/га, а в отдельные годы был сопоставим с потенциально возможной для этого сорта в данной климатической зоне (10–11 т/га). Многолетняя вариабельность показателей составила 41–48 %. Достоверное увеличение урожая в сравнении с контролем было получено на

вариантах с внесением цинка, кальция, совместного применения смеси элементов (Zn+B+Mg) и бора. Прирост урожайности в среднем на этих вариантах составлял 0,70–1,32 т/га или от 14 до 27 %.

В итоге, следует отметить, что даже в неблагоприятных метеорологических условиях урожайность чая опытного участка районированного сорта Колхида на высоком агротехническом фоне (применение удобрений) сохранялась на уровне средней многолетней по зоне Черноморского побережья Краснодарского края (около 3–5 т/га), что свидетельствует о важной роли сорта и удобрения в стабилизации продуктивности чайных плантаций.

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

5.1 Зрелые листья чая

Содержание химических элементов в растениях и отдельных его органах колеблется в широком диапазоне и зависит от многих факторов: биологических особенностей растений, физиологического состояния тканей, различной потребности в элементах питания в течение вегетации, типа почвы и уровня содержания в ней подвижных форм элементов, агротехники возделывания культур, объёма и видов применяемых удобрений, способов их внесения, температурно-влажностного режима почвы и воздуха и т.д. Условия сбора, хранения и технология производства растительного продукта, в частности чая, также могут оказывать существенное влияние на элементный состав готовых чаёв. Существенное варьирование химического состава чая усложняет задачу его анализа и стандартизации (Szymczucha-Madeja, 2012; Yashin, 2015).

На изучении валового содержания основных биогенных элементов в растениях основывается химическая диагностика их минерального питания (Церлинг, 1990). Так, в частности «листовая диагностика» по валовому анализу зрелых активно функционирующих листьев и флешей чая широко используется для оценки его обеспеченности (Пилипенко, 1994; Белоус, 2006; Малюкова, Козлова, 2010).

В целом выделяются 2 группы питательных элементов по способности вторичной реутилизации (Церлинг, 1978). Группа 1 – это главные химические элементы в жизнедеятельности растений: азот, фосфор, калий, магний, которые в силу своей необходимости способны к вторичной реутилизации (при недостатке оттекают из старых частей в молодые органы).

Группа 2 – это кальций, сера, железо, хлор и все микроэлементы, не способные к вторичной реутилизации в растении, в связи, с чем недостаток этих элементов проявляется, прежде всего, на молодых частях растения. Исходя из этого, а также на основе анализа информативности многолетней выборки элементного состава листьев чая в качестве индикаторного органа при оценке обеспеченности элементами 1-й группы (N, P, K, Mg) рассматривается физиологически зрелый лист (Малюкова и др., 2010). В условиях влажных субтропиков России это 5–6-месячный лист прироста текущего года, отобранный в сентябрьско–октябрьский период.

Макроэлементы. Содержание азота в зрелых листьях чайного растения, как правило, коррелирует с обеспеченностью почв этим элементом. Данные химического анализа зрелых листьев чая показали, что в среднем за 2011–2019 гг. содержание в них азота варьировало по вариантам опыта в июле от 3,18 до 3,39 %, снижаясь к августу до 3,04–3,31 %, что может быть связано со снижением доступности элемента при засухе. В осенний период содержание азота возвращалось практически к июльскому уровню (от 3,00 до 3,50 %), увеличиваясь в весенний период (десятимесячный лист) до интервала 3,14–3,61 % (таблица 18). В целом, это содержание оценивается как высокое и является следствием и отражением высокого уровня обеспеченности почв этим значимым биогенным элементом. По вариантам опыта в июле и августе наибольшее количество азота в листьях отмечено на контроле и варианте с применением магния. Самое низкое содержание азота отмечено в зрелых листьях июльского отбора на варианте с применением бора; для августовского отбора – на варианте с внесением кальция и смеси элементов Zn+B+Mg. Это является следствием более интенсивного оттока азота из зрелых листьев в ювенильные побеги в связи с формированием высоких урожаев (таблица 15), где его прибавка составила 0,70–1,32 т/га в сравнении с контролем. В сентябре и марте, по окончании листосборного периода, эта закономерность уже не прослеживалась, при этом сохранялись минимальные значения на варианте с бором (сентябрь) и кальцием (март).

Содержание азота в зрелых листьях также зависело от метеорологических условий и варьировало по годам. Более стабильным содержанием азота характеризовались листья в летний период (июль, август), в сентябре вариабельность этого показателя возрастала до уровня выше средней.

Таблица 18 – Диапазоны и среднее содержание азота (N) (%) в зрелых листьях чая сорта Колхида (2011–2019 гг.)

Вариант	Июль*		Август**		Сентябрь***		Март****	
Диапазон, %								
Контроль	3,00–3,90		3,20–3,50		2,70–4,30		3,00–3,70	
Mg	2,70–3,90		3,00–3,60		2,50–4,10		3,40–3,80	
Zn	2,70–3,90		3,00–3,30		2,90–4,20		3,10–3,70	
B	2,70–3,60		2,50–3,40		2,50–3,70		2,90–3,60	
Zn+B+Mg	3,10–3,20		2,70–3,30		2,70–4,30		3,00–3,60	
Ca	2,80–3,50		2,80–3,30		2,80–4,10		2,80–3,60	
Среднее / Вариабельность, %								
Контроль	3,31±0,34	10	3,28±0,15	5	3,39±0,80	24	3,23±0,49	15
Mg	3,39±0,57	17	3,31±0,28	9	3,24±0,83	26	3,61±0,28	8
Zn	3,20±0,52	16	3,11±0,14	4	3,49±0,65	19	3,28±0,43	13
B	3,14±0,36	11	3,11±0,50	13	3,01±0,64	21	3,19±0,37	12
Zn+B+Mg	3,18±0,05	2	3,04±0,29	10	3,50±0,79	23	3,28±0,45	14
Ca	3,28±0,29	9	3,05±0,20	7	3,43±0,63	18	3,14±0,43	14

Примечание: здесь и далее в таблицах 18–25 – *, **, ***, **** – 3-х, 4-х, 5-ти и 10-ти месячный возраст листа, соответственно.

Содержание фосфора и калия в зрелых листьях растений чая всех вариантов опыта характеризовалось, соответственно, как среднее и высокое (таблица 19 и 20), согласно градациям обеспеченности растений данными элементами (Малюкова, Козлова, 2010; Малюкова и др., 2010), что являлось результатом и в тоже время подтверждением высокого уровня обеспеченности ими почв. В течение вегетации содержание данных элементов в зрелых листьях при незначительных колебаниях сохранялось практически на постоянном уровне.

Таблица 19 – Диапазоны и среднее содержание фосфора (P₂O₅) (%) в зрелых листьях чая сорта Колхида, по периодам вегетации (2011–2019 гг.)

Вариант	Июль*		Август**		Сентябрь***		Март****	
Диапазон, %								
Контроль	0,46–0,61		0,40–0,59		0,46–0,57		0,46–0,56	
Mg	0,38–0,58		0,48–0,60		0,47–0,65		0,45–0,49	
Zn	0,38–0,63		0,53–0,61		0,50–0,66		0,46–0,61	
B	0,38–0,71		0,38–0,62		0,46–0,77		0,47–0,64	
Zn+B+Mg	0,37–0,59		0,38–0,56		0,48–0,71		0,44–0,52	
Ca	0,40–0,65		0,41–0,61		0,44–0,87		0,45–0,67	
Среднее / Вариабельность, %								
Контроль	0,54±0,06	11	0,53±0,09	17	0,52±0,06	11	0,50±0,02	3
Mg	0,50±0,09	17	0,52±0,07	14	0,57±0,09	16	0,47±0,03	6
Zn	0,53±0,10	18	0,57±0,04	7	0,57±0,08	15	0,51±0,01	2
B	0,55±0,12	22	0,52±0,11	20	0,59±0,16	28	0,54±0,03	5
Zn+B+Mg	0,50±0,10	19	0,48±0,09	20	0,71±0,12	20	0,48±0,06	12
Ca	0,53±0,09	17	0,52±0,09	17	0,63±0,22	35	0,55±0,05	9

Таблица 20 – Диапазоны и среднее содержание калия (K₂O) (%) в зрелых листьях чая сорта Колхида, по периодам вегетации (2011–2019 гг.)

Вариант	Июль*		Август**		Сентябрь***		Март****	
Диапазон, %								
Контроль	2,12–2,30		1,63–2,29		2,05–2,44		1,83–2,12	
Mg	1,85–2,44		1,75–2,76		2,15–2,21		2,07–2,26	
Zn	2,11–2,31		1,57–2,35		2,32–2,63		1,83–2,40	
B	2,25–2,50		1,65–2,38		1,79–2,39		1,90–2,54	
Zn+B+Mg	2,09–2,33		1,72–2,61		2,02–2,87		1,89–2,68	
Ca	1,99–2,28		1,60–2,26		1,99–2,27		1,74–1,79	
Среднее / Вариабельность, %								
Контроль	2,22±0,09	4	1,98±0,32	16	2,21±0,20	9	1,96±0,13	7
Mg	2,15±0,24	11	2,17±0,52	24	2,17±0,03	2	2,17±0,13	6
Zn	2,23±0,08	3	1,93±0,37	19	2,47±0,16	6	2,05±0,33	16
B	2,35±0,13	6	2,02±0,39	19	2,11±0,30	14	2,22±0,23	11
Zn+B+Mg	2,23±0,11	5	2,19±0,45	20	2,36±0,45	19	2,29±0,56	24
Ca	2,17±0,13	6	1,93±0,29	15	2,12±0,14	7	1,93±0,33	17

При небольшой вариабельности показателей существенных различий между вариантами опыта не установлено (таблица 19 и 20). При этом в летний период (июль–август), а также в марте отмечено снижение

содержания фосфора на вариантах с магнием и смесью элементов. В сентябре, по окончании вегетационного периода, листья растений на вариантах с кальцием и смесью элементов содержали более высокое количество фосфора.

Содержание кальция (CaO) в составе листьев чая колебалось по вариантам опыта в среднем от 0,73 до 0,79 % в июле, накапливаясь к осени до 0,83–1,10 % (таблица 21). На варианте опыта с внесением кальцийсодержащего вещества, а также цинка, в отдельные годы отмечена тенденция увеличения содержания кальция, как в листьях, так и во флешах.

Таблица 21 – Диапазоны и среднее содержание кальция (CaO) (%) в зрелых листьях чая сорта Колхида, по периодам вегетации (2011–2019 гг.)

Вариант	Июль*	Август**	Сентябрь***	Март****				
Диапазон, %								
Контроль	0,60–0,93	0,70–0,93	0,80–0,90	0,75–0,90				
Mg	0,60–0,80	0,30–0,89	1,00–1,30	0,60–0,90				
Zn	0,60–0,93	0,40–0,89	0,66–1,10	0,60–0,90				
B	0,50–0,93	0,40–0,89	1,00–1,30	0,60–1,10				
Zn+B+Mg	0,50–0,80	0,30–0,89	0,66–1,30	0,60–0,90				
Ca	0,60–0,93	0,80–0,88	0,80–1,20	0,60–1,00				
Среднее / Вариабельность, %								
Контроль	0,75±0,12	17	0,81±0,09	12	0,83±0,06	7	0,82±0,07	9
Mg	0,73±0,10	13	0,66±0,32	48	1,10±0,17	16	0,75±0,21	28
Zn	0,79±0,14	18	0,73±0,22	31	0,89±0,22	25	0,77±0,21	28
B	0,74±0,17	22	0,74±0,23	31	1,10±0,17	16	0,78±0,35	45
Zn+B+Mg	0,75±0,13	19	0,66±0,32	48	0,95±0,32	34	0,75±0,21	28
Ca	0,77±0,12	16	0,82±0,04	5	1,00±0,20	20	0,80±0,28	35

Содержание магния (MgO) в зрелых листьях находилось в среднем в пределах 0,27–0,49 %, незначительно различаясь по вариантам опыта и поддерживаясь на этом уровне в течение вегетации (таблица 22). В отдельные периоды (июль, август) отмечена тенденция повышения магния в листьях на варианте с внесением магния. Данные тенденции отмечены на фоне повышения содержания обменных кальция и магния в верхнем

почвенном слое вариантов опыта с внесением в почву кальций- и магниесодержащих удобрений (глава 3.2, таблица 4).

Таблица 22 – Диапазоны и среднее содержание магния (MgO) (%) в зрелых листьях чая сорта Колхида, по периодам вегетации (2011–2019 гг.)

Вариант	Июль*	Август**	Сентябрь***	Март****				
Диапазон, %								
Контроль	0,39–0,50	0,30–0,50	0,30–0,60	0,26–0,50				
Mg	0,30–0,60	0,40–0,50	0,30–0,60	0,42–0,50				
Zn	0,30–0,50	0,30–0,50	0,30–0,50	0,27–0,48				
B	0,30–0,50	0,30–0,50	0,20–0,40	0,23–0,60				
Zn+B+Mg	0,39–0,60	0,30–0,40	0,20–0,48	0,48–0,50				
Ca	0,30–0,50	0,30–0,50	0,24–0,30	0,27–0,48				
Среднее / Вариабельность, %								
Контроль	0,47±0,05	10	0,42±0,09	21	0,48±0,16	33	0,41±0,01	3
Mg	0,48±0,13	27	0,47±0,06	12	0,41±0,17	41	0,46±0,06	12
Zn	0,39±0,07	19	0,43±0,09	21	0,33±0,14	43	0,38±0,06	15
B	0,42±0,08	20	0,40±0,08	21	0,33±0,08	25	0,44±0,08	19
Zn+B+Mg	0,47±0,10	21	0,36±0,05	15	0,34±0,12	37	0,49±0,01	3
Ca	0,35±0,09	25	0,40±0,08	21	0,27±0,03	11	0,38±0,06	15

Таким образом, на данном этапе исследований, на фоне оптимального макроэлементного питания, достаточно высокой обеспеченности ими почв и растений чая, влияние изучаемых элементов на макроэлементный состав листьев и флешей чая не было явно выражено. В отдельных случаях оно прослеживалось опосредованно, влиянием на рост урожайности и, соответственно, выноса элементов питания. Так внесение бора, усиливая побегообразовательную способность растений чая, приводило к некоторому снижению содержания азота в растительных образцах. На варианте с внесением кальцийсодержащего материала проявился антагонизм между ионами кальция и аммония, отразившийся в снижении содержания азота во флешах.

Микроэлементы, в частности цинк (Zn) и медь (Cu) относятся к числу эссенциальных (жизненно необходимых) химических элементов, выступая не только как часть питания, но и как стимуляторы роста, влияющие на

нормальное развитие организмов (Кабата-Пендиас, 1989), что определяет необходимость изучения закономерностей поступления их соединений из почвы и накопления их в биомассе растений чая на фоне разного уровня обеспеченности почв.

Результаты проведенного исследования показали, что содержание цинка в зрелых листьях опытных растений чая в различные годы и периоды вегетации колебалось в широком диапазоне значений – от 13,5 до 33,9 мг/кг (таблица 23, рисунок 34), показывая сильное варьирование по годам исследований (до 15–35 % и более). Так, если в разные годы значения для одного и того же варианта опыта и периода отбора листа могли различаться на 10–18 мг/кг, то различия между вариантами в один год и период отбора листьев, как правило, не превышали 3–6 мг/кг. Выраженной тенденции или достоверного повышения содержания цинка в листьях на вариантах с внесением Zn-содержащих удобрений выявлено не было.

Таблица 23 – Диапазоны и среднее содержание цинка (Zn) в зрелых листьях чая сорта Колхида, по периодам вегетации (2012–2017 гг.)

Вариант	Зрелый лист					
	июль*		август**		март***	
Диапазон (мг/кг сухого веса)						
Контроль	14,1–31,7		20,1–27,4		25,7	
Zn	16,2–33,9		15,0–25,7		23,9	
Zn+B+Mg	11,8–27,3		19,7–23,8		20,3	
Среднее (мг/кг сухого веса) / Вариабельность, %						
Контроль	25,7±8,5	33	24,9±3,8	15	25,7	-
Zn	27,2±7,6	28	24,0±5,7	24	23,9	-
Zn+B+Mg	24,8±8,8	35	25,0±7,4	30	20,3	-

Содержание цинка в листьях в летний период (июль, август), как правило, было заметно ниже (в 1,2–1,6 раза, иногда более чем в 2 раза), чем его содержание в 3-листных флешах в эти же сроки, вне зависимости от варианта опыта, что связано с приоритетным поступлением цинка в молодые растущие побеги.

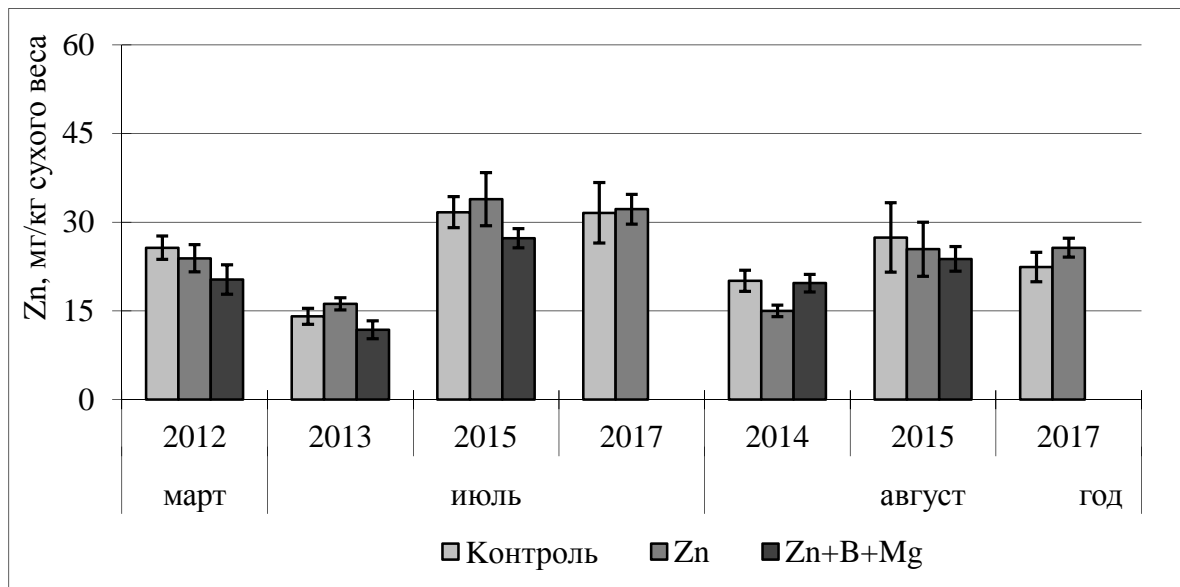


Рисунок 34 – Содержание цинка в зрелом листе чая в различные годы и периоды вегетации

Содержание меди в зрелых листьях опытных растений чая в различные годы и периоды вегетации колебалось в диапазоне значений от 6 до 23 мг/кг (таблица 24) и не выходило за пределы средних значений для большинства растений – от 0,5 до 30 мг/кг (Барбер, 1988) в том числе и чая (Белоус, 2006; Ercisli et al., 2008; Goncalves et al., 2015). Выявленный диапазон варьирования содержания меди в листьях в динамике нескольких лет может быть обусловлен особенностями поглощения растениями меди в различных метеорологических условиях, а также возрастом зрелого листа и состоянием растений при отборах. При этом в годы, которые характеризовались засушливым летним периодом (2015 г., 2018 г.) и, соответственно, низкой влажностью почвы, ожидаемого общего снижения меди в растениях не было установлено (рисунок 35).

Таблица 24 – Диапазоны и среднее содержание меди (Cu) в зрелых листьях чая по периодам вегетации, мг/кг (2012–2017 гг.)

Вариант	июль	август	март			
Диапазон (мг/кг сухого веса)						
Контроль	8,1–22,9	6,5–17,8	10,0–16,6			
Mg	7,9–9,5	6,6–11,5	6,1–15,4			
Zn	8,2–15,1	5,9–14,4	6,3–14,1			
B	5,5–11,0	6,2–22,7	4,9–17,2			
Zn+B+Mg	7,8–11,5	6,3–11,5	5,5–11,0			
Ca	6,9–14,4	6,6–14,8	6,9–14,6			
Среднее (мг/кг сухого веса) / Вариабельность, %						
Контроль	14,3±6,4	45	14,6±5,4	37	13,3±4,7	35
Mg	8,5±0,9	11	9,3±2,5	27	10,8±6,6	61
Zn	10,9±3,1	29	10,7±3,6	33	10,2±5,5	54
B	10,4±4,7	45	11,7±4,9	42	11,1±8,7	79
Zn+B+Mg	9,8±1,9	19	9,5±2,8	30	8,3±3,9	47
Ca	11,4±0,8	42	13,7±3,5	25	10,7±5,4	51

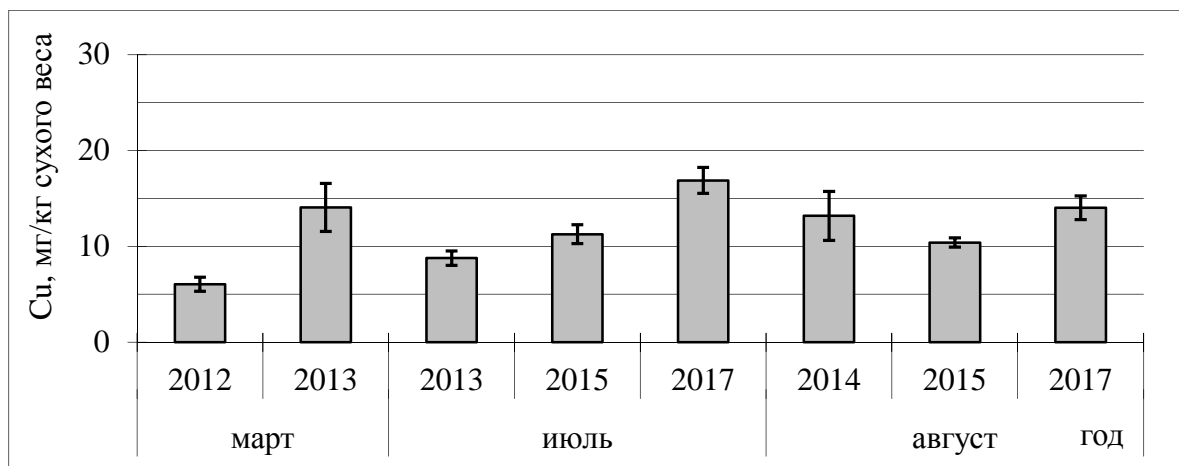


Рисунок 35 – Содержание меди (усредненные данные по опыту) в зрелых листьях чая в различные годы

В динамике вегетационного периода отмечено более высокое содержание меди в зрелых листьях 3–4 месячного возраста (июль–август) в сравнении с десятимесячными листьями (март) (таблица 24). Эта особенность поглощения и накопления меди в растущих листьях растений связана с известными закономерностями передвижения веществ в растении в

соответствии с осмотическим концентрационным градиентом между более молодыми и старыми частями растений.

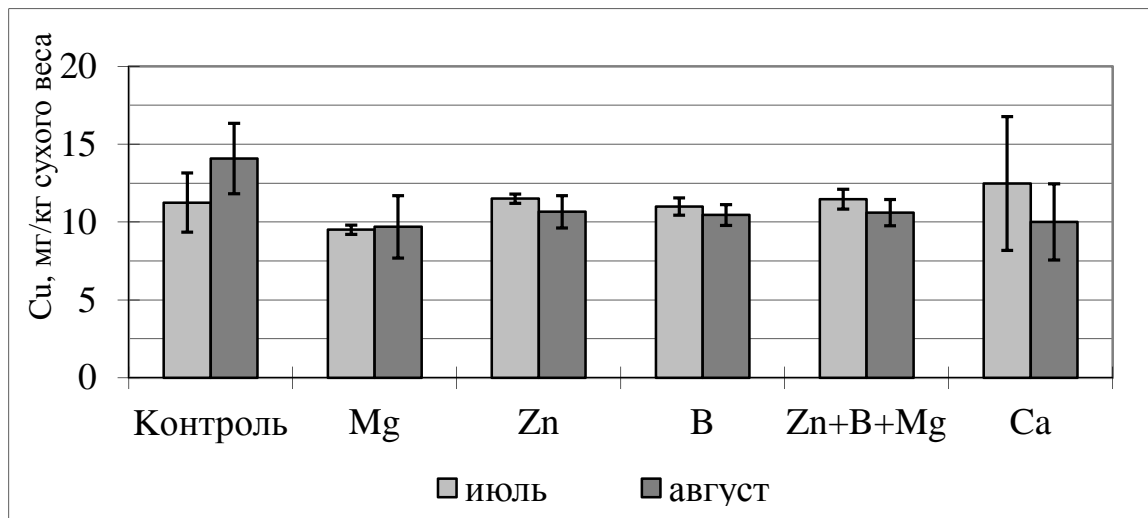


Рисунок 36 – Содержание меди в листьях чая по вариантам опыта в различные листосборные периоды (волны роста), 2015 г.

В целом, более высокое содержание меди в зрелых листьях было отмечено в растениях контрольного варианта (таблица 24, рисунок 36), в сравнении с другими вариантами. Для высокоурожайных вариантов (с применением бора, цинка, кальция и смеси элементов) возможен эффект вторичного разбавления за счет ускоренного роста листьев и молодых побегов. При корневом применении цинка, бора и кальция отмечена тенденция уменьшения концентрации меди в зрелых листьях чая, обусловленная силой роста побегов и механизмами конкурентного поглощения и передвижения элементов.

Чайное растение – манганofil и как все растения, содержащие таниды, оно накапливает очень большое количество марганца (Пилипенко, 1994; Малюкова, 1997; Белоус, Притула, 2008).

По нашим данным содержание марганца в зрелом листе колебалось от 1290 до 3274 мг/кг (таблица 25). По содержанию марганца в составе зрелых листьев чая наблюдалась тенденция накопления его в осенне-весенний период (1936 до 2883 мг/кг), а затем его снижение с марта по август до 1919–

2357 мг/кг. Наименьшее содержание марганца отмечено в листьях растений на варианте с бором, а максимальное в листьях контрольного варианта.

Таблица 25 – Диапазоны и среднее содержание марганца (Mn) в зрелых листьях чая по периодам вегетации, мг/кг (2012–2019 гг.)

Вариант	июль	август	сентябрь	март				
Диапазон (мг/кг сухого веса)								
Контроль	1580–2886	1516–3016	2870–2896	2294–3274				
Mg	1981–2902	1604–3183	2730–2471	1884–3071				
Zn	1453–2817	1461–2963	2254–3705	1919–3017				
B	1290–2561	1437–2718	2199–2444	1526–2494				
Zn+B+Mg	1400–2940	1442–2758	2058–2603	1901–2881				
Ca	1500–2874	1379–2638	2350–2380	1726–3262				
Среднее (мг/кг сухого веса) / Вариабельность, %								
Контроль	2217±507	23	2357±634	27	2883±18	1	2694±538	20
Mg	2356±398	17	2340±795	34	2601±184	7	2478±839	34
Zn	2082±580	28	2136±620	29	2479±319	13	2470±776	31
B	1919±547	29	1969±539	27	2322±173	8	1936±500	26
Zn+B+Mg	2184±695	32	2120±659	31	2331±385	17	2391±694	29
Ca	2083±580	28	2050±516	25	2365±21	1	2404±1086	45

Таким образом, установлено, что содержание основных макроэлементов в зрелых листьях чая отражает высокий уровень обеспеченности ими почв опытного участка. Содержание фосфора и калия в зрелых листьях достаточно стабильно в течение вегетации. Снижение содержания азота в сравнении с контролем выявлено на высокоурожайных вариантах (B, Ca, смесь), а в сезонной динамике – в летний период. Внесение кальций- и магнийсодержащих удобрений в почву отражалось на их содержании в листьях растений соответствующих вариантов, при этом проявлялось их антагонистическое влияние. То есть, 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.

Установлено, что содержание цинка и меди в зрелых листьях чая сорта Колхида зависело от почвенно-метеорологических условий, возраста и

функционального состояния растений. В динамике вегетационного периода отмечено более высокое содержание меди в зрелых листьях в июле–августе, а цинка и марганца в осенне-весенний период. При корневом применении цинка, бора и кальция отмечена тенденция уменьшения концентрации меди в зрелых листьях чая, а для марганца на варианте с бором, обусловленная силой роста побегов и механизмами конкурентного поглощения и передвижения элементов.

5.2 Ювенильные побеги (3-листная флешь) чая

Элементный состав 3-листной флешки чайного растения определяет не только пищевкусовые свойства чая, но и его безопасность для человека при употреблении напитка, поскольку в нем присутствуют многие элементы (Pb, Cd, As, Cu, Zn), относящиеся к разряду токсичных (Малюкова, 2014; Великий, Козлова, 2019; Великий, Малюкова, 2020).

Макроэлементы. Данное исследование показало, что по содержанию азота в составе 3-листных флешей чая наблюдалось закономерное (характерное для культуры) его снижение с мая по сентябрь. Так в среднем за 2011–2019 гг. в период майских сборов количество этого элемента составляло от 4,5 до 5,1 %, в июле находилось в пределах 3,8–4,3 %, в августе 3,9–4,2 %, и в сентябре составило 4,2–4,6 % (таблица 26). В течение всего вегетационного периода диапазон колебаний по содержанию азота во флешах практически не выходил за пределы диапазона, характеризующего высокий уровень обеспеченности растений чая, который согласно ранее проведенных исследований составляет не менее 4,5–5,2 % (Малюкова, Козлова, 2010). Во все периоды отмечено более высокое содержание азота на контрольном варианте с внесением в почву только NPK. При этом несколько более низким содержанием азота характеризовалось сырье майского и июльского сборов на вариантах с внесением бора (В 6,0), смеси элементов

Zn+B+Mg, что, по-видимому, связано с более активным побегообразованием на этих высокоурожайных вариантах и «эффектом разбавления».

Таблица 26 – Диапазоны и среднее содержание азота (N) в 3-листных флешах чая сорта Колхида, по периодам вегетации (2011–2019 гг.)

Вариант	май		июль		август		сентябрь	
Диапазон, %								
Контроль	4,40–5,60		3,70–5,00		3,40–4,62		4,40–4,88	
Mg	4,45–5,30		3,24–4,64		3,20–4,45		4,21–4,40	
Zn	4,40–5,54		3,90–4,70		3,60–4,37		4,11–4,30	
B	4,05–5,30		3,70–4,40		3,60–4,50		4,40–4,49	
Zn+B+Mg	3,90–5,48		3,37–4,48		3,40–4,42		4,10–4,39	
Ca	4,00–5,06		3,30–4,68		3,50–4,70		4,23–4,30	
Среднее / Вариабельность, %								
Контроль	5,07±0,53	11	4,36±0,43	10	4,00±0,43	11	4,64±0,34	7
Mg	4,75±0,34	7	4,01±0,57	14	3,85±0,57	15	4,31±0,13	3
Zn	4,96±0,46	9	4,20±0,38	9	4,06±0,29	7	4,21±0,13	3
B	4,77±0,50	10	3,99±0,28	7	4,09±0,41	10	4,45±0,06	1
Zn+B+Mg	4,67±0,70	15	3,83±0,40	11	3,99±0,41	10	4,25±0,21	5
Ca	4,52±0,51	11	4,02±0,54	13	4,17±0,45	11	4,27±0,05	1

Самое низкое содержание азота во флешах (майский отбор) выявлено на варианте с внесением кальцийсодержащего материала, что, по-видимому, явилось результатом антагонизма между ионами кальция и аммония.

Содержание в среднем за 2011–2019 гг. фосфора и калия в 3-листных флешах также достаточно стабильно в течение вегетации и по вариантам опыта. Так содержание фосфора (без существенных различий по вариантам опыта) колебалось в следующих диапазонах: в мае – 1,10–1,15 %, в июле – 0,94–0,97 %, в августе – 1,00–1,04 %, и в сентябре – 0,93–1,01 % (таблица 27). В отношении фосфора доказано, что вне зависимости от содержания фосфатов в почве, чайное растение, благодаря своим биологическим особенностям, регулирует их потребление, как на бедных, так и на перенасыщенных фосфором почвах, содержание фосфора в 3-листных флешах практически не зависит от содержания этого элемента в почве и поддерживается на определенном уровне (Баджелидзе, 1957; Голетиани,

1976; Малюкова, 1997, 2014; Добежина, 1998; Козлова, Малюкова, 2010; Козлова, Керимзаде, 2018б).

Таблица 27 – Диапазоны и среднее содержание фосфора (P_2O_5) (%) в 3-листных флешах чая сорта Колхида (2011–2019 гг.)

Вариант	май		июль		август		сентябрь	
Диапазон, %								
Контроль	0,94–1,30		0,82–1,07		0,90–1,03		0,93–1,09	
Mg	0,93–1,33		0,84–1,03		0,90–1,20		0,84–1,03	
Zn	0,94–1,23		0,86–1,05		0,90–1,18		0,86–1,05	
B	0,93–1,25		0,85–1,09		0,96–1,08		0,86–1,04	
Zn+B+Mg	0,89–1,25		0,85–1,05		0,92–1,17		0,88–0,97	
Ca	0,89–1,25		0,85–1,07		0,95–1,12		0,87–0,98	
Среднее / Вариабельность, %								
Контроль	1,15±0,13	11	0,96±0,08	9	1,00±0,11	11	1,01±0,11	11
Mg	1,12±0,15	13	0,96±0,10	10	1,02±0,12	11	0,94±0,13	14
Zn	1,15±0,12	11	0,94±0,08	8	1,03±0,12	12	0,96±0,13	14
B	1,14±0,12	10	0,97±0,08	9	1,04±0,10	10	0,95±0,13	13
Zn+B+Mg	1,10±0,14	12	0,94±0,08	9	1,02±0,10	10	0,93±0,06	7
Ca	1,12±0,13	11	0,94±0,08	9	1,00±0,09	9	0,93±0,08	8

Таблица 28 – Диапазоны и среднее содержание валового калия (K_2O) (%) в 3-листных флешах чая сорта Колхида (2011–2019 гг.)

Вариант	май		июль		август		сентябрь	
Диапазон, %								
Контроль	2,27–3,20		2,27–2,89		2,31–2,85		2,22–2,72	
Mg	2,28–2,87		2,16–2,84		2,21–2,78		2,21–2,72	
Zn	2,34–3,28		2,11–2,90		2,25–2,88		2,13–2,82	
B	2,29–3,19		2,09–2,82		2,33–2,84		2,86–3,47	
Zn+B+Mg	2,29–3,01		2,22–2,71		2,18–2,62		2,48–2,77	
Ca	2,24–3,04		2,16–2,84		2,29–2,75		2,35–2,82	
Среднее / Вариабельность, %								
Контроль	2,72±0,33	12	2,65±0,23	9	2,54±0,23	9	2,47±0,35	14
Mg	2,62±0,25	10	2,51±0,29	12	2,48±0,23	9	2,47±0,36	15
Zn	2,74±0,33	12	2,57±0,31	12	2,54±0,25	10	2,48±0,49	20
B	2,64±0,34	13	2,54±0,29	11	2,53±0,22	9	3,17±0,43	14
Zn+B+Mg	2,58±0,28	11	2,46±0,21	9	2,41±0,20	9	2,63±0,21	8
Ca	2,58±0,31	12	2,50±0,29	12	2,48±0,20	8	2,59±0,33	13

Содержание калия в 3-листных флешах, без заметных отличий от контроля (при достаточно выровненном агрофоне по содержанию калия), варьировало по вариантам опыта: в мае – 2,58–2,74 %, в июле – 2,46–2,65 %, в августе – 2,41–2,54 %, и в сентябре – 2,47–3,17 (таблица 28).

Содержание кальция (CaO) в 3-листных флешах составляло 0,52–0,64 % в период майских и июльских сборов, а в августе и сентябре – 0,43–0,55 % (таблица 29).

Таблица 29 – Диапазоны и среднее содержание валового кальция (CaO) в 3-листных флешах чая сорта Колхида (2011–2019 гг.)

Вариант	май		июль		август		сентябрь	
Диапазон, %								
Контроль	0,31–0,70		0,33–1,00		0,40–0,63		0,50–0,55	
Mg	0,30–0,70		0,30–0,80		0,30–0,63		0,50–0,60	
Zn	0,30–0,83		0,30–1,20		0,40–0,60		0,50–0,55	
B	0,30–0,73		0,34–1,00		0,40–0,60		0,40–0,60	
Zn+B+Mg	0,40–0,70		0,40–1,00		0,40–0,75		0,50–0,55	
Ca	0,30–0,78		0,43–1,00		0,40–0,77		0,30–0,50	
Среднее / Вариабельность, %								
Контроль	0,54±0,13	24	0,60±0,25	41	0,49±0,10	20	0,50±0,05	1
Mg	0,52±0,15	29	0,60±0,21	35	0,43±0,12	29	0,55±0,07	13
Zn	0,59±0,18	31	0,64±0,32	49	0,50±0,07	14	0,50±0,05	1
B	0,55±0,16	29	0,59±0,26	43	0,50±0,08	16	0,50±0,14	28
Zn+B+Mg	0,52±0,13	25	0,64±0,25	39	0,52±0,14	27	0,50±0,05	1
Ca	0,56±0,19	34	0,62±0,23	36	0,51±0,15	30	0,40±0,14	35

Содержание магния (MgO) в 3-листных флешах находилось в среднем в пределах 0,21–0,34 %, незначительно различаясь по вариантам опыта и поддерживаясь на этом уровне в течение вегетации (таблица 30).

Таблица 30 – Диапазоны и среднее содержание валового магния (MgO) в 3-листных флешах чая сорта Колхида (2011–2019 гг.)

Вариант	май	июль	август	сентябрь				
Диапазон, %								
Контроль	0,12–0,40	0,18–1,00	0,18–0,30	0,12–0,50				
Mg	0,12–0,50	0,18–1,00	0,23–0,38	0,10–0,40				
Zn	0,12–0,60	0,18–0,90	0,18–0,28	0,12–0,40				
B	0,12–0,50	0,18–1,10	0,18–0,45	0,18–0,30				
Zn+B+Mg	0,12–0,40	0,12–1,00	0,24–0,45	0,18–0,30				
Ca	0,12–0,40	0,18–0,80	0,20–0,54	0,18–0,30				
Среднее / Вариабельность, %								
Контроль	0,27±0,10	35	0,34±0,09	43	0,26±0,05	18	0,31±0,27	87
Mg	0,29±0,14	47	0,32±0,09	70	0,29±0,06	19	0,25±0,21	85
Zn	0,30±0,16	55	0,34±0,10	56	0,23±0,04	19	0,26±0,20	76
B	0,27±0,12	47	0,33±0,09	70	0,28±0,11	39	0,21±0,13	61
Zn+B+Mg	0,26±0,14	55	0,28±0,11	80	0,29±0,09	31	0,24±0,08	35
Ca	0,26±0,10	39	0,32±0,08	51	0,30±0,14	46	0,24±0,08	35

Таким образом, содержание макроэлементов в молодых побегах чайного растения варьировало в зависимости от биологических волн развития растений, метеорологических условий и питательного режима почв.

Микроэлементы. Микроэлементный состав чая – один из важных показателей его качества, как в пищевкусовом, так и в токсикологическом отношении, учитывая высокое содержание в нем многих элементов, которые в высоких концентрациях относят к токсичным, чайное сырье должно отвечать требованиям безопасности для человека при употреблении напитка. Особый интерес в аспекте содержания и накопления в растениях чая, представляет цинк, так как относится к разряду тяжелых металлов и к числу опасных экотоксикантов (Venkatesan et al., 2006). Применение цинковых удобрений и повышение уровня обеспеченности почв цинком (Великий, 2016) потребовало дополнительного контроля над содержанием его в чайных растениях, в первую очередь в молодых побегах (флешах) – чайном сырье. Повышенного контроля требует также медь, которая в породах и почвах субтропической зоны России, по данным Л.С. Малюковой (2001), присутствует в количестве (70–90 мг/кг), превышающем среднее содержание

для почв мира (60 мг/кг) (Ярошевский, 2004). К тому же многие чайные плантации зоны размещены на почвах, ранее использовавшихся под плодовые насаждения, на которых применяли медьсодержащие фунгициды, что привело к локальному накоплению меди до критических значений (более 150 мг/кг) (Малюкова, 1998; Дьяченко, 2004).

Исследования показали, что содержание цинка в 3-листных флешах опытных растений (учитывая различия по годам, периодам вегетации и вариантам опыта) находилось в интервале от 22,1 до 57,4 мг/кг (таблица 31). В целом полученные значения были сопоставимы с содержанием цинка в чайных флешах, приведенных в работе О.Г. Белоус (2006) по результатам обследования серии чайных плантаций Черноморского побережья Сочи, в том числе опытного участка, где на фоне листовых обработок чая раствором сульфата цинка содержание элемента во флешах достигало 55 ± 2 мг/кг. Указанные количества также находятся в пределах диапазона значений, характерных для большинства видов растений. Так по обобщенным данным А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас (1989) количество цинка в растительных объектах измеряется в достаточно широких пределах (от 1,2 мг/кг в яблоках до 12–47 и 24–45 в травах и клевере, соответственно; до 73 мг/кг в листьях салата) и зависит от вида растения, стадии его развития, органов растения и экосистемы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Тенденция повышения содержания цинка в чайном сырье при внесении в почву сульфата цинка проявилась в большей или меньшей степени в разные периоды активного побегообразования в 2013 и 2015 г. (рисунок 37). Как правило, наиболее значительные, достоверные различия с контролем (в 1,2–1,3 раза и более) были отмечены для июльских и августовских сборов флешей чая. В 2017 году (через год после прекращения внесения цинка в почву) они были особенно выражены (1,3–1,5 раза), что может быть связано с накоплением цинка почвой в результате его длительного внесения (глава 3.2, таблица 6). Однако при внесении цинка в составе смеси элементов (Zn+B+Mg) тенденция повышения его содержания во флешах не проявилась,

что, по-видимому, объясняется антагонизмом ионов при поступлении в растение.

Таблица 31 – Диапазоны и среднее содержание цинка (Zn) в 3-флешах растений чая сорта Колхида (2013–2017 гг.)

Вариант	май		июль		август	
Диапазон (мг/кг сухого веса)						
Контроль	37,8–53,8		31,2–41,1		25,5–27,6	
Zn	37,0–57,4		34,1–52,9		25,9–40,8	
Zn+B+Mg	38,5–45,6		35,2–38,9		22,1–27,2	
Среднее (мг/кг сухого веса) / Вариабельность, %						
Контроль	46,5±8,1	17	36,3±5,0	14	26,8±1,1	4
Zn	48,6±10,5	22	44,1±9,5	22	34,3±7,6	22
Zn+B+Mg	42,1±5,0	12	37,1±2,6	7	24,7±3,6	15

В сезонной динамике для всех вариантов опыта прослеживалось снижение содержания цинка в составе 3-листных флешей к концу чаесборочного периода (от мая к августу) (таблица 31, рисунок 37), что характерно для культуры чая и было отмечено и другими исследователями (Белоус, 2006; Малюкова, 2013).

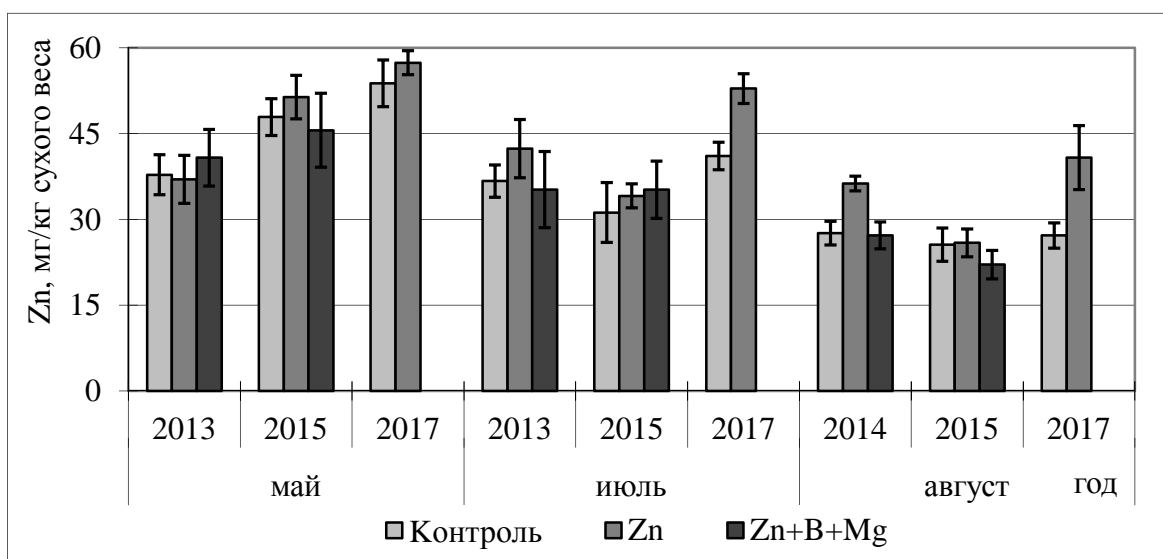


Рисунок 37 – Содержание цинка в 3-листной флешей чая в различные годы и периоды вегетации

В качестве ориентира при оценке содержания цинка в чайном сырье, как в пищевом продукте, может служить ПДК цинка для овощей и фруктов (по Сан ПиН 42–123–4089–86), составляющем в пересчете на сухую массу около 50 мг/кг. Поскольку в отдельные периоды вегетации чая были отмечены близкие к этому (и выше) значения, то контроль содержания цинка в чайном сырье актуален.

Содержание меди в 3-листных флешах опытных растений в период исследования (учитывая различия по годам, периодам вегетации и вариантам опыта) находилось в интервале от 11 до 29 мг/кг (таблица 32), что также согласуется с данными, полученными ранее в этом опыте (Малюкова, 2011; Притула и др., 2014). Исследования подтверждают известный факт о значительно более высоком содержании меди в молодых побегах в сравнении со зрелыми листьями, что было отмечено и другими исследователями (Белоус, 2006; Малюкова, 2011).

Таблица 32 – Диапазоны и среднее содержание меди в 3-листных флешах чая, мг/кг (2013–2018 гг.)

Вариант	май		июль		август	
Диапазон (мг/кг сухого веса)						
Контроль	12,5–18,8		13,6–28,6		21,5–19,1	
Mg	14,1–18,8		12,3–16,4		16,3–21,5	
Zn	11,3–17,4		12,5–22,3		16,8–21,0	
B	12,6–17,4		12,2–24,1		15,8–22,0	
Zn+B+Mg	12,3–19,2		12,6–17,9		16,7–19,5	
Ca	11,5–18,6		12,6–25,0		16,6–22,2	
Среднее (мг/кг сухого веса) / Вариабельность, %						
Контроль	15,6±4,4	28	19,9±7,8	39	20,1±1,3	6
Mg	16,5±3,5	20	14,3±3,0	21	20,4±3,6	18
Zn	14,3±4,3	30	17,1±5,0	29	19,0±2,1	11
B	15,0±3,4	22	19,6±10,2	36	19,6±3,1	17
Zn+B+Mg	15,7±4,7	31	15,3±3,7	24	19,4±2,6	13
Ca	15,1±5,0	33	17,7±6,5	37	18,8±3,0	16

Выявленный диапазон варьирования концентрации меди в 3-листных флешах в динамике нескольких лет может быть обусловлен особенностями

поглощения растениями меди в различных почвенных и метеорологических условиях, а также состоянием растений при отборах. При этом в годы, которые характеризовались засушливым летним периодом (2015, 2017 г.) и, соответственно, низкой влажностью почвы, ожидаемого общего снижения концентрации меди в растениях не было установлено (рисунок 38).

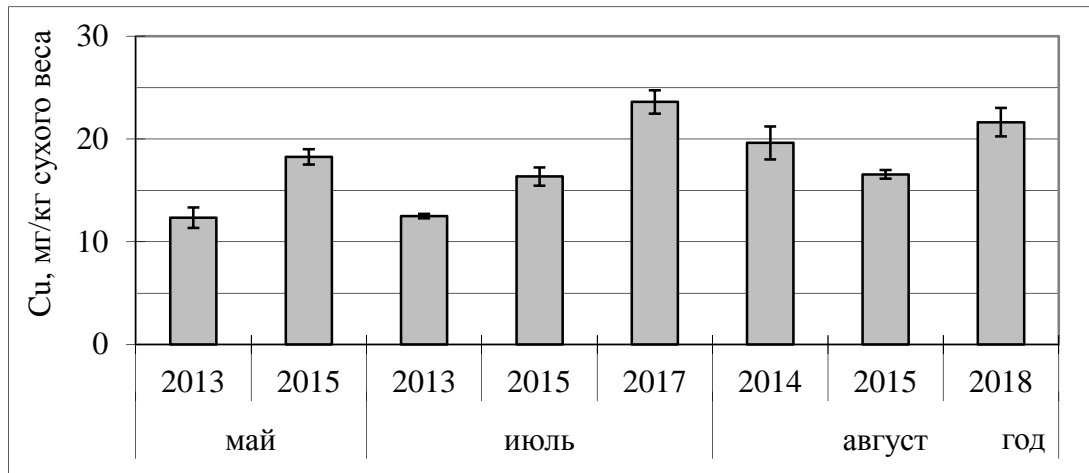


Рисунок 38 – Содержание меди (усредненные данные по опыту) в 3-листных флешей чая в различные годы

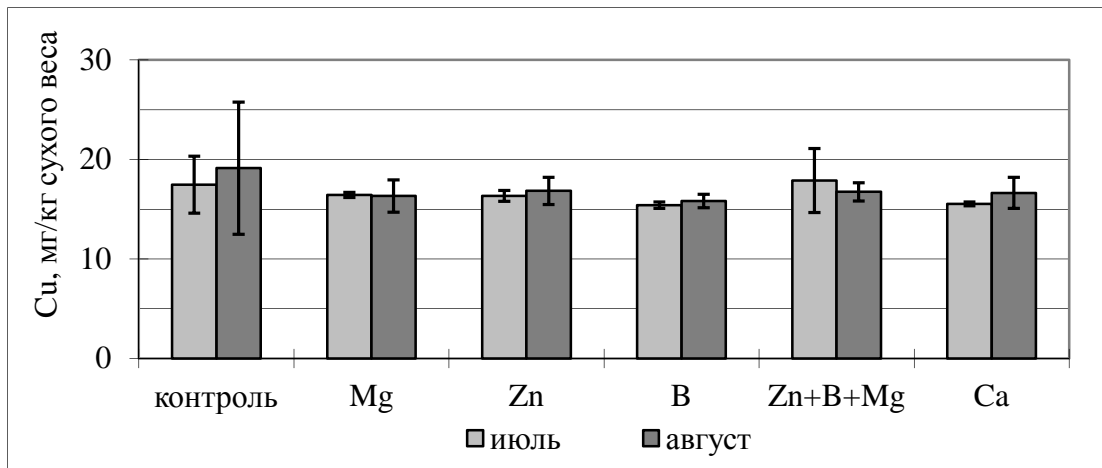


Рисунок 39 – Содержание меди в 3-листных флешах чая по вариантам опыта в различные листосборные периоды (волны роста), 2015 г.

В сезонной динамике для всех вариантов опыта прослеживалось увеличение содержания меди в составе 3-листных флешей от мая к августу (к концу чаесборочного периода), что может быть обусловлено менее

выраженной силой роста молодых побегов в условиях недостаточной водообеспеченности в летний период. При этом концентрация меди в ювенильных побегах имела прямую корреляцию ($r=0,73$) со зрелыми листьями в каждый срок отбора. В целом, наиболее высокое содержание меди в ювенильных побегах было отмечено в растениях контрольного варианта (таблица 32, рисунок 39), в сравнении с другими вариантами.

Выявленная закономерность может быть обусловлена антагонизмом или конкурентным торможением вносимых с удобрениями катионов (или анионов), которые кроме того, могут влиять на проницаемость плазмалеммы при передвижении из зрелых листьев в молодые побеги (Барбер, 1988; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Спицина и др., 2014). Так, по нашим данным, содержание подвижной меди в почвах вариантов с применением цинка, бора и кальция было значительно ниже контрольного варианта (таблица 32), что могло ограничить поглощение и накопление этого элемента растениями. Для высокоурожайных вариантов (с применением бора, цинка, кальция и смеси элементов) возможен также и эффект вторичного разбавления за счет ускоренного роста молодых побегов (таблица 32).

Содержание марганца в 3-листной флеша чай в период исследований колебалось от 476 до 1246 мг/кг (таблица 33). В сезонной динамике наблюдалась тенденция накопления его к осеннему периоду. Так в среднем за 2013–2019 гг. в мае он находился в пределах 640–781 мг/кг, в июле–августе – в пределах 791–973 мг/кг, а в осенне-весенний период количество этого элемента возрастало до значений 994 мг/кг (таблица 33). Наименьшее содержание марганца в ювенильных побегах отмечено на высокоурожайном варианте с применением бора, более высоким содержание марганца характеризовались побеги чайного растения на контроле и варианте с магнием.

Таблица 33 – Диапазоны и среднее содержание марганца (Mn) в 3-листных флешах чая, мг/кг (усреднённое за 2013–2019 гг.)

Вариант	май		июль		август		сентябрь	
Диапазон (мг/кг сухого веса)								
Контроль	592–900		783–1246		868–1028		818–1089	
Mg	669–904		791–990		774–1062		793–838	
Zn	618–912		676–966		782–919		887–971	
B	534–768		635–1000		740–982		728–738	
Zn+B+Mg	546–838		786–992		656–887		874–1115	
Ca	476–827		755–999		768–1116		819–1067	
Среднее (мг/кг сухого веса) / Вариабельность, %								
Контроль	736±132	18	973±214	22	947±75	8	953±192	20
Mg	781±932	15	908±95	11	932±130	14	815±32	4
Zn	757±136	18	853±136	14	846±65	8	929±59	6
B	640±91	14	811±161	20	836±108	13	733±7	1
Zn+B+Mg	704±140	20	845±119	14	791±97	12	994±170	17
Ca	671±155	23	903±92	10	884±159	18	943±176	19

Таким образом, содержание в ювенильных побегах чая сорта Колхида цинка (22,1–57,4 мг/кг), меди (11–29 мг/кг), марганца (476 до 1246 мг/кг) варьировало в зависимости от почвенно-метеорологических условий, возраста и функционального состояния растений. Отмечено повышение содержания цинка в 3-листных флешах (чайном сырье) на варианте с применением цинкосодержащих удобрений относительно контроля в среднем в 1,2–1,5 раза. В динамике вегетационного периода в молодых побегах отмечено более высокое содержание меди – в августе, а марганца – в июле–августе. При этом на фоне корневого применения удобрений, содержащих Ca, Zn и B, в течение ряда лет отмечено снижение содержания меди в ювенильных побегах чая. Наименьшее содержание марганца в ювенильных побегах отмечено на высокоурожайном варианте с применением бора, наибольшее на контроле и варианте с магнием.

В целом, по группе элементов (N, P, Ca, Cu, Mn) отмечена прямая связь их содержания и накопления в зрелых листьях и ювенильных побегах, что обусловлено оттоком элементов из зрелых листьев в молодые побеги. В

динамике вегетационного периода отмечено сопряженное изменение содержания в листьях и флешах только 2-х элементов: азота и цинка.

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

6.1 Механический состав

Качество зеленого чайного листа (исходного сырья) во многом зависит от формирования и соотношения нормальных, растущих побегов (флешей) и глушковых (побегов, остановившихся в росте на чайном кусте) (рисунок 40). Так по данным С.Х. Пирцхалайшвили (1969) съём только 2-листных флешей приводит к снижению урожайности чайного листа до 11–24 %, однако даёт сырьё самого высокого качества. При сборе только 3-листных флешей, наоборот, достигается повышение урожая от 5 до 14 %, но качество готовой продукции по сравнению со сбором 2-листных флешей заметно снижается. Совместный сбор 2-х и 3-листных флешей даёт лучшие результаты (Пирцхалайшвили, 1969; Туов, 1997; Лошкарёва, 2019).



Рисунок 40 – Вид молодого побега (3-лиственная флешь) чая сорта
Колхида (май и август)

В связи с этим было изучено воздействие корневого применения биогенных элементов на механический состав собираемого сырья. Так, детальный анализ, проведенный в динамике сборов 2013 года, показал, что масса собранного сырья, в основные периоды сбора, была представлена 2–3-листными нормальными флешами, наибольшее содержание которых (77–91 %) было собрано в мае месяце (таблица 34, 35). В майском сборе, за исключением контрольного варианта, процент 2-листных флешей превалирует над 3-листными в среднем в 1,5 раза, то есть прослеживается более высокая интенсивность побегообразования.

Таблица 34 – Влияние макро- и микроэлементов на механический состав урожая в течение листосборного периода, 2013 г, %

Вариант	Месяц сбора					
	Май		Июнь		Июль	
	a	a / b	a	a / b	a	a / b
	b		b		b	
Контроль	38,0	0,9	28,6	0,5	26,0	0,6
	41,5		52,2		46,9	
Mg	43,4	1,4	28,2	1,1	41,1	1,1
	30,1		26,9		38,5	
Zn	54,6	1,6	41,0	1,1	37,0	1,1
	33,2		38,1		35,0	
B	47,4	1,4	38,1	1,1	31,9	0,8
	34,1		34,7		37,5	
Zn+B+Mg	51,9	1,6	25,5	0,5	35,9	1,0
	32,0		49,2		34,7	
Ca	40,5	1,2	32,4	0,7	31,3	0,8
	34,0		44,0		40,1	

Примечание: a – 2-листная флешь, %; b – 3-листная флешь, %; a / b – отношение 2-листной флешки к 3-листной флешки.

В следующем месяце (июне) наблюдалось торможение ростовых процессов и, соответственно, побегообразовательной деятельности, связанное с наступлением относительного летнего покоя, выразившееся не только в уменьшении общего количества побегов по сравнению с маем, но изменении структуры собранного сырья, а именно: увеличение содержания

глухих побегов на всех вариантах до 25 %, а на варианте с внесением магния до 45 %, то есть в 2 раза, относительно контроля (таблица 35). В июле по мере повышения температуры воздуха в сочетании с недостаточным количеством осадков также отмечено повышение числа глухих побегов на некоторых вариантах опыта ещё на 2–4 %.

Таблица 35 – Влияние макро- и микроэлементов на механический состав урожая в течение листосборного периода, 2013 г, % глухих побегов

Вариант	Месяц сбора		
	Май	Июнь	Июль
Контроль	12,5	19,2	21,0
Mg	23,1	44,9	18,7
Zn	9,4	20,9	24,4
B	13,2	26,9	26,7
Zn+B+Mg	13,6	25,3	29,3
Ca	19,6	23,6	27,0

В июле на вариантах с внесением кальция, смеси элементов Zn+B+Mg, а также на контроле наблюдалось повышение количества 3-листных флешей над 2-лиственными в 1,3–2 раза. В августе, за исключением контроля, рост флешей шел с примерно одинаковой скоростью, на некоторых вариантах отмечалось повышенное количество 2-листных, а на других – 3-листных флешей.

В среднем за три месяца проведения исследования, было отмечено высокое содержание в сырье нормальных побегов (2 и 3-лиственных флешей) от 70 % и выше, что говорит о своевременном и качественном проведении сборов чайного листа, согласно агроправилам (Методические ..., 1977).

6.2 Биохимические характеристики

Содержание специализированных компонентов, определяющих вкус, аромат и в целом качество чая зависит от многих факторов, среди которых

географические (Borse et al., 2002; Owuor et al., 2010; Ye, 2012; Goncalves et al., 2015; Малюкова и др., 2018; Рындин и др., 2018), сезонные (Ercisli et al., 2008; Притула и др., 2009), генетические (Воронцова, 1950; Kamunya et al., 2010; Wei et al., 2011), обработка во время производства (Опарин, 1935; Курсанов и др., 1937; Воронцов, 1946; Багиров, 1972), а также элементный состав (Малюкова, 1997, 2011, 2014; Добежина, 1998; Притула и др., 2001, 2011, 2015; Белоус, 2006, 2013; Szymczycha-Madeja et al., 2008; Притула, Малюкова, Великий, 2014, Загоскина и др., 2018).

Значимая роль микроэлементов (B, Zn, Mn, Fe, Cu) в получении чайного сырья высокого качества экспериментально доказана во многих чаепроизводящих регионах (Барабадзе, 1984; Дзадзуа, 1991; Sharma et al., 1992; Gohian et al., 2000; Притула, Белоус, 2001; Li, 2005; Белоус, 2006; Njoloma, 2012). Эффект от применения этой группы элементов обусловлен как их незаменимой физиологической функцией, так и устранением дисбаланса поглощения и реутилизации питательных элементов при одностороннем применении макроудобрений. Так, например, установлено, что применение повышенных доз макроудобрений, особенно азотных усиливает процесс вторичной реутилизации микроэлементов и их накопление в 3-листной флеша при соответствующем снижении содержания микроэлементов (Малюкова, 2011). В этой связи стоит задача разработки наиболее эффективных агрохимических приемов повышения обеспеченности почв чайных плантаций микроэлементами и их доступности для растений с целью повышения качества чайного листа.

В целом, качество чая зависит от содержания в нём водорастворимых веществ и продуктов их превращения в процессе переработки. Из сухих веществ чая почти 50 % представлены экстрактивными веществами, из которых более половины составляют дубильные вещества – танины. Танин по описанию В.Е. Воронцова (1946) «обуславливает специфический горьковатый вкус напитка, его цвет, а по некоторым данным и аромат черного чая и является своего рода основной вкусовой базой, на фоне

которой выявляются дополнительные ароматические и вкусовые начала». Танины в чайном растении, как показали исследования, играют и важную физиологическую роль, которая заключается в том, что теотаннин может быть заменителем отсутствующих углеводов в метаболических процессах, происходящих в чайном растении (W.S. Shaw, цит. по Воронцов, 1946). Косвенным подтверждением активной его роли в физиологии чайного растения является наибольшее его содержание в молодых растущих органах чайного растения, по сравнению со зрелыми листьями.

Накопление танина и экстрактивных веществ в 3-листных флешах чая в условиях Черноморского побережья РФ, помимо биологических особенностей определяется комплексом абиотических и агрогенных факторов (температура, количество осадков, минеральные удобрения – виды, дозы и их сочетание). Так, в многолетнем ряду наблюдений (1986–2004 гг.), по данным З.В. Притулы с соавторами (2011), установлен достаточно широкий диапазон абсолютных значений по изучаемым показателям: 20–39 % – по содержанию танина; 37–48 % – экстрактивных веществ для сорта Колхида. Различия в абсолютных значениях на фоне варьирующих сезонных и многолетних гидротермических условий составляли: для танина – 4–13 %; экстрактивных веществ – 3–9 %; различия, обусловленные влиянием макроудобрений – 4–11 и 2–5 %, соответственно. Результаты длительных исследований в условиях влажных субтропиков РФ (Притула и др., 2011) показали, что с повышением доз азотных удобрений происходит значительное снижение накопления танина и экстрактивных веществ в 2–3-листных флешах полновозрастных растений чая сорта Колхида.

Изучение биохимических показателей качества 3-листных флешей чая в 3-х летнем ряду наблюдений (2011–2013 гг.) показало также значительную вариабельность их, связанную с сезонными и многолетними различиями метеорологических условий (Великий, Притула, 2012; Притула, Великий, Малюкова, 2014). В целом, для указанного периода исследований отмечен следующий диапазон абсолютных значений по изучаемым показателям:

23,9–33,7 % – по содержанию танина; 41,6–46,7 % – экстрактивных веществ. Содержание танина в чайном листе характеризовалось большей вариабельностью по сравнению с экстрактивными веществами, поскольку «дубильное вещество (танин) является весьма лабильным соединением» (Догонадзе, 1969) и сильнее подвержено воздействию указанных факторов.

В 2011 году на вариантах с внесением цинка, магния, бора содержание танина в первую волну роста (май) было достоверно выше контроля в среднем на 2,0 % (рисунок 41), а на варианте смесь на 2,9 %.

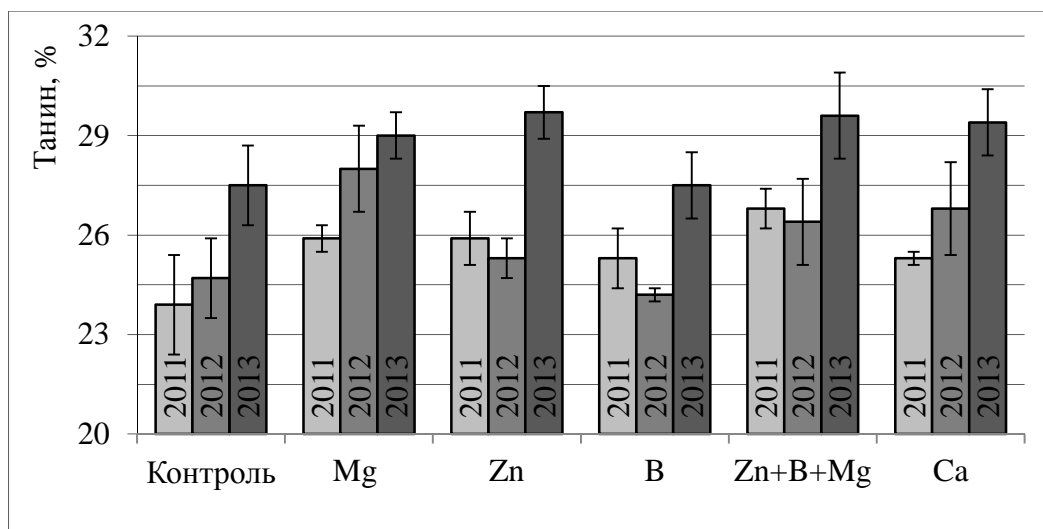


Рисунок 41 – Содержание танина в 3-листных флешах чая первой волны роста (май), %

В 2012 г. (понижение температуры в зимний период и ранневесенний периоды до $-4,5$ °C); более высокое содержание танина в 3-листных флешах в мае отмечалось на вариантах с внесением в почву смеси цинка + бора + магния, кальция, а также магния, количественное содержание которого в среднем было на 1,7–3,3 % выше контроля (рисунок 41). В 2013 году содержание танина в 3-листных флешах чая было в целом выше, чем в предыдущие 2 года; для всех вариантов опыта, кроме бора, отмечался его рост относительно контроля, наиболее выраженный на варианте совместного применения цинка, бора и магния (вариант смесь) на фоне NPK и на варианте с цинком (2,1 и 2,2 %).

В период второй волны роста (июль), характеризующийся как более напряженный по влагообеспеченности период для растений, отмечено усиление синтеза танина по сравнению с майским сроком отбора, при этом превышение контроля на 1,4 и 1,5 % наблюдалось на вариантах смеси (Zn+B+Mg) и кальций, соответственно (таблица 36). По данным З.В. Притулы с соавторами (2011) в целом для зоны отмечается тенденция увеличения содержания танина и экстрактивных веществ в молодых побегах чайного растения при повышении экстремальности гидротермических условий в сторону роста температуры и снижения влагообеспеченности.

Усредненные данные за 2011–2013 гг. также показали, что многие из изученных элементов увеличивали содержание танина, характеризующего качество чайного листа, особенно в период первого листосбора (таблица 36).

Таблица 36 – Содержание танина и экстрактивных веществ в 3-листной флешки чайного растения (усреднённые 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

Так, по всем вариантам опыта, за исключением бора, отмечена тенденция увеличения содержания танинов на 1,7–2,3 %, по сравнению с контрольным вариантом. Выявленный эффект от применения изучаемых элементов обусловлен их высокой физиологической активностью, включающей участие в окислительно-восстановительных процессах, ферментативных реакциях, углеводном и фенольном обменах и многое другое (Притула, 2001, 2011). Вариант с применением бора не уступал по

качеству контрольному, но по урожайности превосходил его на 20–30 %, что подтверждало эффективность его применения. При этом увеличение образования танинов на варианте с применением магния обусловлено, по-видимому, низкой урожайностью.

В июле происходило усиление синтеза танинов по сравнению с майским периодом, и содержание их в 3-листных флешах увеличилось на 4–8 % по всем вариантам опыта во все годы проведения исследований (таблица 36).

Вторым важным показателем качества чая является содержание экстрактивных веществ в 3-листных флешах чайного растения, куда входят следующие основные группы веществ: танин, растворимые белки, кофеин, витамины, растворимые углеводы. По этому показателю в меньшей степени прослеживалось влияние изучаемых элементов. Так, в мае содержание экстрактивных веществ было достаточно стабильным и составляло от 40 до 43 % в разные годы наблюдений (таблица 36). В июле (вторая волна роста) содержание экстрактивных веществ составляло в разные годы исследований от 42 до 47 %, отмечалось некоторое усиление накопления экстрактивных веществ на отдельных вариантах опыта.

В целом, изучаемые параметры качества чайного сырья для всех вариантов опыта показали увеличение от самых низких значений в период первых сборов (май–начало июня) до наиболее высоких в июле, со снижением в августе (иногда и до майско-июньского уровня) (таблица 36).

Наибольшее количество танина и экстрактивных веществ в июле–августе по мнению А.Н. Контридзе (1977) связано с биологической особенностью чайного растения, поскольку в этот период фотосинтетическая деятельность чайного растения, с новообразованием флешей, главным образом ориентирована на синтез фенольных соединений, с последующим медленным угасанием. Кроме того, существует мнение, что сезонную динамику определяет не только биологическая особенность чая, но и во многом гидротермические условия в период флешеобразования. Так, по

многoletним наблюдениям в условиях Черноморского побережья России отмечалась тенденция увеличения содержания танина и экстрактивных веществ в молодых побегах чайного растения при повышении экстремальности гидротермических условий в сторону роста температуры и снижения влагообеспеченности (Притула, 2011).

Из анализа данных видно, что низким коэффициентом качества характеризуется сырье, собранное в первую волну роста в мае месяце, а вот сырье второй волны, а иногда и третьей волны, собранное в июле и августе, характеризовалось высоким коэффициентом качества (таблица 37). Самые низкие показатели для майского периода отмечены на вариантах контроль и бор. Однако вариант бор в мае месяце по коэффициенту качества не уступал контрольному варианту, и даже немного превосходил его (таблица 37). В июле самыми высокими коэффициентами качества характеризовались варианты с применением кальцийсодержащего природного вещества и смеси элементов (Zn+B+Mg).

Чайная флешь, собранная в августе, чаще всего перерабатывается на чёрный чай, из-за оптимального соотношения танинов и экстрактивных веществ (Притула и др., 2011), самый высокий коэффициент качества в этот период отмечался на варианте цинк (таблица 37).

Таблица 37 – Коэффициент качества чайного сырья (усреднённый за 2011–2013 гг.)

Вариант	май	июль	август
Контроль	2,69	4,66	4,74
Mg	3,34	4,96	4,55
Zn	3,12	4,86	5,19
B	2,79	4,70	4,36
Zn+B+Mg	3,38	5,17	4,17
Ca	3,18	5,31	4,52

Сопряженное изучение элементного и биохимического состава чайного сырья позволило оценить наличие связей показателей качества чая с содержанием в побегах макроэлементов и микроэлементов (таблица 38).

Таблица 38 – Корреляционные связи элементного и биохимического состава 3-листной флешки чая в различные периоды вегетации (среднее за 2011–2013 гг.)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Экстр. в-ва	Танин
май							
N	1						
P ₂ O ₅	0,05	1					
K ₂ O	0,26	-0,67	1				
CaO	0,45	-0,55	0,89	1			
MgO	-0,36	0,16	-0,45	0,17	1		
Экстр. в-ва	-0,46	0,06	-0,44	-0,44	0,19	1	
Танин	0,11	-0,72	0,82	0,65	-0,11	-0,27	1
июль							
N	1						
P ₂ O ₅	0,48	1					
K ₂ O	0,40	0,12	1				
CaO	0,10	0,58	0,43	1			
MgO	-0,24	-0,35	0,04	-0,19	1		
Экстр. в-ва	-0,17	0,32	0,19	0,88	-0,04	1	
Танин	-0,52	0,04	-0,17	0,15	-0,44	0,28	1

Среди изученной группы элементов достоверно значимыми являлись прямые связи танина с содержанием калия и кальция, и обратная связь танина с фосфором во флешки в майский период. В июльский период наиболее значимой связью являлась обратная связь танина и азота. На обратную связь танина и экстрактивных веществ с содержанием во флешки азота и фосфора указывали многие исследователи (Притула и др., 2011; Малюкова, 2014), в данном исследовании эти взаимосвязи были подтверждены.

Таким образом, данные биохимических исследований 3-листных флешек показали, что корневое внесение ряда изученных биогенных

элементов (Ca, Mg, Zn) приводит к росту содержания в 3-листных флешах чайного растения танинов, в меньшей степени экстрактивных веществ, характеризующих качество чайного сырья. Из изученной группы макроэлементов во флешах корреляционная связь с качеством чайного сырья в мае установлена для содержания фосфора, калия и кальция, а в июле – азота.

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

Удельный вес удобрений в приросте урожая сельскохозяйственных культур значительно варьирует. Так, в черноземной зоне России он составляет 40–50 %, в нечерноземной зоне, где преобладают менее плодородные дерново-подзолистые и серые лесные почвы до 60–75 % (Шеуджен и др., 2012). Промышленное выращивание чая в первую очередь зависит от применения удобрений, их эффективность на разных плантациях находится в диапазоне 50–60% от общей эффективности всех агротехнических приёмов (Дараселия и др., 1989). Их роль выражается в повышении доступности элементов питания, создании мощных, хорошо развитых растений; подрезочная масса, скапливающаяся в междурядии, способствует накоплению гумуса и улучшению физических свойств почв (Дараселия и др., 1989; Туов, 1997; Малюкова, 2013). Важна и положительная роль различных видов удобрений в усилении защитных реакций растений на стрессовые условия (Gao, 1999; Bowler, Fluhr, 2000; Upadhyaya et al., 2012).

Чаеводство является достаточно высокзатратной отраслью сельского хозяйства и поэтому без должного ухода отличалась всегда низкой рентабельностью – около 20–22 % (Нараян, 1985). Начиная с 2000 г., несбалансированное применение или полный отказ от минеральных удобрений, привели к значительному снижению уровня рентабельности в отрасли до 13–17 % (Малюкова, 2013).

Сбалансированное использование азотных, фосфорных, калийных удобрений, а также удобрений с микроэлементами является главным фактором повышения урожайности и эффективности работы чайеводческих предприятий и в целом отрасли. В этой связи агротехнические приёмы должны оцениваться с позиции экономической прибыльности (Шеуджен и др., 2012; Экономический анализ, 2017). Изучая влияние биогенных

элементов на урожайность чайного листа, не стоит забывать и о том, чтобы получать продукцию высокого качества.

Основными показателями экономической эффективности являются: себестоимость 1 т, тыс. руб.; стоимость валовой продукции с 1 га, в тыс. руб.; производственные затраты на 1 га, тыс. руб.; чистый доход с 1 га, тыс. руб.; уровень рентабельности, %. В период исследований достоверное увеличение урожайности (в среднем на 14–27 %) в сравнении с контролем было получено на вариантах с внесением бора, совместного применения смеси элементов (Zn+B+Mg), кальция и цинка (Великий, 2016).

Подробный анализ показал, что на высокоурожайных вариантах дополнительные затраты на применение удобрений и уборку урожая были существенно ниже общих производственных затрат, и их доля составляла от 1,1 до 13,2 %. Основной вклад в дополнительные производственные затраты вносил ручной сбор урожая чая и поэтому затраты росли пропорционально валовому урожаю от 10,3 (для магния) до 136,7 (для варианта смесь Zn+B+Mg) тыс. руб./га. При этом затраты на применение дополнительных видов микроудобрений составили от 0,7 до 41,5 % от суммы дополнительных расходов (таблица 39), что компенсировалось повышением стоимости валовой продукции и увеличением чистого дохода. То есть, в целом корневое внесение изученных микроэлементов, за исключением магния, на чайных плантациях экономически выгодно, так как уровень рентабельности для всех вариантов превышает 20 %.

Таблица 39 – Экономическая эффективность корневого применения Mg, Ca, B, Zn на чайных плантациях, в ценах реализации 2018–2020 гг.

Показатель	Вариант опыта					
	Контроль	Mg	Zn	B	Zn+B+Mg	Ca
Урожайность, т/га	4,94	5,00	5,64	6,26	6,20	6,02
Прибавка урожая, т с 1 га	-	0,06	0,70	1,32	1,26	1,08
Цена приёма сырья на фабрику 1 т, тыс. руб.	210	210	210	210	210	210
Стоимость валовой продукции с 1 га, тыс. руб.	1037,4	1050,0	1184,4	1314,6	1302,0	1264,2
в т.ч. дополнительный	-	12,6	147,0	277,2	264,6	226,8
Производственные затраты на 1 га, тыс. руб.,	902,1	912,4	972,6	1035,1	1038,8	1011,8
в т.ч. дополнительные:	-	10,3	70,5	133,0	136,7	109,7
на удобрения	-	4,3	0,5	1,0	10,7	1,7
на уборку дополнительной продукции (50 %)	-	6,0	70,0	132,0	126,0	108,0
Себестоимость 1 т, тыс. руб.	182,6	182,5	172,4	165,3	167,5	168,1
Чистый доход с 1 га, тыс. руб.	135,3	137,6	211,8	279,5	263,2	252,4
в т.ч. дополнительный	-	2,3	76,5	144,2	127,9	117,1
Чистый доход с 1 т, тыс. руб.	27,4	27,5	37,6	44,7	42,5	41,9
в т.ч. дополнительный	-	0,1	10,2	17,3	15,1	14,5
Уровень рентабельности, %	15	15	22	27	25	25
Окупаемость дополнительных затрат дополнительной продукцией, тыс. руб. / га	-	0,23	1,08	1,08	0,94	1,07

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

В дополнение к этому был изучен такой показатель, как «окупаемость минеральных удобрений (кг/кг)», под которым понималась величина прибавки урожайности, полученной от внесения 1 кг питательных веществ удобрения (Шеуджен и др., 2012). Применение данного показателя позволило обеспечить объективность и оценить сопоставимость натуральных и экономических показателей эффективности макро- и микроудобрений в технологии возделывании чая различной интенсивности. Прирост урожая от используемых удобрений составил от 0,06 до 1,32 т/га, а окупаемость 0,1–3,3 кг/кг (кг прибавки урожая на кг действующих веществ удобрений), низкая окупаемость получена на варианте с внесением магнийсодержащих удобрений, а высокая на варианте бор.

Самым экономически выгодным являлся вариант с внесением борных удобрений. На нём рост урожайности составил 27 %, чистый доход увеличился на 144,2 тыс. руб., а уровень рентабельности составил 27 %. Вариант с совместным применением смеси элементов (Zn+B+Mg) тоже показал хорошие результаты: на нём урожайность увеличилась на 25 % и рентабельность составила 25 %. Также стоит отметить и варианты с внесением кальциевых (22 % и 25 %, соответственно) и цинковых удобрений (14 % и 22 %, соответственно). В период благоприятных по метеоусловиям лет на этих вариантах опыта прибавка урожайности составила от 17 до 33 %, а рентабельности от 32 до 38 % относительно контроля. Положительный эффект от применения магния, проявлявшийся в первые годы ведения опыта, в последующем уже не отмечался, урожайность и рентабельность производства на нём находились на уровне контроля.

При полном цикле производства чая (получение готовой продукции) отмечена аналогичная картина. Наибольшая прибыль была получена на варианте с применением борных удобрений, которая увеличилась на 370 тыс. руб./га. На вариантах с внесением смеси элементов (Zn+B+Mg), кальция и цинка отмечен рост прибыли в 2,2–3,0 раз по сравнению с контролем.

Таким образом, исследования показали, что применение изученных видов удобрений за период 2011–2020 гг. даёт значительную прибавку урожая, которая повышает рентабельность на 7–12 %. Затраты на внесение этих элементов были минимальные и составили от 0,7 до 7,8 % от суммы дополнительных расходов. 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв / отв. ред. А.В. Соколов; АН СССР, ВАСХНИЛ, Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева. – 5-е изд. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. Али-Заде М.А. Физиология чайного куста / М.А. Али-Заде. – Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1964. – 222 с.
3. Ананьева Н.Д. Пространственное и временное варьирование микробного метаболического коэффициента в почвах / Н.Д. Ананьева, Е.В. Благодатская, Т.С. Демкина // Почвоведение. – 2002. – № 10. – С. 1233–1241.
4. Анспок П. И. Микроудобрения: справочник / П. И. Анспок. – Ленинград: Агропромиздат, 1990. – 271 с. – ISBN 5-10-001085-1.
5. Аргунова В.А. Система удобрений молодых листосборных плантаций чая сорта Колхида / В.А. Аргунова, П.М. Бушин, З.В. Притула – ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. – Сочи, 1990. – 16 с.
6. Аргунова В.А. Влияние минеральных удобрений на урожай чая и агрохимические показатели почв / В.А. Аргунова, П.М. Бушин // Агрохимия. – 1992. – № 2. – С. 72–78.
7. Аргунова В.А. Принципы оптимального программирования урожая чая и получения качественной продукции при разработке экологически безопасных систем питания / В.А. Аргунова, П.М. Бушин, Л.С. Малюкова // Сб. науч. тр. ВНИИЦиСК. – Сочи. – 1994. – Вып. 38. – С. 182–189.
8. Аристархов А.Н. Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка, качество продукции зерновых и зернобобовых культур / А.Н. Аристархов, В.П. Толстоусов, А.Ф. Харитонов // Агрохимия. – 2010. – № 9. – С. 36 – 49.
9. Багдасаров А.Г. Влияние микроудобрений на рост и развитие риса в условиях болотно-луговых почв Зеравшанской долины / А.Г. Багдасаров // Науч. тр. Таш. СХИ. Ташкент, – 1977. – вып.75. – 105 с.

10. Багиров А.Ю. Танин и качество чая / А.Ю. Багиров // Субтропические культуры. – 1972. – № 2. – С. 29–31.
11. Барабадзе Л.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений на состояние марганца в системе "почва – чайный куст" / Л.А. Барабадзе, А.И. Обухов // Агрoхимия. – 1981. – № 10. – С. 125–134.
12. Барабадзе Л.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений на состояние микроэлементов (В, Мп, Fe, Cu, Zn) в системе краснозем - чайный куст: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук: 06.01.04 / Барабадзе Лиана Александровна. – Тбилиси, –1984. – 24 с.
13. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве / С.А. Барбер. – М.: ВО «Агропромиздат», 1988. – 314 с.
14. Белоус О.Г. Характеристика пигментного аппарата растений чая в условиях влажных субтропиков России / О.Г. Белоус, З.В. Притула // Субтропическое и декоративное садоводство: сб. науч. тр. – Сочи: ВНИИЦиСК. – 2004. – Т. 39. – № 2. – С. 300–310.
15. Белоус О.Г. Микроэлементы на чайных плантациях субтропиков России / О.Г. Белоус. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 164 с.
16. Белоус О.Г. Роль микроэлементов в повышении адаптации и побегообразовательной способности растений чая в условиях субтропиков России / О.Г. Белоус, З.В. Притула // Сб. тр. Адыг. фил. ГНУ ВНИИЦиСК. – Майкоп: Адыг. республ. кн. изд-во. – 2008. – С. 130–135.
17. Белоус О.Г. Биологические особенности культуры чая в условиях влажных субтропиков России: дис. ... д-ра биол. наук: 06.01.07 / Белоус Оксана Геннадьевна. – Краснодар, 2009. – 314 с.
18. Белоус О.Г. Методические рекомендации по применению диагностических показателей устойчивости растений чая к стресс-факторам / О.Г. Белоус, А.В. Рындин, З.В. Притула. – Сочи, 2009. – 50 с.
19. Белоус О.Г. Показатели урожайности растений чая при внесении микроэлементов / О.Г. Белоус, З.В. Притула // Субтропическое садоводство России, науч.тр. – Сочи, ВНИИЦиСК. – 2010. – вып. 43. – т. 1. – С. 76–82 –

ISSN: 2225-3068.

20. Белоус О.Г. Влияние минеральных удобрений на пигментный состав листьев растений чая в условиях субтропиков России / О.Г. Белоус, Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова // Субтропическое и декоративное садоводство: сб. научн. тр. ГНУ ВНИИЦ и СК Россельхозакадемии. – 2011. – Вып. 44. – С.135–143.

21. Белоусов В.С. Бурые лесные почвы зоны влажных субтропиков Черноморского побережья Краснодарского края / В.С. Белоусов // Субтроп. культуры. – 1967. – № 4. – С. 164–174.

22. Беседина Т.Д. Агрогенная трансформация почв влажных субтропиков России под культурой чая / Т.Д. Беседина – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2004. – 169 с.

23. Беседина Т.Д. Агроэкологические требования культуры чая в субтропиках России / Т.Д. Беседина, В.К. Козин // Сборник научных трудов «Биоресурсы, биотехнологии, экологически безопасное развитие агропромышленного комплекса». – Сочи. – 2007. – Вып. 40. – С. 202–211.

24. Бзиава М.Л. Удобрение субтропических культур / М.Л. Бзиава – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1973. – 234 с.

25. Бзиава М.Л., Барабадзе Л.А. Влияние продолжительного применения минеральных удобрений на соотношение элементов и пути их урегулирования / М.Л. Бзиава, Л.А. Барабадзе // Эффективность применения удобрений в республиках Закавказья. – Тбилиси. – 1980. – С. 217–219.

26. Бокучава М.А. Бактериостатические и бактерицидные свойства отдельных фракций чайного танина по отношению к некоторым микробам клеточной группы / М.А. Бокучава, С.И. Бердыев // Биохимия чая и чайного производства – АН СССР. – М. – 1959. – Сб. 7. – С. 209–213.

27. Бокучава М.А. Влияние азотистых веществ на образование теафлавинов и теарубигинов при ферментации чая / М.А. Бокучава, В.Р. Попов, Т.В. Каверинская // Чай. Культура и производство – науч.-техн. реф. сб. ГрузНИИНТИ. – 1986. – № 6. – С. 14–18.

28. Будаговский А.В. Метод анализа функционального состояния культурных растений / А.В. Будаговский, О.Н. Будаговская, Ф. Ленц, А. Мировская, К. Элькаует // Пути повышения устойчивости садоводства: сб. науч. тр. / ВНИИС им. И.В. Мичурина. – Мичуринск. – 1998. – С. 98–113.
29. Будаговская О.Н. Новые оптические методы и приборы количественной оценки адаптивного потенциала садовых растений / О.Н. Будаговская // Плодоводство и ягодоводство России. – 2001. – Т. 28. – С. 74–79. – ISSN: 2073–4948.
30. Будаговская О.Н. Комплексная диагностика функционального состояния растений / О.Н. Будаговская, А.В. Будаговский, И.А. Будаговский, С.А. Гончаров С.А. // Научные основы эффективного садоводства: Труды ВНИИС им. И.В.Мичурина. – Воронеж: Кварта. –2006. – С. 101–110.
31. Будаговский А.В. Парадоксы оптических свойств зеленых клеток и их практическое применение / А.В. Будаговский, О.Н. Будаговская, И.А. Будаговский // Фотоника. – 2010. – С. 22–28.
32. Булыгин С.Ю. Микроэлементы в сельском хозяйстве / Л.Ф. Демишев, В.А. Доронин, А.С. Заришняк, Я.В. Пащенко, Ю.Е. Туровский, А.И. Фатеев, М.М. Яковенко, А.И. Кордин / под ред. д.с.-х.н., проф., чл.-корр. УААН С.Ю. Булыгина. – Дніпропетровськ: «Січ», 2007. – 100 с.
33. Бухов Н. Г. Динамическая световая регуляция фотосинтеза / Н.Г. Бухов // Физиология растений. – 2004. – № 51(6). – С. 825–837.
34. Бушин П.М. Почвы субтропической зоны Краснодарского края / П.М. Бушин // Докл. Соч. отд-ние Геогр. о-ва СССР / под ред. В.В. Воронцова и др. – Л.: 1971. – Вып. 2. – С. 139–163.
35. Бушин П.М. Агрометеорологические факторы и их использование для оценки и прогноза эффективности орошения чайных плантации / П.М. Бушин // Водный режим и орошение плодовых и субтропических культур в горных условиях. Сочи. – 1975(а). – Вып. 21. – С. 8–43.
36. Бушин П.М. О влиянии температуры и влажности воздуха на

урожай чайного листа в субтропической зоне Краснодарского края / П.М. Бушин // Метеорология и гидрология. – 1975(б). – № 3 – С. 93–100.

37. Бушин П.М. Почвенно-гидрологические условия и эффективность орошения чайных плантаций в горно-субтропической зоне / П.М. Бушин // Водный режим и орошение плодовых и субтропических культур в горных условиях: тр. / ВНИИГСиЦ.: Сочи. – 1975(в). – Вып. 21. – С. 43–93.

38. Бушин П.М. Агрофизическая характеристика почв чайных плантаций в субтропических районах Краснодарского края / П.М. Бушин // Агрофизическая характеристика почв предгорных и горных районов юга СССР. – М.: Колос, 1980. – С. 5–29.

39. Бушин П.М. Водный режим почв чайных плантаций и обоснование поливного режима чая во влажных субтропиках РСФСР: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.01.02 / Бушин Павел Михайлович. – Краснодар, 1982. – 44 с.

40. Бушин П.М. Роль минеральных удобрений и растительных остатков в повышении плодородия почвы чайных плантаций / П.М. Бушин // Выращивание субтропических культур на Черноморском побережье Краснодарского края: науч. тр. ВНИИГСиЦ.: Сочи. – 1985. – Вып. 32. – С. 17–34.

41. Бушин П.М. О критериях бонитировки почв чайных плантаций субтропиков России / П.М. Бушин, Т.Д. Беседина, С.С. Копылов // Цветочные, субтропические и плодовые культуры на юге России: сб. науч. тр. под. ред. В.В. Воронцова и др. – Сочи. – 1994. – Вып. 38. – С. 128–141.

42. Бушин П.М. Влияние минеральных удобрений на урожай и качество чая сорта Колхида в условиях субтропиков России / П.М. Бушин, З.В. Притула, Л.С. Малюкова // Бюл. ВНИИУиА им. Д.Н. Прянишникова. – 2001. – № 114. – С. 68–69.

43. Вальков В.Ф. Почвы Юга России: классификация и диагностика / В.Ф. Вальков, С.И. Колесников, К.Ш. Казеев. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 168 с.

44. Великий А.В. Влияние минеральных удобрений на урожай чая сорта Колхида после омолаживающей подрезки в субтропиках России / А.В. Великий // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых: «Научное обеспечение агропромышленного комплекса». – Краснодар, КубГАУ. – 2010. – С. 112–113.

45. 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.

46. 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 плодородия 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.

47. 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.

48. Великий А.В. Влияние метеорологических условий на продуктивность чайного растения на фоне внесения макро- и микроудобрений / А.В. Великий // Плодородие и ягодоводство России. – 2016. – Т. 47. – С. 62–69. – ISSN: 2073–4948.

49. 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.

50. 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.

51. 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. – ISSN: 2072-0386. – DOI: 10.26178/AE.2020.70.43.004.

52. 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 .

53. Веселовский В.А. Люминесценция растений. Теоретические и прикладные аспекты / В.А. Веселовский, Т.В. Веселова. – М.: Наука, 1990. – 200 с.

54. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.

55. Владыченский А.С. Гумусное состояние буроземов и его изменение при интенсивном возделывании культуры чая в условиях субтропической зоны РФ / А.С. Владыченский, Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. Почвоведение. – 2007. – № 4. – С. 10–16.

56. Воронцов В.Е. Биохимия чая / В.Е. Воронцов – М.: Пищепромиздат, 1946. – 278 с.
57. Воронцов В.В. Проблема рационального использования земель в горных районах Кавказа / В.В. Воронцов // Научные труды НИИГСиЦ. – Сочи. – 1980. – Вып. 27. – С. 3–9.
58. Воронцова Р.В. Качество чайного сырья в зависимости от видового и сортового состава и условий культуры / Р.В. Воронцова // Бюллетень ВНИИЧисК. – 1950. – № 2. – С. 12–39.
59. Габисония М.В. Действие доз и форм азотных удобрений на урожай чайного листа и агротехнические свойства подзолистых почв / М.В. Габисония – М: Сельхозгиз. – 1979. – т. 2. – С. 34–37.
60. Гаевский Н.А. Использование переменной и замедленной флуоресценции хлорофилла для изучения фотосинтеза растений / Н.А. Гаевский, В.Н. Моргун // Физиология растений. – 1993. – Т. 40, – № 1. – С. 136–145.
61. Галактионов И.И. Почва и удобрения в субтропическом хозяйстве / И.И. Галактионов // отв. ред. Н.М. Вильчинский. – Сочи: Типогр. УСМК, 1947. – 140 с.
62. Гвасалия В.П. Разработка и совершенствование технологии, селекция, сортоизучение чая для горно-субтропической зоны Краснодарского края / П.В. Гвасалия, В.А. Попова // Отчет институт горного садоводства и цветоводства о НИР за 1972 года. – Сочи. – 1973. – Кн. 4 – С. 97–127.
63. Гвасалия В.П. Разработка и совершенствование технологии, селекция, сортоизучение чая для горно-субтропической зоны Краснодарского края / П.В. Гвасалия, В.А. Попова // Отчет институт горного садоводства и цветоводства о НИР за 1973 года. – Сочи. – 1974. – Кн. 4 – С. 60–78.
64. Гвасалия В.П. Разработка и совершенствование технологии, селекция, сортоизучение чая для горно-субтропической зоны Краснодарского края / П.В. Гвасалия, В.А. Попова // Отчет институт горного садоводства и цветоводства о НИР за 1974 года. – Сочи. – 1975. – Кн. 4 – С. 76–103.

65. Георгадзе Е.Ю. Влияние режима усиленного питания на накопление марганца в чайном листе и на качество готовой продукции / Е.Ю. Гиоргадзе // Субтропические культуры. – 1963. – № 1. – С. 15–19.

66. Герасимов И.П. Почвенный покров и характеристика почв пригодных для культуры чая на территории адлерского района / И.П. Герасимов // Природные условия Северо-Западного Кавказа и пути рационального использования их в сельскохозяйственном производстве. – М. – Л., 1951. – Ч. 2. – С. 21–30.

67. Герасимова М.И. География почв России – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 312 с.

68. Гинзбург К.Е. Ускоренный метод сжигания почв и растений / К.Е. Гинзбург, Г.М. Щеглова, Е.В. Вульфийус // Почвоведение. – 1963. – № 5. – С. 89–96.

69. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР / К.Е. Гинзбург. – М.: Наука, 1981. – 244 с.

70. Годзиашвили Б.А. Проблема химической мелиорации длительноудобряемых почв под чайными плантациями / Б.А. Годзиашвили. – Субтр. культуры. – 1969. – №6. – С. 168–178.

71. Годзиашвили Б.А. Влияние корректировки почвенной кислотности краснозема на рост и развитие чайных саженцев // Сб. науч. тр. Субтропическое и южное садоводство России. – 2009. – Т. II. – Вып. 42. – С. 78 – 86. – ISSN: 2225-3068.

72. Голетиани Г.И. Влияние длительного применения минеральных удобрений на свойства красноземной почвы и урожайность чайной плантации / Г.И. Голетиани. – Почвоведение. – 1958. – № 23. – С. 20–38.

73. Голетиани Г.О. Влияние минеральных удобрений на свойства почвы и урожайность чайной плантации / О.Г. Голетиани. – Тбилиси: Сабчота сакартвело, 1960. – 150 с.

74. Голетиани Г.И. Чайное растение и подвижный алюминий почвы / Г.И. Голетиани // Химия в сельск. хоз-ве. – 1965. – № 2. – С. 7–12.

75. Голетиани Г.И. Основы удобрения чайной плантации / Г.И. Голетиани – Сухуми: Алашара, 1976. – 192 с.
76. Голов В.И. Сера и основные микроэлементы в почвах дальнего востока при многолетнем применении удобрений / В.И. Голов, С.В. Теплякова // Агрохимия. – 2000. – № 10. – С. 20–27.
77. Гольцев В.Н. Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений / В.Н. Гольцев, Х.М. Каладжи, В. Бафа, Т. Хорачек, Я. Мойски, Х. Коцел, С.И. Аллахвердиев // Физиология растений. – 2016. – Т. 63. – № 6. – С. 881–907.
78. Гузев В.С. Перспективы эколого-микробиологической экспертизы состояния почв при антропогенных воздействиях / В.С. Гузев, С. В. Ленвин // Почвоведение. – 1991. – № 9. – С. 50–62.
79. Гутиев Г.Т. Климат и морозостойкость субтропических растений / Г.Т. Гутиев, А.С. Мосияш. – М.: Гидрометеиздат, 1977. – 231 с.
80. Даденко Е.В. Методические аспекты применения показателей ферментативной активности в биодиагностике и биомониторинге почв: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Даденко Егения Валерьевна. – Ростов-на-Дону, 2004. – 190 с.
81. Дараселия М.К. Культура чая в СССР / М.К. Дараселия, В.В. Воронцов, В.П. Гвасалия, В.П. Цанава // под ред. Р. Д. Панцхава. – Тбилиси: Мецниереба, 1989. – 558 с. – ISBN 5-520-00355-6.
82. Деградация и охрана почв / под общей ред. Акад. РАН Г.В. Добровольского. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.
83. Дж. Скок Функция бора в растительной клетке / Дж. Скок // кн «Микроэлементы», М.: Издательство иностранной литературы, 1962. – 512 с.
84. Джемухадзе М.К. Дубильные вещества и качество чайного сырья / М.К. Джемухадзе // Биохимия чайного производства. – М., 1950. – Сб. 6. – С. 39–52.
85. Дзадзуа О.Л. Влияние микроэлементов хелатных соединений и

клиноптилолита на качество чая: автореф. дис. ... с.-х. канд. наук: 06.01.10 / Дзадзуа Онери Леонтьевич. – Сухуми, 1991. – 25 с.

86. Добежина С.В. Влияние минеральных удобрений на агрохимические свойства почв и продуктивность культуры чая в условиях Краснодарского края Москва: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04 / Добежина Светлана Владимировна. – М., 1998. – 17 с.

87. Догондзе З.Д. Влияние внешних условий на химический состав чайного листа / З.Д. Догондзе // Субтропические культуры. – 1969. – № 2. – С. 76–84.

88. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 350 с.

89. Дьяченко В.В. Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа / В.В. Дьяченко // отв. ред. А.Е. Воробьев; Ростов на Дону: Изд-во Комплекс, 2004. – 267 с.

90. Загоскина Н.В. Влияние микроэлементов на накопление фенольных соединений в молодых флешах чайного растения / Н.В. Загоскина, П.В. Лапшин, Ф.Е. Чистяков, Л.С. Малюкова, З.В. Притула, Л.В. Назаренко // Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты: Сборник материалов IX Международного симпозиума. Москва. – М.: ИФР РАН. – 2015. – С. 272–276.

91. Зонн С.В. Горно-лесные почвы Северо-Западного Кавказа / С.В. Зонн. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 333 с.

92. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. В 6 томах. Т. 2. Главные р-элементы / В.В. Иванов. – М.: Недра, 1995. – 303 с.

93. Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (Mn, Cu, Mo, V) в южной части Западной Сибири / В.Б. Ильин, Новосибирск, 1973. – 391 с.

94. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Изд-во Мир, 1989. – 430 с.

95. Казеев К.Ш. Биология почв Юга России / К.Ш. Казеев, С.И.

Колесников, В.Ф. Вальков. – Ростов н /Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. – 349 с.

96. Карапетян Н.В. Переменная флуоресценция хлорофилла как показатель физиологического состояния растений / Н.В. Карапетян, Н.Г. Бухов // Физиология растений. – 1986. – Т. 33, – Вып. 5. – С. 1013–1026.

97. Карманов И.И. Природно-хозяйственная группировка земель России на почвенно-экологической основе / И.И. Карманов, Д.С. Булгаков // Почвоведение. – 2005. – № 10. – С. 165–173.

98. Качарава О.Н. Некоторые вопросы эффективности азотных удобрений на чайной плантации / О.Н. Качарава // Бюл. ВНИИЧиСК. – 1957. – № 2. – С. 27–49.

99. Кибаленко А.П. Физиологическое значение бора для растений и применение удобрений: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.00 / Кибаленко Афанасий Павлович. – Киев, 1969. – 40 с.

100. Кибаленко А.П. Бор в жизни и продуктивности растений / А.П. Кибаленко. – Киев: Наукова думка. – 1973. – 220 с.

101. Классификация и диагностика почв СССР / авт.-сост. В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.И. Иванова, Н.Н. Розов, В.А. Носин, Т.А. Фриев. – М.: Колос, 1977. – 223 с.

102. Классификация и диагностика почв России / авт.-сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова / под ред. Г.В. Добровольского. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

103. Козин В.К. Методика комплексной агроэкологической оценки почв под многолетними насаждениями / В.К. Козин, Т.Д. Беседина, П.М. Бушин. – Сочи: ГНУ ВНИИЦиСК, 1992. – 45 с.

104. Козин В.К. Земельные ресурсы субтропиков России и их рациональное использование / В.К. Козин, Т.Д. Беседина // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Владикавказ. – 1996. – С. 109–110.

105. Козин В.К. Оценка климатических ресурсов Черноморского побережья для целей субтропического растениеводства / В.К. Козин, Р.К. Габитов // 110 лет в субтропиках России // Сб. науч. тр. – Сочи, 2004. – Вып.

39. – ч. 2. – С. 233–242.

106. Козин В.К. Оценка почвенно-экологических условий садовых ценозов субтропиков России: учеб. пособие / В.К. Козин. – Краснодар, 2005. – 132 с.

107. Козин В.К. Моделирование зависимости уровня урожайности чайных плантаций от агрофизических свойств почв на примере субтропиков России / В.К. Козин // Материалы междунар. науч. конф., посвященной 165-летию Сухумского Ботанического сада и 110-летию Сухумского субтроп. дендропарка Ин-та ботаники АНА. – Сухум. – 2006. – С. 250–252.

108. Козлова Н.В. Влияние длительного применения минеральных удобрений на кислотно-основное состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков России / Н.В. Козлова, Л.С. Малюкова // Агрохимия. – 2007. – № 9. – С. 3–9.

109. Козлова Н.В. Состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений в субтропиках России: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27 / Козлова Наталья Васильевна. – М., 2008. – 170 с.

110. Козлова Н.В. Особенности гумусного состояния бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков России при различных режимах минерального питания / Н.В. Козлова, Л.С. Малюкова // Гуминовые вещества в биосфере: тр. 5-й Всерос. конф. Ч. 2. – СПб. – 2010(а). – С. 539–546.

111. Козлова Н.В. Особенности азотного режима почв чайных плантаций субтропиков России / Н.В. Козлова, Л.С. Малюкова, В.В. Керимзаде // Субтропическое и южное садоводство России: науч. тр. / ГНУ ВНИИЦ и СК Россельхозакадемии. Вып. 43. – Т. 1. – Сочи, 2010 (б). – С. 21–33.

112. Козлова Н.В. Фосфор в системе почва – чайное растение в условиях субтропиков России / Н.В. Козлова, Л.С. Малюкова // Субтропическое и южное садоводство России: науч. тр. / ГНУ ВНИИЦ и СК Россельхозакадемии. – Сочи. – 2010(в). Вып. 43. – Т. 1. – С. 33–41.

113. Козлова Н.В. Скорость агрогенной acidизации бурых лесных почв чайных плантаций в условиях влажных субтропиков России / Н.В. Козлова, В.В. Керимзаде // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – № 51. – С. 259–267. – ISSN 2073-4948.

114. Козлова Н.В. Динамика азотного фонда бурых лесных почв влажных субтропиков России в многофакторном полевом опыте с удобрениями на культуре чая / Н.В. Козлова, В.В. Керимзаде // Плодоводство и ягодоводство России. – 2018(а). – Т. 53. – С. 138–146. – ISSN 2073-4948.

115. Козлова Н.В. Фосфатный режим бурых лесных кислых почв субтропиков РФ при эксплуатации чайных плантаций с различной нагрузкой удобрениями / Н.В. Козлова, В.В. Керимзаде // Плодоводство и ягодоводство России. – 2018(б). – Т. 54. – С. 246–253. – ISSN 2073-4948.

116. Козлова Н.В. Калийный статус почв в зависимости от схем и длительности применения удобрений при возделывании чая в субтропиках России / Н.В. Козлова, Л.С. Малюкова, В.В. Керимзаде // АгроЭкоИнфо. – 2018. – № 3. – С. 11. – eISSN: 1999-6403.

117. Кондаков А.К. Удобрение плодовых деревьев, ягодников, питомников и цветочных культур / А.К. Кондаков; рец. Н.А. Арзыбов и др. ВНИИС им. И.В.Мичурина. – Мичуринск: ООО «Бис», 2007. – 328 с.

118. Контридзе А.Н. Динамика синтеза органических веществ чая в течение вегетационного периода / А.Н. Контридзе // Субтропические культуры. – 1977. – № 3. – С. 50–52.

119. Корзун Б.В. Изучение наиболее адаптивных и перспективных образцов чая для возделывания в условиях Адыгеи / Б.В. Корзун // Материалы научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития садоводства и культуры в республике Адыгея», посвященной 70-летию развития чаеводства и 40-летию образования научного учреждения по чаю в Республике Адыгея: Майкоп. – 2008. – С. 121–127.

120. Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилл / Д.Ю. Корнеев. – Киев: Альтепрес, 2002. – 188 с.
121. Кудеяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В.Н. Кудеяров. – М.: Наука, 1989. – 216 с.
122. Кудеярова А.Ю. Фосфатогенная трансформация почв / А.Ю. Кудеярова. – Рос. акад. наук, Ин-т почвоведения и фотосинтеза. – М.: Наука, 1995. – 285 с.
123. Курсанов А.Л. Методы химического контроля чая / А.Л. Курсанов, П.Н. Колесников, Н.Н. Крюкова // Биохимия чайного производства. – М.-Л.: Изд-во АН СССР. – 1937. – Сб. 3. – С. 7–47.
124. Лежава В.В. Влияние микроэлементов на урожайность чайного листа / В.В. Лежава // Сообщение АН Груз. ССР. – 1956. – Т. 15. – № 8. – С. 56–77.
125. Ливеровский Ю.Л. К географии и генезису бурых лесных почв // Проблемы генезиса и географии почв. – М.: Наука. – 1987. – С. 178–189.
126. Лоскутникова А.И. Почвы Дагомьисского чайсовхоза Лазаревского района г. Сочи и рекомендации по их использованию / А.И. Лоскутникова, Г.В. Завитков, З.С. Марченко. – Краснодар: Кубаньгипрозем, 1981. – 98 с.
127. Лошкарёва С.В. Биологические и хозяйственные свойства гибридов F1 от свободного опыления чая *Camelia sinensis* (L.) Kuntze во влажных субтропиках России: дис. ... канд. биол. наук: 06.01.05 / Лошкарёва Светлана Викторовна. – Сочи, 2019. – 163 с.
128. Мадраимов И.И. Эффективность форм азотных удобрений на посевах чая и хлопчатника / И.И. Мадраимов, П.В. Протасов, Г.И. Яровенко. – М.: Агропромиздат. – 1966. – С. 213–239.
129. Малюкова Л.С. Состояние меди и цинка в бурых лесных почвах чайной плантации Черноморского побережья Краснодарского края / Л.С. Малюкова, М.С. Малинина // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – № 5. – С. 28–30.

130. Малюкова Л.С. Состояние микроэлементов (Mn, Cu, Zn) в бурых лесных почвах чайных плантаций Черноморского побережья Краснодарского края: дис... канд. биол. наук: 03.00.27 / Малюкова Людмила Степановна. – Сочи, 1997. – 173 с.

131. Малюкова Л.С. Влияние длительного применения минеральных удобрений на химический состав бурой лесной кислой почвы под чайной плантацией в условиях влажных субтропиков России / Л.С. Малюкова, В.А. Аргунова, И.В. Юткина, А.А. Губарева // *Агрохимия*. – 1999. – № 10. – С. 33–40.

132. Малюкова Л.С. Особенности поведения металлов (Mn, Zn, Cu) в бурой лесной кислой почве под чайной плантацией в условиях влажных субтропиков России / Л.С. Малюкова, М.С. Малинина // *Агрохимия*. – 2001. – № 3. – С. 62–68.

133. Малюкова Л.С. Особенности влияния технологии возделывания культуры чая на кислотно-основные характеристики бурых лесных кислых почв субтропиков России / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова // *Роль почв в сохранении устойчивости ландшафтов и ресурсосберегающее земледелие: мат. междунар. науч.-практ. конф.* – Пенза. – 2005. – С. 202–204.

134. Малюкова Л.С. Оптимизация доз минеральных удобрений на плантациях чая / Л.С. Малюкова, З.В. Притула, Н.В. Козлова, О.В. Липова // *Садоводство и виноградарство*. – 2007(а). – № 1. – С. 20–23.

135. Малюкова Л.С. Некоторые механизмы реализации научных принципов создания устойчивых агроэкосистем в субтропическом земледелии / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова, Д.В. Струкова, Е.В. Рогожина // *Биоресурсы, биотехнологии, экологически безопасное развитие агропромышленного комплекса: сб. науч. тр.; ГНУ ВНИИЦиСК*. – Сочи. – 2007(б). – Вып. 40. – С. 232–248.

136. Малюкова Л.С. Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций / Л.С. Малюкова, А.В. Рындин, Н.В. Козлова // *Вестн. Рос. акад. с.-х. наук*. – 2008. – № 4. – С. 26–27.

137. Малюкова Л.С. Урожайность растений чая сорта Колхида в зависимости от комплекса абиотических и агрогенных факторов / Л.С. Малюкова // С.-х. биология. – 2009. – № 3. – С. 29–33.

138. Малюкова Л.С. Агрохимический блок модели плодородия для бурых лесных кислых почв чайных плантаций субтропиков России / Л.С. Малюкова // Субтропическое и южное садоводство России: науч. тр. / ГНУ ВНИИЦ и СК Россельхозакадемии. – Сочи, 2010. – Вып. 43. – Т. 1. – С. 41–51.

139. Малюкова Л.С. Методические рекомендации по комплексной почвенно-растительной диагностике минерального питания чая / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова. – Сочи: ВНИИЦ и СК РАСХН, 2010. – 37 с. – ISBN: 978-5-904533-05-2.

140. Малюкова Л.С. Система удобрения плантаций чая в субтропиках России / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова, З.В. Притула. – Сочи: ГНУ ВНИИЦ и СК Россельхозакадемии, 2010. – 45 с.

141. Малюкова Л.С. Микроэлементы в системе почва – чайное растение в условиях субтропиков России / Л.С. Малюкова. – Сочи: ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии, 2011. – 114 с.

142. 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. – ISSN: 2072-0386.

143. Малюкова Л.С. Эффективность применения фосфорных удобрений при выращивании чая в условиях Черноморского побережья России / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова // Субтропическое и декоративное садоводство: науч. тр. / ГНУ ВНИИЦ и СК Россельхозакадемии. – Сочи. – 2013. – Вып. 49. – С. 332–340.

144. Малюкова Л.С. Оптимизация плодородия бурых лесных почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в условиях Черноморского побережья России: дис. ... д-ра биол. наук: 06.01.04 / Малюкова Людмила Степановна. – Москва, 2013. – 343 с.

145. Малюкова Л.С. Оптимизация плодородия бурых лесных почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в России / Л.С. Малюкова. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2014. – 416 с. – ISBN 978-5-904533-22-9.

146. Малюкова Л.С. Великий А.В. 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.

147. Малюкова Л.С. Зональные типы почв влажных субтропиков Черноморского побережья России / Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова // Субтропическое и декоративное садоводство: науч. тр. / ГНУ ВНИИЦ и СК Россельхозакадемии. – Сочи. – 2016. – Вып. 56. – С. 146–156.

148. Малюкова Л.С. Состав и содержание флавоноидов в готовом чае, выращенном в условиях Черноморского побережья Краснодарского края / Л.С. Малюкова, Т.Г. Цюпко, З.В. Притула, О.Б. Воронова, К.С. Гуцаева, А.В. Великий // Фенольные соединения: функциональная роль в растениях: сборник научных статей. – М.: ИФР РАН. – 2018. – С. 272–277.

149. Малюкова Л.С. Влияние биогенных элементов (Ca, Mg) на активность каталазы в молодых побегах и листьях чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) / Л.С. Малюкова, З.В. Притула // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2019. – №60(6). – С. 114–123. – DOI: 10.30679/2219-5335-2019-6-60-114-123.

150. 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.

151. Медведев С.С. Кальциевая сигнальная система растений / С.С. Медведев // *Физиология растений*. – 2005. – № 52(2). – С. 282–305.

152. Местер И.М. Итоги исследований эффективности доз микроудобрений для риса в условиях болотно-луговых почв Зеравшанской долины / И.М. Местер, А.Г. Багдасаров // *Науч. тр. Самарк. СХИ. Ташкент*. – 1979. – вып.37. – С. 44–54.

153. Методические указания по технологии возделывания чая в субтропической зоне Краснодарского края / Т.П. Алексеева и др. – М-во сельск. хоз-ва; НИИ горн. садоводства и цветоводства; Фирма «Краснодарский чай». – Сочи, 1977. – 80 с.

154. Методические указания по определению микроэлементов в почвах, кормах и растениях методом атомно-абсорбционной спектроскопии / Н.А. Чеботарева и др. – М.: ЦИНАО, 1985. – 95 с.

155. Методика разработки нормативов окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая сельскохозяйственных культур / В.Г. Сычев и др. – М: ВНИИА, 2009. – 48 с.

156. Микроэлементы (бор, марганец, медь, цинк) в почвах Западной Грузии / Н.Г. Зырин, Г.С. Мотузова, В.Д. Симонов, А.И. Обухов // *Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах*. – М.: Изд-во МГУ. – 1979. – С. 3–159.

157. Мосияш А.С. Агроклиматическая характеристика субтропических районов Краснодарского края / А.С. Мосияш // *Докл. Сочинского отд. геогр. о-ва СССР*. Л.: 1971. – Вып. 2. – С. 80–94.

158. Мчедлидзе А.Б. Модели плодородия почв чайных плантаций Западной Грузии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Мчедлидзе Арчил Бидзонович. – Тбилиси, 1990. – 30 с.

159. Нараян Д.Д. Урожайность чайных плантаций и качество листа в зависимости от способов подкормки мочевиной при различной

водообеспеченности в субтропических районах Краснодарского края: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.10 / Нараян Дас Далжанян. – Краснодар – Сочи, 1985. – 210 с.

160. Никитина Л.В. Оценка калийного режима разных типов почв и эффективность калийных удобрений в длительных опытах: автореф. дис. ... канд. биол. наук 06.01.04 / Никитина Любовь Васильевна. – М., 1994. – 22 с.

161. Никитишен В.И. Поведение калия в системе почва – растение при различных условиях водного режима / В.И. Никитишен, В.И. Личко // Агрохимия. – 2007. – № 1. – С. 17–24.

162. Ониани Д.И. Влияние длительного удобрения чайных плантаций на некоторые свойства красноземных и подзолистых почв / Д.И. Ониани // Субтроп. культуры. – 1960. – № 2. – С. 47–60.

163. Ониани Д.И. Урожайность чайной плантации и содержание алюминия, железа, магния, цинка и меди в красноземных почвах и листьях чая в связи с длительным применением фосфорных удобрений / О.Г. Ониани, И.Т. Бурчуладзе, Е.А. Гобронидзе // Эффективность применения микроудобрений в республиках Закавказья: материалы науч. сов. – Тбилиси, 1980. – С. 56–57.

164. Ониани О.Г. Агрохимия калия / О.Г. Ониани. – М.: Наука, 1981. – 200 с.

165. Опарин А.И. Биохимическая теория чайного производства / А.И. Опарин // Биохимия чайного производства. – М.-Л.: Изд-во АН СССР. – 1935. – Сб. 1. – С. 3–14.

166. Орлов Д.С. Химия почв: учеб. / Д.С. Орлов; под науч. ред. Н.А. Жука. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 376 с.

167. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. — М.: Изд-во МГУ, 1990. – 331 с.

168. Орлов Д.С. Органическое вещество почв Российской Федерации / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, Н.И. Суханова. — М.: Наука, 1996. – 256 с.

169. Особенности калийного питания сельскохозяйственных растений

в оптимальных и неблагоприятных условиях / Н.В. Пухальская и др.; РАСХН, ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. – М.: ВНИИА, 2009. – 192 с.

170. Парибок Т.А. Взаимодействие цинка и фосфора в минеральном питании растений / Т.А. Парибок // Агрохимия. – 1970. – № 2. – С. 153–166.

171. Пейве Я.В. Агрохимия и биохимия микроэлементов / Я.В. Пейве. – М.: Наука, 1980. – 430 с.

172. Пилипенко В.Г. Изучить действие основных микроэлементов на фотосинтез, водный обмен, химический состав, урожайность и биологические показатели качества чайного сырья в условиях полевого опыта / В.Г. Пилипенко // Годовой отчет ВНИИЦиСК. – Сочи. – 1994. – С. 45–78.

173. Пирцхалайшвили С.Х. Научные основы эксплуатации чайных плантаций / С.Х. Пирцхалайшвили. – Тбилиси: Сабчота Сакартвело. – 1976. – С. 8–9.

174. Практикум по агрохимии: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. акад. РАСХН В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

175. Притула З.В. Влияние микроэлементов на химический состав и продуктивность растений чая / З.В. Притула, О.Г. Белоус // Бюллетень ВНИИИА им. Д.Н. Прянишникова. – 2001. – № 115. – С. 12–13.

176. Притула З.В. Методические рекомендации по внекорневой подкормке микроэлементами растений чая для молодых чайных плантаций / З.В. Притула, О.Г. Белоус. – М., 2003. – 14 с.

177. Притула З.В. Особенности влияния комплекса экологических факторов на биохимические показатели качества чая сорта Колхида в условиях субтропиков России / З.В. Притула, Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова // Науч. тр. Субтропическое и южное садоводство России. – ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. – Сочи. – 2009. – Вып. 42. – Т. 2. – С. 86–101.

178. Притула З.В. Влияние минеральных удобрений на биохимические показатели качества чайного листа сорта Колхида в условиях субтропиков России / З.В. Притула, Л.С. Малюкова Н.В. Козлова //

Агрохимия. – 2011. – № 3. – С. 33–40.

179. Притула З.В. Влияние мезо- и микроудобрений на качество чайного сырья в условиях Черноморского побережья России / З.В. Притула, А.В. Великий, Л.С., Малюкова // Плодоводство и ягодоводство России. – М.: ВСТИСиП. – 2014. – Том: XXXVIII. – №2. – С. 52–58. – ISSN: 2073-4948.

180. Притула З.В. Влияние мезоудобрений (Ca, Mg) на содержание кофеина в чайном растении в условиях влажных субтропиков России / З.В. Притула, Бехтерев В.Н., Л.С. Малюкова // Субтропическое и декоративное садоводство: науч. тр. ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. – Сочи. – 2015. – Вып. 54. – С. 185–192.

181. 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. 299–307. – ISSN: 2073-4948.

182. 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.

183. Рафик Али Салех Рост и продуктивность риса в зависимости от обеспеченности его цинком: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09 / Рафик Али Салех. – Краснодар, 1980. – 24 с.

184. Рекомендации по дифференцированному применению доз удобрений под чай / сост. М.Л. Бзиава и др. – М.: Колос, 1981. – 8 с.

185. Рекомендации по дифференцированному применению форм азотных удобрений и по периодичности внесения фосфорных и калийных удобрений на чайных плантациях / сост. М.Л. Бзиава и др. – М.: Колос, 1979. – 14 с.

186. Романова А.Д. Биохимическая характеристика чая и фотосинтез чайного растения в условиях Краснодарского края: автореф. дисс. ...к. с.-х. наук: 06.00.00 / Романова Антонина Дорофеевна. – М., 1956. – 20 с.

187. Ромашкевич А.И. Генетическая характеристика бурых горно-лесных почв юго-восточной части Краснодарского края / А.И. Ромашкевич // Почвенно-географические исследования и использование аэрофотосъемки в картировании почв: сб. – М.: АН СССР. – 1959. – С. 217–282.

188. Рындин А.В. Адаптивное садоводство влажных субтропиков России: дис... д-ра с.-х. наук: 06.01.07 / Рындин Алексей Владимирович. – Краснодар, 2009(а). – 380 с.

189. Рындин А.В. Земельные ресурсы зоны влажных субтропиков России / А.В. Рындин // Субтропическое и южное садоводство России: науч. тр. / ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. – Сочи. – 2009(б). – Вып. 42. – Т. 2. – С. 15–24.

190. Рындин А.В. Принципы оптимального размещения культуры чая на территории Черноморского побережья России / А.В. Рындин, В.К. Козин, Т.Д. Беседина // Субтропическое и южное садоводство России: науч. тр. ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. – Сочи. – 2009(в). – Вып. 42. – Т. 2. – С. 145–148.

191. Рындин А.В. Пути решения эколого-агрохимических проблем в субтропическом садоводстве / А.В. Рындин, Л.С. Малюкова // Субтроп. культуры. – 2010. – № 1–4. – С. 191–193.

192. Рындин А.В. Инвентаризационный паспорт чайной плантации. Методика и нормативная документация / А.В. Рындин, Т.Д. Беседина, М.Т. Туов, В.К. Козин, З.В. Притула, Л.С. Малюкова, Н.В. Козлова, А.С. Терешкин. – Сочи: ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии, 2011. – 30 с.

193. Рындин А.В. Агроэкологические аспекты садоводства влажных субтропиков России / А.В. Рындин. – Сочи, 2016. – 260 с.

194. Рындин А.В. Особенности элементного состава Краснодарского чая сорта Колхида / А.В. Рындин, Л.С. Малюкова, Т.Г. Цюпко, О.Б. Воронова, К.С. Гушаева // Новые технологии. – 2018. – №4. – С. 224–229.

195. Саришвили И.Ф. Влияние систематического применения удобрений на окультуривание почв чайных плантаций / И.Ф. Саришвили // Плодородие почвы: тр. / МКП. – М., 1974. – Т. 4. – С. 54–67.

196. Селянинов Г.Т. Перспективы субтропического хозяйства в СССР в связи с природными условиями / Г.Т. Селянинов. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 195 с.

197. Сергеева Н.Н. 15-летний мониторинг состояния плодородия садовых почв на юге России / Н.Н. Сергеева, Н.Г. Пестова, О.В. Ярошенко // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – № 2 (4). – С. 185–189.

198. Сергеева Н.Н. Содержание микроэлементов под плодовыми насаждениями при внесении органоминеральных удобрений / Н.Н. Сергеева, Н.Г. Пестова, О.В. Ярошенко // Земледелие. – 2016. – №. 1. – С. 11–13. – ISSN: 0044-3913.

199. Сергеева Н.Н. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на агрохимические свойства серой лесостепной почвы предгорной зоны Краснодарского края / Н.Н. Сергеева, О.В. Ярошенко // Плодоводство и ягодоводство. – 2019. – Т. 58. – С. 350–355. – ISSN: 2073–4948.

200. Соболевский В.С. Влияние микроэлементов на урожайность и качество чая / В.С. Соболевский, А.А. Никольская, Р.С. Ариэль, Н.А. Волокитина // Земледелие. – 1984. – № 4. – С. 48–49.

201. Софронова В.Е. Роль пигментной системы вечнозеленого кустарничка *Erhedra monosperma* в адаптации к климату центральной Якутии / В.Е. Софронова, В.А. Чепалов, О.В., Дымова, Т.К. Головки // Физиология растений. – 2014. – №61(2). – С. 266–274. – DOI: 10.7868/s001533031401014x.

202. Струкова Д.В. Биологическая активность бурых лесных почв агроценозов чая, персика, фундука при длительном применении минеральных удобрений в условиях Черноморского побережья России: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04 / Струкова Дарья Викторовна. – М., 2014. – 23 с.

203. Сычев В.Г. Приемы оптимизации фосфатного режима почв в

агротехнологиях / В.Г. Сычев, Н.А. Кирпичников. – РАСХН, ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. – М.: ВНИИА, 2009. – 176 с.

204. Сычёв В.Г. Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления / В.Г. Сычёв В.Г., А.Н. Аристархов, А.Ф. Харитонов, В.П. Толстоусов, Н.К. Ефимова, Н.Н. Бушуев. – Рос. акад. сельскохоз. наук, ГНУ ВНИИ агрохимии им. Д.Н.Прянишникова. – М.: ВНИИА, 2009(а). – 520 с.

205. Сычев В.Г. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Т. 1. Агрохимические аспекты роли азота в продукционном процессе / В.Г. Сычев, О.А. Соколов, Н.Я. – Всерос. НИИ агрохимии. – М.: ВНИИА, 2009(б). – 424 с.

206. Тенешвили П.П. Влияние форм N-удобрений на качество чайного листа / П.П. Тенешвили, М.Н. Гурабанидзе // Субтроп. культуры. – 1972. – № 4. – С. 13–16.

207. Тонконоженко Е.В. Микроэлементы в почвах, водах и растениях Краснодарского края: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 03.00.00 / Тонконоженко Евгений Васильевич. – М., 1969. – 45 с.

208. Туов М.Т. Особенности побегообразования чая сорта Колхида в условиях Краснодарского края / Т.М. Туов // Сб. науч. тр. Выращивание чая и субтропических культур на Черноморском побережье РСФСР – Сочи: 1989. – Вып. 36. – С. 3–9.

209. Туов М.Т. Научные основы повышения качества и продуктивности чайных плантаций России: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.09, 06.01.05 / Туов Маджид Тахирович. – ГНУ ВНИИЦиСК Россельхозакадемии. – Сочи, 1997. – 417 с.

210. Филиппов Л.А. Водный режим чайного растения в связи с почвенно-климатическими особенностями и орошением в условиях Краснодарского края / Л.А. Филиппов // Тр. НИИГС и Ц. Сочи. – 1971. – Вып. 21. – С. 102–122.

211. Филиппов Л.А. Рефрактометрический метод и принципы диагностирования сроков полива чайных растений / Л.А. Филиппов // Водный режим и орошение плодовых и субтропических культур в горных условиях: труды НИИГСиЦ. – 1975. – №21. – С. 102–122.

212. Филиппова Н.А. Изменение содержания азота и фосфора во флешах чайного растения в период вегетации / Н.А. Филиппова // Агрохимия. – 1970. – № 1. – С. 62–64

213. Филиппова Н.А. Об отборе почвенных образцов для оценки питательного режима чайного растения / Н.А. Филиппова // Почвоведение. – 1974. – № 3. – С. 120–124.

214. Филиппова Н.А. Эффективность Mg – содержащих удобрений на чайных плантациях Краснодарского края / Н.А. Филиппова, А.И. Троянская // Годовой отчет ВНИИЦ и СК. – Сочи. – 1976. – книга 2 – С. 59–63.

215. Фридланд В.М. Бурые лесные почвы Кавказа / В.М. Фридланд // Почвоведение. – 1953. – № 12. – С. 28–44.

216. Цанава В.П. Агрохимические основы азотного питания чайного растения / В.П. Цанава. – Тбилиси: Мецниериба. – 1985. – 187 с.

217. Церлинг В.В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В.В. Церлинг / отв. ред. А.В. Соколов. – М.: Наука, 1978. – 216 с.

218. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур / В.В. Церлинг. – М.: ВО «Агропроиздат», 1990. – 235 с.

219. Чантурия И.А. Отношение C:N на разных типах почв Грузинской ССР / И.И. Чантурия // Субтропические культуры. – 1970. – № 1. С 161–164.

220. Чимитдоржиева Э.Ю. Особенности эмиссии углекислого газа из мучнистокарбонатных черноземов Тунгуйской котловины Забайкалья / Э.Ю. Чимитдоржиева, Г.Д. Чимитдоржиева // Агрохимия. – 2010. – № 11. – С. 45–49.

221. Чхаидзе Г.И. Чаеводство / Г.И. Чхаидзе, А.Д. Микеладзе. – М.: Агропромиздат, 1991. – 205 с.

222. Шавишвили Л.М. Влияние магния и микроэлементов В, Zn, Со и Мо на некоторые физиолого-биохимические процессы чайного растения: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.12 / Шавишвили Лиана Михайловна. – Тбилиси, 1973. – 26 с.

223. Шеуджен А.Х. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях риса под влиянием микроудобрений / А.Х. Шеуджен, О.А. Досеева, Е.П. Алёшин // Вестн. с.-х. науки. – 1991. – № 2. – С. 97–102.

224. Шеуджен А.Х. Микроудобрения и регуляторы роста растений на посевах риса / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек, А.П. Науменко, А.К. Шпахавцев. – Майкоп: ОАО «Полиграф-Юг», 2010. – 293 с.

225. Шеуджен А.Х. Удобрения и оценка экономической эффективности их применения: учеб. пособие / А.Х.Шеуджен, И.Т. Трубилин, Л.М. Онищенко. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 331 с.

226. Шеховцова Л.И. Влияние ширины шпалеры на побегообразовательную способность чайного растения / Л.И. Шеховцова // Сб. науч. тр. Выращивание чая и субтропических культур на Черноморском побережье РСФСР – Сочи. – 1989. – Вып. 36. – С. 10–14.

227. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник. – Л.: Наука, 1974. – 324 с.

228. Шлык А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов зеленых листьев. Биологические методы в физиологии растений / А.А. Шлык. – М., 1971. – С. 154–170 с.

229. Экономический анализ / под ред. Н. Войтоловского, А.П. Калининой, И.И. Мазуровой. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 548 с.

230. Яковлева В.В. О роли бора в углеводном обмене растений / В.В. Яковлева // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М., 1952. – С. 137–140.

231. Ярусов С.С. Подвижность обменных катионов как одна из проблем почвоведения и агрохимии / С.С. Ярусов // Почвенный поглощающий комплекс и вопросы земледелия: сб. М., 1937. – 344 с.

232. Aiyelaagbe I. Photosynthesis, light acclimation of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of lemon in response to water stress and shading / I. Aiyelaagbe, N. Keutgen, G. Noga // Environment Control in Biology. – 2005. – Т. 43. – № 4. – PP. 283–290.

233. Andrews J.R. Characterization of chilling effects on photosynthetic performance of maize crops during early season growth using chlorophyll fluorescence / J.R. Andrews, M.J. Fryer, N.R. Baker // J. Exp. Bot. – 1995. – V. 46. – № 290. – PP. 1195–1203.

234. Apostol K.G. Boron and water uptake in jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings / K.G. Apostol, J.J. Zwiazek // Environ. Exp. Bot. – 2004. – № 51. – PP. 145–153.

235. Application chlorophyll fluorescence in photosynthesis research, stress physiology, hydrobiology and remote sensing / edited H.K.Lichtenthaler. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. – 365 p.

236. Arifin M.S. "Tea industry in Indonesia". In: Global Advances in Tea Science // M.S Arifin., S.H Haryono // Aravali book international (P), LTD. New Delhi. – 1999. – PP. 100–111.

237. Arnon D.L. Growth and function as criteria in determining the essential nature of inorganic nutrients / D.L. Arnon // In: Mineral nutrition of plants. – Madison. – Wisconsin. – 1951. – PP. 112–120.

238. Ashley M.K. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins / M.K. Ashley, M. Grant, A. Grabov // J. Exp. Bot. – 2006. – № 57. – PP. 425–436.

239. Badrul Alam A.F.M. Profile of tea industry in Bangladesh / Badrul Alam A.F.M. // In: Global Advances in Tea Science, Aravali book international (P), LTD, New Delhi. – 2001. – PP.65–74

240. Baker N.R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo* / N.R. Baker // Annu. rev. of plant biology. – 2008. – Vol. 59. – PP. 89–113.
241. Barman T.S. Effects of potassium as antitranspirant on tea (*Camellia sinensis* L.) under drought / T.S. Barman, U. Baruah, J.K. Saihia // Two and Bud, 2011. – № 58. – PP. 70–73.
242. Belous O.G. Influence of microelements on biochemical parameters of tea Potravinarstvo / O.G. Belous. – 2013. – T. 7. – № 5. – PP. 149–152.
243. Berger K.C. Boron availability in relation to soil reaction and organic matter content / K.C. Berger, E. Truog // Proc. Soil Sci. – Soc.Amer. – 1995. – V.10. – PP. 113–116.
244. Bhagat R.M. Climate and tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] production with special reference to north eastern India: a review. / R.M. Bhagat, R.D. Baruah, S. Cacique // Journal of Environmental Research and Development. – 2010. – 4(4). – PP. 1017–1028.
245. Bhavanandan V. Report of the Agricultural Chemistry Division for 1969 / V. Bhavanandan // rep. Tea Res. Inst. Ceylon. – 1969–1970. – V. 2. – PP. 92–113.
246. Blevins D.G. Boron in plant structure and function. Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol / D.G. Blevins, K.M. Lukaszewski. – 1998. – № 49. – PP. 481–500.
247. Borse B.B. Fingerprint of black teas from India: identification of the regio-specific characteristics / Borse B.B., L. Jagan Mohan Rao, S. Nagalakshmi, N. Krishnamurthy // Food Chem. – 2002. – №79. – PP. 19–42.
248. Bowler C. The role of calcium and activated oxygen as signals for controlling cross-tolerance / C. Bowler, B. Fluhr // Trend plant sci. – 2000. – № 5. – PP. 241–243.
249. Brown J.C. Mechanisms of iron uptake by plant / J.C. Brown // Plant, Cell and Envir. – 1978. – № 1. – PP. 249–257.

250. Brown P.H. Boron in plant biology / P.H. Brown, N., Bellaloui, M.A. Wimmer, E.S. Bassil, J. Ruiz, H. Hu, H. Pfeffer, F. Dannel, V. Romheld // *PlantBiol.* –2002. – 4. – PP. 205–223.

251. Cakmak I. Boron deficiency-induced impairment of cellular functions in plants / I. Cakmak, V. Romheld // *Plant and Soil.* – 1997. – №193. – PP. 71–83.

252. Carr M.K.V. Climate weather and the yield of tea / M.K.V. Carr, W. Stephens // *CUPPA-TEA.* In: Willson K.C. & Clifford M.N. (Eds). *Tea Cultivation to consumption.* Chapman & Hall, London. – 1992. – PP. 87–135.

253. Chen L. Global tea breeding; achievements, challenges and perspectives / L. Chen, Z. Apostolides, Z.-M. Chen // *Zhelang university press,* 2012. – 400 p.

254. Chenery E.M. Boron deficiency in tea / E.M. Chenery // *Nature,* 1958. –V. 181. – 426 p.

255. Chennery E.M. Magnesium efficiency in East Africa tea / E. M. Chennery, J. Shoemakers. – *E. Afric. – For J.* 25, 1959. – 25 p.

256. Chennery E.M. Magnesium spraying field trial / E.M. Chennery // *Tea Research Institute of East Africa. – Annual Report,* 1961. – 26 p.

257. Chvapil M. New aspects in the biological role of zinc. A stabilization of macromolecules and biological membranes / M. Chvapil // *Life Sci.* – 1973. – Vol. 13. – № 8. – PP. 1041–1049. – DOI: [org/10.1016/0024-3205\(73\)90372-X](https://doi.org/10.1016/0024-3205(73)90372-X).

258. Cuéllar T. A Grapevine shaker inward K^+ channel activated by the calcineurin B-like calcium sensor 1-protein kinase CIPK23 network is expressed in grape berries under drought stress conditions / T. Cuéllar, F. Pascaud, J.L. Verdeil, L. Torregrosa, A.F. Adam-Blondon, J.B. Thibaud, H. Sentenac, I. Gaillard // *Plant J.* – 2010. – №61. – PP. 58–69.

259. Dev Chaudhury M.N. Effect of zinc and manganese on uptake of nitrogen in tea shoot / M.N. Dev Chaudhury, A.K. Borddoi, P.K. Sharma // *Two Bud.* – 1989. – Vol.36.–№ 1. – PP. 18–21.

260. Dordas C. Boron deficiency affects cell viability, phenolic leakage and oxidative burst in rose cell cultures / C. Dordas, P.H Brown // *Plant and Soil.* –

2005. – № 268. – PP. 293-301.

261. Du C.W. Study on the physiological mechanism of boron utilization efficiency in rape cultivars / C.W. Du, Y.H. Wang, F.S. Xu, Y.H. Yang, H.Y. Wang // *J. Plant Nutr.* – 2002. – 25. – № 2. – PP. 231–244.

262. Ercisli S. Seasonal variation of total phenolic, antioxidant activity, plant nutritional elements, and fatty acids in tea leaves (*Camellia sinensis* var. *Sinensis* clone *Derepazari*) grown in Turkey / S. Ercisli, E. Orhan, O. Ozdemir, M. Sengul, N. Gungor // *Pharmaceutical biology.* – 2008. – Vol. 46. – PP. 683–687.

263. Ernst W. Physiological and biochemical aspects of metal tolerance / W. Ernst // *Effects of air pollutions on plants Cambridge etc.* – 1976. – PP. – 115–133.

264. Fageria N.K. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy* / N.K. Fageria, C. Baligar, R.B. Clark. – 2002. – 77. – PP. 185–268.

265. Fang W. Effect of calcium on peanut (*Arachis Hypogae* L.) seedling growth, accumulation of reactive oxygen species and photoinhibition / W. Fang, Y. Sha, G. Feng, Jingjing // *American Journal Plant Science.* – 2015. – 35(15). – PP.1496–1504.

266. Fathi A. Effect of drought stress and its mechanism in plant / A. Fathi, D.B. Tari // *International Journal of Life Sciences.* – 2016. – 10(1) – PP. 1–6. – DOI: 10.3126/ijls.v10i1.14509.

267. Gao X.Y. Effect of calcium on antioxidant enzymes of lipid peroxidation of Soy-bean leaves under water stress / X.Y. Gao, G.P. Yang, Z.Q. Xu, F.C. Xu // *Journal of South China Agricultural University.* – 1999. – № 2. – PP. 58–62.

268. Garcira-Ruiz R. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems / R. Garcira-Ruiz, V. Ochoa, M. Belern Hinojosa, I. A. Carreira // *Soil Biology and Biochemistry.* – 2008. – № 40. – PP. 2137–2145.

269. Gohian T. Effect of boron on yield and quality of tea / T. Gohian, A.C. Barbora, A Deka // *J Plantn Crops.* – 2000. – 28. – 1. – PP. 67–71.

270. Goncalves Dias Diniz P.H. Simplified tea classification based on a reduced chemical composition profile via successive projections algorithm linear discriminant analysis (SPA-LDA) / P.H. Goncalves Dias Diniz, M.F. Pistonesi, M.B. Alvarez, B.S. Beatriz Susana Fernandez Band, M.C. Ugulino de Araujo // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2015. – № 39. – PP. 103–110.

271. Govindjee V.M. Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence / V.M. Govindjee // *Austr. J. Plant Physiol.* – 1995. – V. 22. – PP. 131–160.

272. Gramza-Michałowska A. Antioxidative potential, nutritional value and sensory profiles of confectionery fortified with green and yellow tea leaves (*Camellia sinensis*) / A. Gramza-Michałowska, J. Kobus-Cisowska, D. Kmiecik, J. Korczak, B. Helak, K. Dziedzic, D. Górecka // *Food Chemistry*. – 2016. – Vol. 211. – PP. 448–454. – DOI: [org/10.1016/j.foodchem.2016.05.048](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.048).

273. Grice W.J. Update on fertiliser and foliar nutrient recommendations for tea grown in Malawi / W.J. Grice, Mst. J. Clowes, N.E.A., Malenga, B. Mkwaila // *TRFCA Quarterly Newsletter*. – 1988. – 89. – PP. 4–6.

274. Havaux, M. Chlorophyll fluorescence induction: a sensitive indicator of water stress in maize plants / M. Havaux, R. Lannoye // *Irrigation Science*. – 1983. – V. 4. – № 2. – PP. 147–151.

275. Hetherington A.M. The generation of Ca²⁺ signals in plants / A.M. Hetherington, C. Brownlee // *Annu Rev Plant Biol.* – 2004. – № 55. – PP. 401–427.

276. Hewitt E.J. The metabolism of micronutrient elements in plants / E.J. Hewitt // *Biol.Revs.* – 1959. – V. 54. – № 5. – PP. 555–577.

277. Hu W. Effects of exogenous calcium on mesophyll cell ultrastructure, gas exchange, and photosystem II in tobacco (*Nicotiana tabacum* Linn.) under drought stress / W. Hu, S.B. Tian, Q. Di, S.H. Duan, K. Dai // *Photosynthetica*. – 2018. – 56(4). – PP. 1204–1211 – DOI: [10.1007/s11099-018-0822-8](https://doi.org/10.1007/s11099-018-0822-8).

278. Huiqun M. Relationship between zinc and the metabolism of tea plant / M. Huiqun, R. Yuchen // *Tea Sci.* – 1987. – Vol. 7. – PP. 35–40.

279. Jarén-Galán M. β -caroten and capsanthin co-oxidation by lipoxygenase. Kinetic and Thermodynamic aspects of the reaction / M. Jarén-Galán, M.I. Minguez-Mosquera // J. Agric. Food Chem. – 1997. – №45. – PP. 4814–4820.

280. Jing L. Microelements and tea plants / L. Jing, L. Zhirong, L. Xinxin, H. Glloshan, Z. Qirhong // Forest scien. and Technol. – 1978. – V. 16. – № 5. – PP. 30–33.

281. Kamunya S.M. Quantitative genetic parameters for yield, drought tolerance and some quality traits in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) / S.M. Kamunya, F.N. Wachira, P.O. Owuor, R.S. Pathak, J.K. Wanyoko, R.K. Sharma, R.C. Muoki // Agricultural Science Research Journal. – 2010. – №1. – PP. 53–65.

282. Karpinski S. Molecular responses to photooxidative stress in *Pinus sylvestris* (L.) (II). differential expression of CuZn-superoxide dismutases and glutathione reductase / S. Karpinski, G. Wingsle, B. Karpinska, J.E. Hallgren // Plant Physiol. – 1993. – № 103. – PP. 1385–1391.

283. Kim M.C. Calcium and calmodulin-mediated regulation of gene expression in plant / M.C. Kim // Mol. Plant. – 2009. – 2 – PP. 13–21. – DOI: 10.1093/mp/ssn091.

284. Krause G.H. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics / G.H. Krause, E. Weis / G.H. Krause // Annual review of plant physiology and plant molecular biology. – 1991. – Vol. 42 – PP. 313–349.

285. Krogman D.W.J. Biological chemistry / D.W.J. Krogman. – London, 1960. – 235 p.

286. Kumar R. Influence of foliar application of micronutrients on physiological characteristics and yield of Darjeeling tea (*Camellia sinensis* L) / R. Kumar, A.K. Singh, J.S. Bisen, M.Choubey, M. Singh, B. Bera // Proc. 3rd Int. Conf. on Agriculture and Horticulture, 27–29 October, Hyderabad International Convention Centre, India. – 2014. – PP.64.

287. Li Jie M.Sc. Agron. The effect of plant mineral nutrition on yield and quality of green tea (*Camellia sinensis* L.) under field conditions / Li Jie M.Sc. Agron. dissertation zur Erlangung des Doktorgrades Kiel, 2005. – 181 p.
288. Lian C. Effect of aluminum on callose synthesis in root tips of tea (*Camellia sinensis* L.) plants / C. Lian, Y. Oiwake, H. Yokota, G. Wang, S. Konishi // *Soil Sci. Plant Nu tr.* – 1998. – № 44 (4). – PP. 695–700.
289. Lichtenthaler H.K. The Kautsky effect: 60 years of chlorophyll fluorescence induction kinetics / H.K. Lichtenthaler // *Photosynthetica.* – 1992. – Vol. 27. – № 1–2. – PP. 45–55.
290. Lichtenthaler H.K. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plant / H.K. Lichtenthaler, U. Rindere // *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry.* – 1988. – V. 19. – Sup. 1. – PP. 29–85.
291. Lindsay W.L. Zinc in soils and plant nutrition / W.L. Lindsay // *Adv. Agron.* – 1972. – № 24 (147). – PP. 24–27.
292. Liu H.T. Ca²⁺ and At CaM3 are involved in the expression of heat shock protein gene in Arabidopsis / H.T. Liu, D.Y. Sun, R.G. Zhou // *Plant Cell Environ.* – 2005. – №28. – PP. 1276–1284.
293. Loomis W.D. Chemistry and biology of boron / W.D. Loomis, R.W. Durst // *Bio. Fact.* – 1992. – 3. – PP. 229–242.
294. Lootens P. Effect of a short photoinhibition stress on photosynthesis chlorophyll a fluorescence and pigment contents of different maize cultivars. Can a rapid and objective stress indicator be found / P. Lootens, J. Van Waes, L. Carlier // *Photosynthetica.* – 2004. – V. 42. – № 2. – PP. 187–192.
295. Maathuis F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients / F. J. M. Maathuis // *Curr. Opin. Plant Biol.* – 2009. – № 12. – PP. 250–258.
296. 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, L.S. Samarina // *Bangladesh J. Bot.* 2021. – 50(1). – PP. 179–187. – DOI: 10.3329/bjb.v50i1.52686.

297. Marschner P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. / P. Marschner. –Academic Press; London, UK: 2012. –PP. 178–189.

298. Maxwell K. Chlorophyll-fluorescence-a practical guide / K. Maxwell, G.N. Jonson // J. Exp. Bot. – 2000. – V.51. – №345. – PP. 659–668.

299. Md. Anowar K.P Antibacterial activities of green tea crude extracts and synergistic effects of epigallocatechingallate (EGCG) with gentamicin against MDR pathogens / K.P. Md. Anowar, S. Karabi, R. Juairia, A.M. Rahath, R. Md. Atikur, K.D. Shuvra, R. Md. Shahedur, I. Sohedul, H.S. Mohammad // Heliyon. – 2019. – Vol. 5. – Issue 7. – PP. 21–26. – doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02126.

300. Mohotti A.J. Effect of foliar application of potassium on drought tolerance of young tea (*Camellia sinensis* L.) / A.J. Mohotti, D.S.D. Wickremaratne, S.P. Nissanka, P.S. Munasinghe, L.S.K. Hettiarachchi // In: Proceedings of the 23rd Annual Sessions of Institute of Biology of Sri Lanka. – Sri Lanka. – 2003. – PP. 8–9.

301. Muhammad S. Green tea (*Camellia sinensis*) and l-theanine: Medicinal values and beneficial applications in humans—A comprehensive review / S. Muhammad, N. Muhammad, A. Muhammad, U.K. Mohib, M.Robina, E. Abd El-Hack Mohamed, A. Mahmoud, T. Ruchi, K. Rekha, M. Ashok, K. Kumaragurubaran, D. Kuldeep, M.N.Iqbal Hafiz, D. Maryam, S. Chao // Biomedicine & Pharmacotherapy. – 2017. – Vol. 4. – PP. 1260–1275. – doi.org/10.1016/j.biopha.2017.09.024

302. Njoloma C. Application of foliar spray containing copper, zinc and boron to mature clonal tea (*Camellia sinensis*): affect on yield and quality // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree in M.Sc. (Agric) Agronomy in the Faculty of Natural and Agricultural Sciences University of Pretoria, 2012. – 116 p.

303. Odhnoff C. Boron deficiency and growth. / C. Odhnoff // Physiol. Plantarum. – 1957. – V. 10. – № 5. – PP. 984–1000.

304. O'Shea Magnesium deficiency manganese excess experiments / O'Shea // Tea Research Institute of East Africa. – Annual Report. – 1963. – PP. 8.

305. Owuor P.O. The influence of geographical area of production and nitrogenous fertilizer on yields and quality parameters of clonal tea / P.O. Owuor, D.M. Kamau, E.O. Jondiko // *Journal of Food, Agriculture and Environment*. – 2010. – №8. – PP. 682–690.

306. Owuor P.O. Effects of long-term fertilizer use on a high-yielding tea clone AHPS15/10: soil pH, mature leaf nitrogen, mature leaf and soil phosphorus and potassium / P.O. Owuor, C.O. Othieno, D.M. Kamau, J.K. Wanyoko // *International Journal of Tea Science*. – 2011–2012. – V. 8(1). – PP. 15–51.

307. Palacios-Morillo A. Differentiation of tea varieties using UV–vis spectra and pattern recognition techniques / A. Palacios-Morillo, A. Alca zar, F. Pablos, J.M. Jurado // *Spectro-chimica Acta A*. – 2013. – № 103. – PP. 79–83.

308. Pan Zhu-Cai Effect of boron and magnesium fertilization on tea yield, Quality and Soil Fertility of Red-soil Tea Plantations / Zhu-Cai Pan // *Fujian Journal of Agricultural Sciences*. – 2015. – Vol. 30. – Issue (9). – PP. 877–883.

309. Parks W.L. Boron retention by clay and humus systems saturated with various cations / W.L. Parks, J.L. White // *Proc. Soil Sci. – Soc. Amer.* – 1952. – V. 16. – № 3. – PP. 298–300.

310. Pethiyagoda U. Report of the plant physiology division 1969 / U. Pethiyagoda. – Rep. Tea Res. Inst. Ceylon. – 1969–1970. – V. 2. – PP. 60–78.

311. Ren-Jie Tang A calcium signalling network activates vacuolar K⁺ remobilization to enable plant adaptation to low-K environments / T. Ren-Jie, Z. Fu-Geng, Yang Yang, W. Chao, L. Kunlun, J. K. Thomas, G.L. Peggy, L. Sheng // *Nature Plants* volume. – 2020. –№ 6. –PP. 384–393.

312. Romheld V. Research on potassium in agriculture: needs and prospects / V. Romheld, E.A. Kirkby // *Plant Soil*. – 2010. – № 335. – PP. 155–180.

313. Rupanjali D. Climate trends of Northeastern India: a long term pragmatic analysis for tea production / D. Baruah Rupanjali, R.M. Bhagat // *Two and a Bud*. – 2012. – 59(2). – PP. 46–49.

314. Saidi Y. The heat shock response in moss plants is regulated by specific calcium-permeable channels in the plasma membrane / Y.Saidi, A. Finka, M. Muriset, Z. Bromberg, Y. G. Weiss, F.J. Maathuis, P. Goloubinoff // *Plant Cell*. – 2009. – 21. – PP. 2829–2843. – DOI: 10.1105/tpc.108.065318.

315. Salehi S.Y. A high internal phosphorus use efficiency in tea (*Camellia sinensis* L.) plants / S.Y. Salehi, R. Hajiboland // *Asian J Plant Sci*. – 2008. – № 7. – PP. 30–36.

316. Sharma P.K. Effect of zinc and manganese on the uptake of nitrogen in tea shoot and quality of made tea. / P.K. Sharma, A.K. Bordoloi, M.N. DEV Choudhury // *Challenges of the nineties. Proceedings of the 31st Tocklai Conference*, – Tea Research Association, Tocklai Experimental station, Jorhat. – Assam, India. – 1992. – PP. 211–216.

317. Song W.Y. Relationship between calcium decoding elements and plant abiotic-stress resistance / W.Y. Song, Z.B. Zhang, H.B. Shao, X.L. Guo, H.X. Cao, H.B. Zhao, Z.Y. Fu, X.J. Hu // *International Journal of Biological Sciences*. – 2008. – 4(2). – PP. 116–125. – DOI: 10.7150/ijbs.4.116.

318. Srivastava A.K. Zinc nutrition in ‘Nagpur’ mandarin on haplustert / A.K. Srivastava; Singh Shyam // *J.Plant Nutr*. – 2009. – 32. – № 7. – PP. 1065–1081.

319. Sun T. Carotenoid metabolism in plants: the role of plastids / T. Sun, H. Yuan, H. Cao, M. Yazdani, Y. Tadmor, L. Li // *Molecular Plant*. – 2018. – № 11(1). – PP. 58–74. – DOI: 10.1016/j.molp.2017.09.010.

320. Szymczycha-Madeja A.S. Elemental analysis of teas and their infusions by spectrometric methods / A.S. Szymczycha-Madeja, M. Welna, P. Pohl // *Trends in Analytical Chemistry*. – 2012. – № 35. – PP. 165–181.

321. Tewari R.K. Morphology and physiology of zinc-stressed mulberry plants / R.K. Tewari, P. Kumar, P.N. Sharma // *J. Plant Nutr. Soil Sci*. – 2008. – № 171. – P 286–294.

322. Tolhurst J.A.H. Soil versus foliar applied zinc / J.A.H. Tolhurst // *Tea research Institute of East Africa. – Annual Report*. – 1972. – PP. – 20.

323. Tolhurst J.A.H. Zinc oxide foliar application / J.A.H Tolhurst // Tea Research Institute of East Africa. – Annual Report. – 1973. – PP. 18.
324. Tolhurst J.A.H. Clones x magnesium. / J.A.H. Tolhurst, J.S.E. Machaga // Tea Research Institute of East Africa. – Annual Report. – 1974. – PP. 12.
325. Tolhurst J.A.H. Rates of zinc / J.A.H. Tolhurst, J.K. Wanyoko // Tea Research Institute of East Africa. – Annual Report. – 1978. – PP. 9–10.
326. Torii H. On the oxidizing enzymes in tea leaf / H. Torii // Agric. Chem. Soc.: Japan. – 1944. – V. 17. – № 7. – PP. 537–543.
327. Upadhyaya H. CaCl₂ improves post-drought recovery potential in *Camellia sinensis* (L) O. Kuntze / H. Upadhyaya, S.K. Panda, B.K. Dutta // Plant Cell Rep. – 2011. – № 30. – PP. 495–450. – DOI: 10.1007 / s00299-010-0958-x.
328. Upadhyaya H. Comparative effect of Ca, K, Mn and B on post-drought stress recovery in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) / H. Upadhyaya, B.K. Dutta, L. Sahoo, S.K. Panda // Amer. J. Plant Sci. – 2012. – № 3. – PP. 443–460. – DOI: 10.4236/ajps.2012/34054.
329. Venkatesan S. Zinc toxicity and its Influence nutrient uptake in tea / S. Venkatesan, K.V. Hemalatha, S. Jayaganesh // American Journal of Plant Physiology. – 2006. – №1 (2). – PP. 185–192.
330. Vijaya K. Antibacterial effect of theaflavin, polyphenon 60 (*Camellia sinensis*) and *Euphorbia hirta* on *Shigella* spp. – a cell culture study / K.Vijaya, S. Ananthan, R. Nalini // Journal of Ethnopharmacology. – 1995. – Vol. 49. – Issue 2. – PP. 115–118. – DOI: org/10.1016/0378-8741(95)90039-X.
331. Wang Y. Potassium transport and signaling in higher plants / Y. Wang, W.H. Wu // Annu. Rev. Plant Biol. – 2013. – 64. – PP. 451–476.
332. Wanyoko J.K. Rates of nitrogen vs. magnesium / J.K. Wanyoko, P.O. Owuor, C.O. Othieno // Tea Research Foundation of Kenya. – Annual Report. – 1985. – PP. 90–96.

333. Wanyoko J.K. Effects of application of slaked lime on moribund tea / J.K. Wanyoko // Tea Research Foundation of Kenya. – Annual Report. – 1991. – PP. 102–104.

334. Wanyoko J.K. Rates of nitrogen fertiliser versus rate of lime on low pH soils / Wanyoko J.K, C.O. Othieno // Tea Research Foundation of Kenya. – Annual Report. – 1993. – PP. 85–87.

335. Wanyoko J.K. Response of replanted clonal tea (S15/10) to rates of phosphatic fertilizers / J.K. Wanyoko, P.O. Owuor, C.O. Othieno. – Tea Research Foundation of Kenya. – Annual Report. – 1993. – PP. 78–79.

336. Wei K. Catechin contents in tea (*Camellia sinensis*) as affected by cultivar and environment and their relation to chlorophyll contents / K. Wei, L.Y. Wang, J. Zhou, W. He, J.M. Zeng, Y.W. Jiang, H. Cheng // Food Chemistry. – 2011. – №125. – PP. 44–48.

337. Wu C. Effect of zinc on carbon and nitrogen metabolism in tea plant (*Camellia sinensis* L.) / C. Wu, X. Fang // Sci. Agr. Sin. – 1994. – № 27. – PP. 72–77.

338. Yajun P. Dynamic interactions of plant CNGC subunits and calmodulins drive oscillatory Ca^{2+} channel activities / P. Yajun, C. Xuyang, Qi-Fei Gao, Z. Liming, Z. Sisi, L. Le-Gong, L. Sheng // Dev. Cell. – 2019. – 48. – PP. 710–725.

339. Yan J. Effect of Zn^{2+} on quality and lipid peroxidation in leaves of tea / J. Yan, Y. Cai, H. Lin // J. Anhui Agr. Sci. – 1997. – №25. – PP. 30–32.

340. Yashin A.Y. Determination of the chemical composition of tea by chromatographic methods: a review / A.Y. Yashin, B.V. Nemzer, E. Combet, Y.I. Yashin // Journal of Food Research. – 2015. – Vol. 4. – № 3. – PP. 56–88. – ISSN: 1927-0887.

341. Ye N.S. A minireview of analytical methods for the geographical origin analysis of teas (*Camellia sinensis*) / N.S. Ye // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2012. – № 52. – PP. 775–780.

342. Zoysa A.K.N. The influence of phosphorus fertilizer forms and rhizosphere processes on the phosphorus nutrition of tea (*Camellia sinensis* L.) / A.K.N. Zoysa // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in soil science at Massey University New Zealand, 1997. – 291 p.

Приложения

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Статистические данные о площадях и потреблении чая в мире.

Таблица 1.1 – Площади чайных плантаций в разрезе регионов мира по данным ФАО, тыс. га

Регион	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2017/2010, %
Африка	296	304,2	315	352	362,6	373	380,7	378,8	128
Центральная Америка	1,5	1,3	1,3	1,3	1,6	1,5	1,5	1,6	106,7
Южная Америка	42,9	42,5	43,4	41,3	43	42,9	42,8	42,3	98,6
Азия	2810,5	3050,3	3139,7	3219,4	3377,7	3417,7	3507,6	3648,9	129,8
Европа	1,6	1,2	0,4	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	37,5
Прочие	4,1	3,9	3,9	4	3,9	4	3,9	3,9	95,1
Всего, мир	3156,6	3403,4	3503,7	3618,6	3789,4	3893,7	3937,2	4076,1	129,1

Таблица 1.2 – Производство чая (валовый сбор) в разрезе регионов мира по данным ФАО, тыс. т

Регион	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2017/2010, %
Африка	666,3	630,8	636,7	711,5	742	703,5	780,7	751,4	112,8
Центральная Америка	1,1	0,9	0,9	0,9	1,2	1,3	1,2	1,2	109,1
Южную Америку	102,9	102,5	90,7	88,4	90,9	89,7	91,5	85,9	83,5
Азия	3844,9	4099,1	4308,1	4521,9	4670,1	5009,5	5034,2	5256,1	136,7
Европа	0,6	0,4	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,7	116,7
Прочие	6,1	6	5,9	5,8	5,8	5,7	5,7	5,8	95,1
Всего, мир	4621,9	4839,7	5042,5	5328,7	5510,4	5810,1	5913,9	6101,1	132

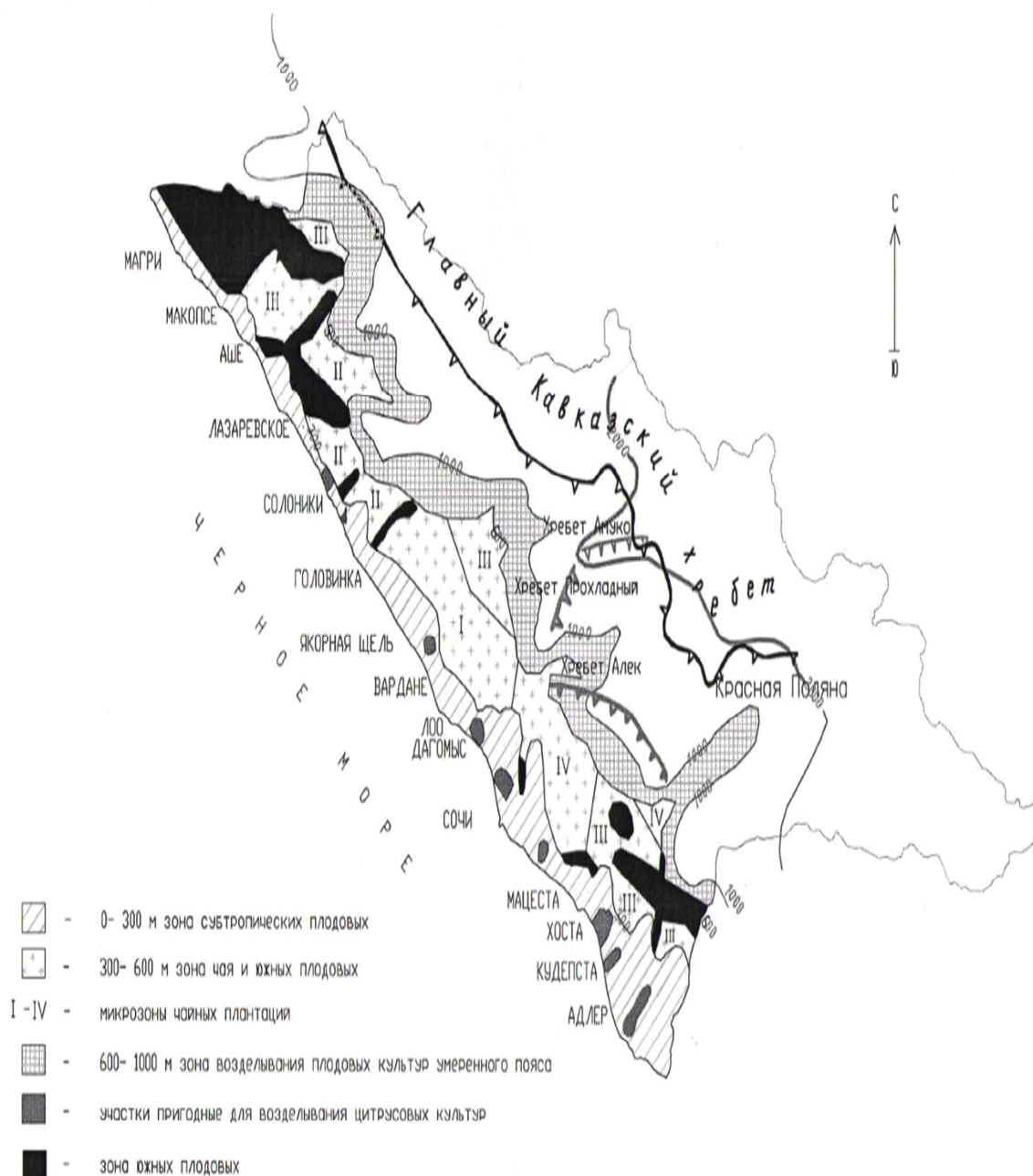


Рисунок 1.1 – Зонирование территории Черноморского побережья для размещения садовых культур (по А.В. Рындину, 2009а)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Описание почвенного разреза

Пункт заложения: Черноморское побережье Краснодарского края, зона Большого Сочи (п. Дагомыс, с. Уч-Дере, ЗАО «Дагомысчай»); высота над уровнем моря 105 м; средняя часть склона юго-западной экспозиции, крутизной 10-15°. Почвообразующая и подстилающая порода: элюво-делювий глинистых сланцев (аргиллитов).(рисунок 2.1)



Рисунок 2.1 – Почвенный разрез, заложенный на опыте с макро- и микроэлементами, февраль 2013 год

На поверхности почвы слой грубой подстилки из растительных остатков материала шпалерной подрезки чая разной степени разложенности, мощностью около 5 см.

А0 (0–6 см). Сухой, темновато-серый, тяжелосуглинистый, с комковато-порошистой структурой, рыхлый, густо переплетен корнями, переход постепенный.

Апл. (7–45 см). Сухой, серовато-бурый, тяжелосуглинистый, комковато-глыбистый, плотный, переплетен корнями, с железисто-марганцевыми примазки, переход постепенный.

АВ (45–60см). Слегка увлажненный, бурый, тяжелосуглинистый, комковато-ореховатой структурой, плотный, с присутствием отдельных корней, с железисто-марганцевыми примазки, переход постепенный.

Вt (60–90 см). Слегка увлажненный, бурый, тяжелосуглинистый, комковато-ореховатой структурой, менее плотный, чем предыдущий, присутствуют включения аргиллита, переход постепенный.

ВС (90–105 см). Слегка увлажненный, бурый со светлыми пятнами аргиллита, тяжело-суглинистый, комковатый с включениями неразложившейся породы, имеются крупные включения аргиллита.

Параметры метеорологических условий

Таблица 3.1 – Погодные условия в период вегетации чайного растения в год проведения опыта (данные Сочинской Гидрометеостанции, 2011 г.)

Температура воздуха, °С						Осадки, мм			
месяц	декада	1	2	3	среднмес.	1	2	3	Сумма
январь	средн	7,7	6,1	7,4	7,1	42,3	37,9	39,0	119,2
	min	3,7	2,6	1,6	1,6				
	max	13,3	12,1	15,0	15,0				
февраль	средн	3,5	2,0	7,7	4,4	130,4	32,2	39,5	202,1
	min	-1,1	-5,1	3,0	-5,1				
	max	9,1	9,4	16,3	16,3				
март	средн	4,9	8,8	9,3	7,7	54,7	51,1	55,6	161,4
	min	0,2	2,1	3,2	0,2				
	max	13,6	15,9	18,7	18,7				
апрель	средн	9,9	9,7	11,1	10,2	100,9	53,3	12,6	166,8
	min	2,1	2,1	4,5	2,1				
	max	19,2	24,3	25,3	25,3				
май	средн	12,7	15,0	17,8	15,2	92,8	21,8	40,4	155,0
	min	6,4	9,0	13,0	6,4				
	max	22,8	25,2	26,5	26,5				
июнь	средн	20,3	20,5	19,3	20,0	32,2	38,9	102,9	174,0
	min	16,7	16,4	13,3	13,3				
	max	25,3	25,0	25,7	25,7				
июль	средн	21,2	24,1	26,6	24,0	31,9	51,1	4,7	87,7
	min	14,3	18,9	21,0	14,3				
	max	26,2	31,0	32,4	32,4				
август	средн	24,2	23,3	22,2	23,2	6,9	89,7	41,6	138,2
	min	17,4	17,2	16,5	16,5				
	max	29,8	29,7	28,7	29,8				
сентябрь	средн	20,3	20,1	19,0	19,8	59,9	21,5	26,1	107,5
	min	14,6	13,5	11,8	11,8				
	max	26,5	26,5	25,8	26,5				
октябрь	средн	15,5	15,6	12,7	14,6	81,0	168,4	2,3	251,7
	min	8,0	7,3	8,0	7,3				
	max	25,4	30,2	18,5	30,5				
ноябрь	средн	9,7	5,3	5,6	6,9	34,2	40,2	49,1	123,5
	min	2,4	1,0	0,1	0,1				
	max	17,3	11,6	12,5	17,3				
декабрь	средн	7,7	10,5	8,4	8,9	54,0	0,3	39,7	94
	min	0,1	2,8	3,8	0,1				
	max	15,6	17,1	20,5	20,5				

Таблица 3.2 – Погодные условия в период вегетации чайного растения в год проведения опыта (данные Сочинской Гидрометеостанции, 2012 г.)

Температура воздуха, °С						Осадки, мм			
месяц	декада	1	2	3	среднемес.	1	2	3	Сумма
январь	средн	8,7	3,8	3,6	5,4	38,9	84,8	49,3	173,0
	min	1,2	-2,6	-4,0	-4,0				
	max	15,9	10,0	11,8	15,9				
февраль	средн	2,3	4,3	4,0	3,5	34,7	56,3	101,1	192,1
	min	-4,3	-2,0	-1,3	-4,3				
	max	10,9	13,0	13,2	13,2				
март	средн	1,0	3,7	6,3	3,7	83,5	41,0	34,5	159,0
	min	-4,5	-3,3	-0,5	-4,5				
	max	6,6	14,4	15,1	15,1				
апрель	средн	14,0	14,2	14,9	14,4	31,8	35,0	3,9	70,7
	min	2,3	7,0	8,9	2,3				
	max	25,8	25,5	24,0	25,8				
май	средн	16,3	20,2	18,3	18,3	0,0	0,8	105,6	106,4
	min	10,2	14,6	10,2	10,2				
	max	22,7	31,6	31,6	31,6				
июнь	средн	20,9	24,2	23,1	22,7	5,3	3,5	80,1	88,9
	min	14,7	17,2	11,6	11,6				
	max	29,9	35,0	30,1	35,0				
июль	средн	20,6	24,5	27,9	24,3	18,7	0,0	5,4	24,1
	min	14,5	18,1	20,5	14,5				
	max	27,6	29,7	34,5	34,5				
август	средн	26,3	24,1	24,2	24,9	12,3	18,9	61,7	92,9
	min	20,0	17,9	16,7	16,7				
	max	33,3	31,1	33,3	33,3				
сентябрь	средн	22,3	22,5	21,0	21,9	0,0	4,7	15,8	20,5
	min	15,9	16,2	13,8	13,8				
	max	28,0	29,2	28,1	29,2				
октябрь	средн	20,3	18,5	17,8	18,9	73,6	51,7	35,1	160,4
	min	12,1	12,9	12,1	12,1				
	max	27,7	27,0	24,0	27,7				
ноябрь	средн	15,3	13,4	12,2	13,6	153,7	7,6	26,4	187,7
	min	10,1	9,7	7,5	7,5				
	max	24,0	20,5	19,5	24,0				
декабрь	средн	12,3	8,1	7,1	9,1	56,4	25,8	27,5	109,7
	min	3,8	0,6	-0,2	-0,2				
	max	22,1	16,4	16,4	22,1				

Таблица 3.3 – Погодные условия в период вегетации чайного растения в год проведения опыта (данные Сочинской Гидрометеостанции, 2013 г.)

Температура воздуха, °С						Осадки, мм			
месяц	декада	1	2	3	среднемес.	1	2	3	Сумма
январь	средн	4,1	6,8	9,7	7,0	87,9	61,2	49,8	198,9
	min	-0,2	-2,6	3,6	-2,6				
	max	12,5	16,0	17,5	17,5				
февраль	средн	10,8	8,5	9,2	9,5	33,6	43,4	24,9	101,9
	min	1,3	1,9	3,1	-0,3				
	max	20,3	17,7	14,9	21,6				
март	средн	6,7	11,5	10,2	9,5	24,4	84,5	85,2	194,1
	min	-1,5	0,6	2,0	-1,5				
	max	15,1	27,6	22,3	15,1				
апрель	средн	15,3	14,2	13,6	14,4	19,3	10,7	18,7	48,7
	min	7,6	7,0	5,8	5,8				
	max	27,0	25,5	26,2	27,0				
май	средн	18,5	18,8	21,2	19,5	0,0	3,9	21,7	25,6
	min	12,1	14,4	14,6	12,1				
	max	29,2	26,5	31,7	31,7				
июнь	средн	19,1	22,1	22,3	21,2	107,3	12,3	2,3	121,9
	min	13,9	16,1	15,5	13,9				
	max	26,0	29,2	29,5	29,5				
июль	средн	22,4	24,1	21,6	22,7	69,9	9,1	61,8	140,8
	min	17,5	18,8	14,1	14,1				
	max	29,0	29,0	29,0	29,0				
август	средн	21,8	24,3	24,1	23,4	75,2	11,8	24,8	111,8
	min	15,6	18,4	18,8	15,6				
	max	27,3	29,0	30,1	30,1				
сентябрь	средн	17,8	19,7	14,8	17,4	326,2	51,3	148,8	526,3
	min	12,5	14,7	9,5	9,5				
	max	26,4	30,0	21,0	30,0				
октябрь	средн	12,6	16,7	13,9	14,4	66,6	0,0	0,0	66,6
	min	7,1	9,4	7,1	7,1				
	max	23,3	27,7	21,0	27,7				
ноябрь	средн	15,2	12	12,2	13,1	9,7	20,9	87,8	118,4
	min	7,6	5,6	4,3	4,3				
	max	23,9	21,4	19,9	23,9				
декабрь	средн	4,7	2,8	9	5,6	143,3	27,6	2,9	173,8
	min	-3,6	-5,8	3,6	-5,8				
	max	12,5	10,9	16,7	16,7				

Таблица 3.4 – Погодные условия в период вегетации чайного растения в год проведения опыта (данные Сочинской Гидрометеостанции, 2014 г.)

Температура воздуха, °С						Осадки, мм			
месяц	декада	1	2	3	среднемес.	1	2	3	Сумма
январь	средн	7,3	6,9	8,9	7,7	0,5	78,6	97,4	176,5
	min	3,1	0,0	1,6	0,0				
	max	13,8	15,4	18,7	18,7				
февраль	средн	5,5	10,5	9,8	8,6	2,7	19,8	14,2	36,7
	min	-0,2	2,4	5,4	-0,2				
	max	16,6	20,1	17,1	20,1				
март	средн	13,0	7,8	10,4	10,4	1,7	110,2	21,5	133,4
	min	6,1	3,2	-1,8	-1,8				
	max	23,7	17,1	22,5	23,7				
апрель	средн	9,9	15,8	14,5	13,4	7,5	16,9	49,4	73,8
	min	1,6	9,7	10,3	1,6				
	max	19,0	26,5	24,1	26,5				
май	средн	17,0	18,4	19,3	18,2	16,0	15,6	49,4	81,0
	min	11,2	14,4	14,0	11,2				
	max	25,9	31,2	31,7	31,7				
июнь	средн	21,1	20,6	21,7	21,1	34,3	75,3	2,1	117,7
	min	14,8	13,3	14,6	13,3				
	max	30,2	30,7	29,7	30,7				
июль	средн	22,8	25,3	24,8	24,3	31,4	99,4	75,5	206,3
	min	18,0	18,5	18,0	18,0				
	max	29,5	36,0	21,0	36,0				
август	средн	25,1	26,0	25,2	25,4	7,6	5,4	0,0	13,0
	min	18,9	20,3	19,3	18,9				
	max	32,9	32,7	31,6	32,9				
сентябрь	средн	24,2	20,4	17,4	20,7	106,3	81,8	48,6	236,7
	min	17,8	16,2	11,2	11,2				
	max	30,8	26,3	25,4	30,8				
октябрь	средн	16,6	15,7	15,0	15,8	1,5	146,2	28,0	175,7
	min	13,1	6,8	6,8	6,8				
	max	21,7	22,2	24,0	24,0				
ноябрь	средн	10,7	14,2	9,9	11,6	16,3	29,5	85,2	131,0
	min	0,5	10,0	5	0,5				
	max	20,8	21,7	16,8	21,7				
декабрь	средн	10,6	11,6	8,6	10,2	4,6	10,8	162,3	177,7
	min	-0,4	7,2	1,9	-0,4				
	max	22,6	18,3	16,8	22,6				

Таблица 3.5 – Погодные условия в период вегетации чайного растения в год проведения опыта (данные Сочинской Гидрометеостанции, 2015 г.)

Температура воздуха, °С						Осадки, мм			
месяц	декада	1	2	3	среднемес.	1	2	3	Сумма
январь	средн	3,2	6,9	10,2	6,8	141,6	33,1	19,5	194,2
	min	-2,9	2,2	5,5	-2,9				
	max	8,1	13,8	16,7	16,7				
февраль	средн	10,3	6,5	10,2	9,0	44,3	9,2	2,0	55,5
	min	2,5	-0,7	2,4	-0,7				
	max	21,7	16,8	18,5	21,7				
март	средн	7,7	9,6	11,5	9,6	49,7	32,6	11,7	94,0
	min	1,2	3,7	7,1	1,2				
	max	14,7	21,8	12,5	21,8				
апрель	средн	9,0	9,5	12,0	10,2	143,7	48,5	2,4	194,6
	min	0,8	3,3	3,1	0,8				
	max	22,0	19,9	28,3	22,0				
май	средн	12,6	15,9	20,6	16,4	24,1	8,4	16,0	48,5
	min	7,9	9,6	15,5	7,9				
	max	20,8	28,6	29,3	29,3				
июнь	средн	20,9	21,9	21,2	21,3	0,8	16,3	148,6	165,7
	min	14,5	17,1	16,5	14,5				
	max	27,7	29,0	27,8	29,0				
июль	средн	21,9	21,8	25,2	23,0	13,3	9,0	39,2	61,5
	min	16,3	16,5	18,9	16,3				
	max	28,1	27,2	32,4	32,4				
август	средн	26,6	26,5	24,1	25,7	10,1	0,0	4,9	15,0
	min	21,7	21,7	17,8	17,8				
	max	32,1	32,1	30,6	32,1				
сентябрь	средн	24,7	23,2	24,6	24,2	1,3	13,1	0,0	14,4
	min	18,9	16,7	19,4	16,7				
	max	32,5	31,4	31,8	32,5				
октябрь	средн	17,8	15,7	17,7	17,1	111,3	75,6	31,2	218,1
	min	10,3	10,7	7,3	7,3				
	max	24,7	22,2	22,9	24,7				
ноябрь	средн	12,2	9	15,1	12,1	37,5	285,4	53,7	376,6
	min	8,8	3,8	8,5	3,5				
	max	18,1	15,5	20,9	20,9				
декабрь	средн	6,5	6,5	7,4	6,8	76,0	19,2	61,7	156,9
	min	1,3	2,3	-1	-1				
	max	12,1	12	13,1	13,1				

Таблица 3.6 – Погодные условия в период вегетации чайного растения в год проведения опыта (данные Сочинской Гидрометеостанции, 2017 г.)

Температура воздуха, °С						Осадки, мм			
месяц	декада	1	2	3	среднмес.	1	2	3	сред
январь	средн	7,8	7,1	1,4	5,3	44,1	36,7	49,5	130,3
	min	1,6	0,3	-5,4	-5,4				
	max	16,4	14,2	9,7	16,4				
февраль	средн	6,3	3,2	7,9	5,7	32,9	23,1	62,9	118,9
	min	-2,6	-2,8	0,8	-2,8				
	max	15,4	13,9	16,3	16,3				
март	средн	12,9	10,0	7,5	10,1	1,0	52,7	40,6	94,3
	min	3,9	4,1	2,2	2,2				
	max	20,6	22,3	18,9	22,3				
апрель	средн	10,5	12,2	12,2	11,6	35,5	23,0	77,8	136,3
	min	5,3	5,1	3,8	3,8				
	max	21,3	23,1	26,0	26,0				
май	средн	16,4	14,9	15,7	15,7	29,4	125,7	31,5	186,6
	min	10,9	9,3	10,4	9,3				
	max	28,0	24,3	25,5	28,0				
июнь	средн	20,4	18,9	21,1	20,1	7,5	54,2	22,9	84,6
	min	14,9	12,6	16,3	12,6				
	max	31,6	25,6	28,6	31,6				
июль	средн	23,8	24,1	25,0	24,3	2,0	46,0	20,1	68,1
	min	17,0	17,9	18,1	17,0				
	max	33,7	31,0	37,1	37,1				
август	средн	26,7	27,5	23,4	25,9	0,4	1,0	31,2	32,6
	min	21,0	22,3	17,8	17,8				
	max	32,3	34,1	32,8	34,1				
сентябрь	средн	21,9	24,8	21,5	22,7	20,8	0,0	28,0	48,8
	min	15,5	19,2	14,4	14,4				
	max	30,6	33,7	30,7	33,7				
октябрь	средн	17,5	14,1	15,1	15,6	1,7	97,0	123,4	222,1
	min	11,6	9,3	6,4	6,4				
	max	26,8	21,4	24,9	26,8				
ноябрь	средн	11,5	14,7	6,6	11,2	32,9	6,9	70	109,8
	min	3,3	10,1	-0,8	-0,8				
	max	20,0	23,7	20,6	23,7				
декабрь	средн	9,5	10,9	9,7	10,1	71,0	28,7	143	242,7
	min	1,7	4,9	2,5	1,7				
	max	18,4	18,1	20,1	20,1				

Таблица 3.7 – Погодные условия в период вегетации чайного растения в год проведения опыта (данные Сочинской Гидрометеостанции, 2018 г.)

Температура воздуха, °С						Осадки, мм			
месяц	декада	1	2	3	среднемес.	1	2	3	сред
январь	средн	8,6	7,0	6,4	7,2	33,2	93,4	67,1	193,7
	min	-0,3	1,2	0,5	-0,3				
	max	16,0	16,0	14,5	16,0				
февраль	средн	8,9	9,1	8,2	8,8	24,5	48,0	22,5	95,0
	min	0,5	4,3	2,8	0,5				
	max	16,3	19,6	16,7	19,6				
март	средн	8,9	12,2	11,3	10,8	107,7	36,2	64,5	208,4
	min	-0,9	5,0	6,4	-0,9				
	max	19,5	25,2	20,7	25,2				
апрель	средн	14,3	13,1	15,5	14,3	28,0	10,2	8,6	46,8
	min	5,9	8,2	6,7	5,9				
	max	23,9	21,0	25,3	25,3				
май	средн	19,4	18,1	21,2	19,6	14,3	19,3	6,8	40,4
	min	14,5	10,4	16,2	10,4				
	max	27,2	27,3	28,2	28,2				
июнь	средн	21,2	23,6	25,1	23,3	0,4	2,5	33,0	35,9
	min	16,5	17,8	18,3	16,5				
	max	27,1	31,1	33,9	33,9				
июль	средн	24,3	23,3	25,9	24,6	55,0	143,5	0,3	198,8
	min	19,1	16,3	19,7	16,3				
	max	30,9	30,3	32,4	32,4				
август	средн	24,9	24,1	26,0	25,0	23,1	0,6	2,5	26,2
	min	18,9	17,7	21,2	17,7				
	max	31,0	30,6	32,8	32,8				
сентябрь	средн	23,5	20,7	19,9	21,4	99,2	144,9	7,2	251,3
	min	17,8	15,4	13,9	13,9				
	max	30,8	28,8	27,8	30,8				
октябрь	средн	18,1	18,8	14,9	17,2	10,7	0,3	105,8	116,8
	min	8,2	16,1	7,2	7,2				
	max	26,7	25,6	21,8	26,7				
ноябрь	средн	15	10,1	11,5	12,2	0,0	78	67	145,0
	min	10,3	5,8	7,2	5,8				
	max	22,3	17,7	17,9	22,3				
декабрь	средн	10,2	9,9	6,1	8,6	50,7	44,9	162,3	257,9
	min	3,4	1,7	1,3	1,3				
	max	17,2	17,9	12,9	17,9				

Таблица 3.8 – Погодные условия в период вегетации чайного растения в год проведения опыта (данные Сочинской Гидрометеостанции, 2019 г.)

Температура воздуха, °С						Осадки, мм			
месяц	декада	1	2	3	среднемес.	1	2	3	сред
январь	средн	6,1	7,0	6,1	7,8	58,7	100,9	28,6	188,2
	min	0,5	0,0	3,5	0,0				
	max	14,4	15,3	17,4	17,4				
февраль	средн	10,0	7,1	5,8	7,8	21,0	30,4	45,1	96,5
	min	5,6	1,2	1,4	1,2				
	max	16,9	16,3	14,7	16,9				
март	средн	7,0	8,9	6,6	7,5	61,4	80,0	46,0	187,4
	min	-0,2	3,6	0,4	-0,2				
	max	17,5	19,0	13,5	19,0				
апрель	средн	12,2	12,6	13,0	12,6	14,4	43,0	2,7	60,1
	min	5,0	7,9	7,2	5,0				
	max	22,7	22,6	24,2	22,7				
май	средн	16,7	18,8	20,2	18,6	67,1	4,6	14,2	85,9
	min	9,2	12,0	14,2	9,2				
	max	27,4	30,4	28,7	30,4				
июнь	средн	23,5	25,1	24,2	24,2	0,3	1,2	84,0	85,5
	min	17,6	19,4	15,0	15,0				
	max	30,9	31,4	30,8	31,4				
июль	средн	22,8	21,6	22,7	22,4	4,4	49,3	108,5	162,2
	min	14,0	15,9	17,5	14,0				
	max	28,3	28,4	31,2	31,2				
август	средн	22,7	24,7	24,9	24,1	15,0	137,0	12,7	164,7
	min	15,2	19,7	21,0	15,2				
	max	29,3	31,7	30,1	31,7				
сентябрь	средн	22,7	20,9	16,8	20,1	35,0	29,0	39,0	103,0
	min	16,8	15,9	7,8	7,8				
	max	28,7	25,7	25,7	28,7				
октябрь	средн	18,8	17,8	16,2	17,5	44,0	7,2	21,9	73,5
	min	11,3	12,8	9,8	9,8				
	max	27,7	24,4	23,2	27,7				
ноябрь	средн	14,8	15,1	11,9	14,0	1,0	0,0	99,4	100,4
	min	7,3	9,0	7,2	7,2				
	max	24,1	22,9	17,6	24,1				
декабрь	средн	7,1	11,6	12,8	10,5	88,9	5,2	22,2	116,3
	min	1,7	7,2	5,5	1,7				
	max	13,7	16,8	20,3	20,3				

Таблица 3.9 – Погодные условия в период вегетации чайного растения в год проведения опыта (данные Сочинской Гидрометеостанции, 2020 г.)

Температура воздуха, °С						Осадки, мм			
месяц	декада	1	2	3	среднмес.	1	2	3	сумма
январь	средн	7,2	5,7	5,4	6,1	27,4	29,1	140,6	197,1
	min	1,9	1,2	-1,8	-1,8				
	max	12,4	11,0	14,4	14,4				
февраль	средн	5,0	5,8	8,8	6,5	115,5	22,1	58,7	196,3
	min	-7,2	-2,6	2,1	-7,2				
	max	18,0	15,5	20,1	20,1				
март	средн	14,3	9,0	11,0	11,6	15,4	31,3	26,0	72,7
	min	5,2	1,9	5,1	1,9				
	max	25,1	22,4	19,8	25,1				
апрель	средн	11,0	11,7	11,9	11,5	0,2	18,2	8,0	26,4
	min	5,4	5,4	5,6	5,4				
	max	19,7	22,4	21,9	22,4				
май	средн	14,7	17,8	16,9	16,5	55,8	0,0	43,4	99,2
	min	6,4	9,3	7,8	6,4				
	max	23,0	25,6	30,7	30,7				
июнь	средн	21,4	23,3	23,8	22,8	5,2	1,5	18,0	24,7
	min	14,1	17,8	17,8	14,1				
	max	32,8	30,8	31,2	32,8				
июль	средн	26,0	24,2	25,1	25,1	32,0	43,0	9,4	84,4
	min	17,4	17,9	19,6	17,4				
	max	33,9	30,4	31,0	33,4				
август	средн	25,0	23,9	24,0	24,3	2,0	6,1	0,4	8,5
	min	18,5	18,5	18,1	18,1				
	max	31,8	30,7	31,3	31,8				
сентябрь	средн	24,9	23,7	22,8	23,8	26,0	3,6	0,7	30,3
	min	19,0	16,6	16,2	16,2				
	max	35,2	30,3	29,5	35,2				
октябрь	средн	20,2	20,2	18,3	19,5	16,0	37,0	28,6	81,6
	min	14,4	11,0	11,1	11,0				
	max	29,9	28,7	26,3	29,9				
ноябрь	средн	14,4	10,3	8,4	11,0	22,6	58,3	22,2	103,1
	min	6,8	5,3	-0,8	-0,8				
	max	24,2	17,9	16,5	24,2				
декабрь	средн	10,7	11,6	9,2	10,5	1,3	17,9	58,5	77,7
	min	5,9	4,5	1,7	1,7				
	max	15,3	21	18,5	21				

Таблица 3.10 – Метеорологические показатели в различные вегетационные периоды, 2011–2020 гг.

Метеорологические показатели		Год исследования										Среднее за 2011-2020 г	Среднее за 2011, 13, 14, 16, 18, 19*	Среднее за 2012, 2015, 17, 20**
		2010-11*	2011-12**	2012-13*	2013-14*	2014-15*	2015-16*	2016-17**	2017-18*	2018-19*	2019-20**			
Среднесуточная температура, °С	год (октябрь-сентябрь)	14,6	14,1	15,5	15,2	15,3	15,6	14,3	16,0	15,3	15,9	15,2	15,4	14,9
	вегетация (март-сентябрь)	17,2	18,6	18,3	19,1	18,6	19,5	18,6	19,9	18,5	19,4	18,8	18,8	18,8
	май-сентябрь	20,4	22,4	20,8	21,9	22,1	21,8	21,7	22,8	21,9	22,5	21,8	21,6	22,2
	март-апрель	9,0	9,0	11,9	11,9	9,9	12,1	10,9	12,6	10,1	11,5	10,9	11,3	10,3
	1 декада мая	12,7	16,3	18,5	17,0	12,6	19,1	16,4	19,4	16,7	14,7	16,3	17,2	15,0
	июнь-август	22,4	24,0	22,4	23,6	23,3	23,9	23,4	24,3	23,6	24,1	23,5	23,4	23,7
	июль-август	23,6	24,6	23,1	24,9	24,4	24,9	24,5	24,8	23,2	24,7	24,3	24,1	24,6
	сентябрь	19,8	21,9	17,4	20,7	24,2	19,5	22,7	21,4	20,1	23,8	21,2	19,8	23,2
Суммарное количество осадков, мм	год (октябрь-сентябрь)	1825,5	1396,8	1927,8	1433,9	1328,7	1886,9	1439,3	1671,1	1653,2	1029,8	1559,3	1733,1	1298,7
	вегетация (март-сентябрь)	990,6	562,5	1169,2	861,9	593,7	761,7	651,3	807,8	848,8	346,2	759,4	906,7	538,4
	май-сентябрь	662,4	332,8	926,4	654,7	305,1	575,3	420,7	552,6	601,3	247,1	527,8	662,1	326,4
	март-апрель	328,2	229,7	242,8	207,2	288,6	186,4	230,6	255,2	247,5	99,1	231,5	244,6	212,0
	1 декада мая	92,8	0,0	0,0	16,0	24,1	12,0	29,4	14,3	67,1	55,8	31,2	33,7	27,3
	июнь-август	399,9	205,9	374,5	337,0	242,2	255,7	185,3	260,9	412,4	117,6	279,1	340,1	187,8
	июль-август	225,9	117,0	252,6	219,3	76,5	186,3	100,7	225,0	326,9	92,9	182,3	239,3	96,8
	сентябрь	107,5	109,7	526,3	236,7	14,4	213,7	48,8	251,3	103,0	30,3	164,2	239,8	50,8

Агрохимические свойства бурой лесной почвы

Таблица 4.1 – Агрохимические свойства бурой лесной почвы в слое 20–40 см

Вариант	рН _{KCl}	Гумус, %	N _{лг}	P ₂ O ₅	K ₂ O	H _{гк}	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H _{обм}	Al ³⁺	V
			мг/100г			ммоль(экв)/100г						
ноябрь 2010												
Контроль	3,52±0,14	3,42±0,16	154±24	429±55	335±37	27,3±3,0	3,8±1,4	2,5±1,4	1,3±0,5	11,2±2,2	11,0±2,2	12,5±5,3
Zn	3,68±0,03	3,34±0,39	154±39	331±32	345±32	25,4±1,3	5,3±0,9	2,7±0,9	3,0±0,3	9,3±1,6	9,1±1,6	16,4±2,7
Mg	3,71±0,01	2,68±0,63	126±28	356±97	304±23	21,3±2,6	5,8±2,1	3,0±0,8	2,8±1,5	7,4±1,1	7,3±1,1	21,5±8,2
B	3,56±0,06	2,32±0,30	118±37	218±30	280±23	24,7±2,7	6,5±2,3	3,6±0,7	2,9±1,8	8,7±1,2	8,6±1,2	20,9±7,5
Ca	3,69±0,08	2,83±0,71	146±31	364±52	404±35	24,3±0,8	5,5±1,3	3,5±0,8	2,0±0,9	9,1±0,8	8,9±0,8	18,5±3,4

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр
Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН)
ул. Яна Фабрициуса, д. 2/28, город Сочи, Краснодарский край, 354002
Тел. (862) 200-18-22; e-mail: subplod@mail.ru; https://www.vniisubtrop.ru;
ОКПО 00497746; ОГРН 1022302831154; ИНН/КПП 2319010293/231901001

07.12.2024 № С-240

на № _____ от _____

АКТ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗРАБОТКИ

1. Наименование НТР по корневому применению микроэлементов (Mg, Ca, B, Zn) в системе минерального питания полновозрастных плантаций чая в условиях влажных субтропиков России.
 2. Организация-разработчик НТП (наименование, полный адрес) ФИЦ СНЦ РАН, 354002, Сочи, ул. Фабрициуса 2/28
 3. Область применения НТП (отрасль – из классификатора, код 07) чаеводство, код 15
 4. Патентоспособность (из классификатора – код 11, № а/с) не определена, код 03
 5. Производственное апробирование НТП (место и сроки) Опытное поле ФИЦ СНЦ РАН, 01.04.2020 – 01.10.2020
 6. Реферат: На базе Опытного поля ФИЦ СНЦ РАН, на чайной плантации проведена апробация НТР по системе минерального питания. Подтверждено, что бор, кальций, и цинк увеличивают побегообразование и урожайность чая, что обосновывает необходимость их включения в систему удобрения этой культуры.
- Авторы (Ф.И.О., уч.ст.,) Малокова Л.С. – гл.н.с., доктор биол. наук; Козлова Н.В. – в.н.с, канд. биол. наук; Великий А.В. – н.с.

Директор ФИЦ СНЦ РАН



(Handwritten signature)
А.В. Рындин