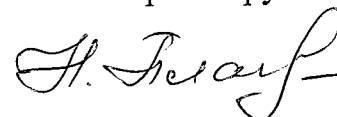


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР «СУБТРОПИЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК»**

На правах рукописи



Платонова Наталия Борисовна

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
КОМПОНЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ЧАЯ,
ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНЫХ
СУБТРОПИКОВ РОССИИ**

Специальность: 03.01.05 – Физиология и биохимия растений

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор биол. наук, доцент
О.Г. Белоус

Сочи 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. СОСТОЯНИЕ И ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	10
1.1. Природные антиоксиданты и их роль в формировании механизма защиты растений от стрессовых факторов.....	10
1.2 Биологические особенности и народно-хозяйственное значение растений чая.....	16
1.2.1 Биологические особенности растений чая.....	16
1.2.2 Народно-хозяйственное значение растений чая.....	19
1.2.3 Пищевая значимость чая.....	26
ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	32
2.1. Почвенно-климатические условия влажных субтропиков.....	32
2.2. Гидротермические условия периода исследования.....	39
2.3. Объекты и методы исследований.....	41
2.3.1 Характеристика объектов исследований.....	41
2.3.2. Методы исследований.....	53
ГЛАВА 3. ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ЧАЯ.....	59
3.1. Изменение количественного состава аскорбиновой кислоты в 3-листной флеша чая.....	59
3.2. Динамика фотосинтетических пигментов в 3-листной флеша чая....	61
3.3. Фенольный комплекс и его участие в формировании защитного ответа растений на гидротермический стресс.....	67
3.3.1. Динамика флавоноидов в 3-листной флеша чая.....	67
3.3.2. Содержание полимерных форм фенольных соединений в 3-листной флеша чая	73
3.3.3. Содержание кофеина в 3-листной флеша чая.....	77
3.3.4. Содержание общих полифенолов в 3-листной флеша чая.....	81
3.4. Аминокислотный комплекс растений чая и его роль в защите растений	

чая от стресса.....	83
3.5. Изменение активности гваяколпероксидазы в 3-листной флеша чая	83
3.6. Продуктивность растений чая в аспекте накопления основных антиоксидантов.....	93
3.7 Общий анализ содержания антиоксидантных компонентов в 3-листной флеша чая.....	96
ГЛАВА 4. ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ЧАЯ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ В ГОТОВЫЙ ПРОДУКТ.....	104
4.1. Изменение количественного состава витаминов (С и Р) в процессе переработки сырья в готовый продукт.....	104
4.2. Фотосинтетические пигменты в готовом чае.....	107
4.3 Фенольный комплекс и его участие в формировании пищевой ценности чая.....	109
4.3.1 Изменение в количестве и соотношении флавоноидов в чае.....	109
4.3.2 Изменение в количестве и соотношении полимерных форм фенольных соединений в чае.....	112
4.3.3. Изменение в количестве и соотношении катехинового комплекса в чае.....	115
4.4. Изменения в составе аминокислотного комплекса в процессе переработки сырья в готовый продукт.....	120
4.5. Содержание второстепенных вторичных метаболитов в чае.....	122
4.6. Влияние на химический состав чая места расположения плантации.	126
4.7. Общий анализ содержания антиоксидантных компонентов в готовом чае.....	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	136
РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА.....	138
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	139
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	140
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	166

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Поскольку растения являются основными продуцентами в биоценозах, то ключевой проблемой современной физиологии растений остается исследование механизмов, позволяющих растению выживать в условиях кратковременного или постоянного действия неблагоприятных факторов окружающей среды. В растении под действием одного или нескольких стресс-факторов, происходит индукция защитного ответа, который позволяет ему адаптироваться к изменившимся внешним условиям. Общим интегральным процессом, характеризующим негативное действие стрессоров различной природы, является усиление генерации активных форм кислорода [41, 42, 43, 56, 80, 93 и др.]. В ответ на это, как правило, наблюдается активация элементов антиоксидантной защитной системы [130, 140, 155 и др.].

В связи с тем, что растения чая в зоне влажных субтропиков России находятся под постоянным действием стрессоров, особенно летнего периода, изучение формирования ими антиоксидантного защитного механизма является актуальным.

Степень разработанности темы. Учитывая, что в состав антиоксидантной системы чая входят основные компоненты, обуславливающие вкусовые качества готового продукта, важность этих веществ для человека несомненна [97, 101, 121, 124 и др.]. Биохимический состав как чайного сырья, так и чая изучен достаточно полно [7, 20, 24, 108, 113, 125, 129]. Однако основные биохимические показатели значительно варьируют в зависимости от района произрастания чайного растения, погодных условий, сорта, агротехники, зрелости листа, переработки, хранения, и многих других факторов, что требует проведения комплексных исследований [11, 12, 22, 63, 85, 86, 102, 105, 106 и др.]. Тем более что в условиях влажных субтропиков России, комплексных фундаментальных исследований биохимических характеристик чая и чайного сырья (включая

антиоксидантный комплекс) на современном мировом уровне ранее не проводилось.

Таким образом, знание количественных закономерностей образования разнообразных антиоксидантных соединений чая и чайного сырья и выяснение причин возникновения изменений в процессах их накопления имеет существенное теоретическое и практическое значение.

Цель и задачи исследований. Цель – изучить закономерности формирования компонентов антиоксидантной системы чая (как сырья, так и готового продукта), произрастающего в условиях влажных субтропиков России.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Изучить динамику содержания веществ антиоксидантной группы 3-листных флешей в течение вегетации;
2. Установить влияние на накопление веществ антиоксидантной группы генотипических особенностей;
3. Изучить изменение количественных показателей веществ антиоксидантной группы в процессе переработки 3-листной флешки в готовый продукт;
4. Выявить период, характеризующийся наиболее высоким содержанием антиоксидантов в 3-листной флешки, для корректировки сбора чая и получения продукта Премиум-класса;
5. Определить сорта/формы с высоким и стабильным содержанием антиоксидантов для дальнейшего использования их в качестве доноров хозяйственно-ценных признаков.

Научная новизна работы. Полученные в работе данные имеют фундаментальный характер и свидетельствуют об особенностях образования антиоксидантов в ответ на условия вегетации растений и их трансформации в процессе переработки сырья в готовый продукт. Впервые в условиях влажных субтропиков России, проведены комплексные исследования, направленные на оценку антиоксидантных компонентов различных сортов и сортов-популяций

чая, произрастающего в отличающихся почвенно-климатических условиях. Дана биохимическая характеристика чая и установлена сортовая специфичность по аккумуляции антиоксидантных компонентов в зависимости от условий выращивания. Выявлено значение антиоксидантных компонентов для повышения качественных характеристик готового продукта.

Теоретическая и практическая значимость работы. Установлены закономерности накопления основных антиоксидантов в растениях чая и формирование механизма защиты от абиотических стрессоров (в частности, температура воздуха и количество осадков). Выявлено влияние гидротермических факторов, генотипических особенностей растений и условий переработки сырья на изменение содержания биологически активных веществ в 3-листных флешах и готовом чае. Рекомендованы периоды сбора для получения сырья с наибольшим содержанием антиоксидантов для получения чая с высокими пищевкусовыми характеристиками. Предложены сорта и формы чая, обладающие стабильным содержанием биологически активных веществ в течение вегетации для исключения этапа выравнивания качественных показателей сырья, собранного в разные периоды сбора. Результаты исследований применяются при чтении дисциплин «Физиология и биохимия растений», а также могут быть использованы в дальнейших научных исследованиях.

Методология и методы исследования. Теоретическую и методологическую основу исследований составили труды отечественных и зарубежных ученых по проблемам устойчивости растений к стрессовым факторам абиотической природы. Использовались монографии по тематике исследований, информационные издания, научные статьи, нормативные документы и другие материалы. Проведение исследований базировалось на системном подходе.

Положения, выносимые на защиту:

1. Содержание веществ антиоксидантной группы в 3-листных флешах зависит от гидротермических условий периода вегетации.

2. Накопление веществ антиоксидантной группы в 3-листной флеша обусловлено генотипическими особенностями растений чая.
3. Количественные показатели веществ антиоксидантной группы изменяются в процессе переработки 3-листной флеша в готовый продукт.

Степень достоверности. Достоверность и обоснованность результатов исследований подтверждаются достаточным объемом экспериментальных данных, собранных с применением апробированных методик и использованием современных методов и прикладных компьютерных программ при их обработке и интерпретации полученных результатов. Эксперименты проводились в достаточных для построения достоверной статистики биологических и аналитических повторностях. Выводы обоснованы экспериментальными данными и отражены в печатных работах.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований были доложены на 12 конференциях и симпозиумах различного уровня: Международной научно-практической интернет-конференции «Актуальные проблемы физиологии и биохимии растений» (Сочи, 2017); XIII Международной конференции «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования» (Сочи, 2018), X Международном симпозиуме «Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты» (Москва, 2018); VIII Международной научно-практической конференции «Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты)» (Ялта, 2018); 13-ой Международной конференции «Biotechnology and Quality of Raw Materials and Foodstuffs» (Словакия, Нитра, 2018); Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение устойчивого развития плодового и декоративного садоводства» (Сочи, 2019); Conference «Food Hygiene and Technology» (Brno, 2019); Annual Congress on Plant Science & Biosecurity (London, UK, 2019); XIII Международной мультидисциплинарной научно-

практической конференции «Современное состояние науки и техники» (Сочи, 2020); Международной научно-практической интернет-конференции «Актуальные проблемы физиологии, биохимии и биотехнологии растений» (Сочи, 2020); Global Agriculture Conference (Sydney, Australia, 2020); XVII Ежегодной молодежной научной конференции «Наука и технологии Юга России» (Ростов-на Дону, 2021).

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Диссертационная работа выполнялась в период аспирантской подготовки в 2017-2020 гг., в соответствии с индивидуальным планом работы; основные экспериментальные исследования проводились в рамках научно-исследовательских работ ФИЦ СНЦ РАН № 0683-2019-0005-01-03 «Изучить закономерности формирования компонентов антиоксидантной системы чая, произрастающего в условиях влажных субтропиков России» и № 0492-2021-0007 «Выявить фундаментальные механизмы адаптации сельскохозяйственных культур, декоративных растений и искусственно созданных биоценозов к стресс-факторам различной природы и изучить закономерности их проявления с целью разработки приемов стабилизации продукционного процесса и сохранения декоративности».

Публикации. По результатам диссертационных исследований опубликовано 33 научные работы, из них 5 статей, опубликованных в журналах международной базы данных Scopus, 7 статей в научных изданиях, включенных в перечень специальных изданий, утвержденных ВАК Российской Федерации и 20 – в журналах РИНЦ, международных изданиях, сборниках материалов и тезисов конференций различного уровня.

Личный вклад соискателя. Автор работы принимал непосредственное участие в организации, планировании и проведении экспериментов, в обсуждении результатов и подготовке рукописей к публикации. Результаты получены лично автором или при его активном участии.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа содержит введение, 4 главы, заключение, включающее выводы и практические

рекомендации, библиографический список из 255 наименований, в том числе 126 – иностранных авторов. Работа изложена на 172 страницах, содержит 40 рисунков, 29 таблиц, приложения.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность к.с.-х.н. Кристине Валерьевне Клемешовой и д.с.-х.н., профессору Чумакову Сергею Семеновичу за консультативную помощь во время рецензирования материалов диссертации; д.с.-х.н. Тине Давидовне Бесединой – за методическую поддержку при описании климатических условий; сотрудникам лаборатории агрохимии и почвоведения за помощь в осуществлении почвенных анализов; сотрудникам лаборатории физиологии и биохимии растений за помощь в закладке полевых экспериментов и анализе результатов исследований.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. СОСТОЯНИЕ И ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Природные антиоксиданты и их роль в формировании механизма защиты растений от стрессовых факторов

Зона влажных субтропиков России уникальна по своим климатическим условиям (в том числе и по подбору стрессовых факторов), а растения, выращиваемые в данном регионе, обладают специфической биологией [13, 18, 29, 99, 100]. В субтропической зоне Краснодарского края осадки распределяются крайне неравномерно в течение года, при необходимом количестве в 500-600 мм в течение всего вегетационного периода в отдельные годы их выпадает не более 150-200 мм, при этом чаще они имеют ливневый характер. Летний период в субтропиках России характеризуется не только неравномерностью выпадения осадков, но и высокой температурой воздуха, а также, лимитом доступной почвенной влаги [100]. Это создает на побережье условия для ежегодно повторяющихся засушливых периодов, в которые наблюдается приостановка роста растений, их подвядание и даже высыхание [13, 18]. Влияние данных стрессоров приводит как к значительным потерям урожая субтропических плодовых культур (у которых происходит усиленное опадение завязи), чая (в связи с прекращением образования качественных флешей).

Многие авторы считают, что стресс-реакции обеспечивают кратковременную защиту растительного организма от гибели в неблагоприятных условиях, а также инициируют формирование или мобилизацию механизмов адаптации [21, 50, 61, 91, 93, 130]. При этом большинство из этих механизмов относятся к неспецифическим, т.е. они мало зависят от природы стрессора и проявляются усилением образования активных форм кислорода (АФК); активацией пероксидного окисления липидов (ПОЛ); снижением интенсивности синтетических процессов;

повышением активности гидролитических ферментов; повышением содержания физиологически активных продуктов катаболизма; активацией образования гормонов стресса и гормоноподобных соединений; синтезом стрессовых белков и др. [17, 33, 44, 80, 103].

Важная роль в защите растений от стрессовых воздействий принадлежит антиоксидантной системе, которая выполняет не только протекторную, но и сигнальную роль [3, 17, 21, 59, 118]. В связи с чем, наибольший интерес представляет особенности накопления антиоксидантов, являющихся одним из механизмов устойчивости растений к стрессорам различной природы [140, 155, 157, 177].

Как известно, антиоксиданты являются веществами, которые способны противодействовать повреждающим процессам окисления в организме, поддерживать организм в нормальном состоянии, сохраняя необходимый баланс между свободными радикалами и антиокислительными силами. Антиоксиданты блокируют процесс окисления путем нейтрализации свободных радикалов [3, 33, 50, 80, 159]. Поступая таким образом, антиоксиданты сами начинают подвергаться процессам окисления. В связи с тем, что антиоксидантная система продуцируется растительным организмом, для поддержания защитных свойств человека существует постоянная необходимость пополнять наши окислительные ресурсы [14, 26, 31, 97]. Антиоксиданты содержатся во многих продуктах растительного происхождения, в первую очередь, они содержатся в зеленом и, в меньшей степени, в черном чае [3, 11, 15, 18, 22, 23, 26, 28, 50, 52, 57, 63, 77, 108, 148 и др.].

Существует система антиоксидантной защиты, которая делится на низкомолекулярный и высокомолекулярный соединения. Ферменты (низкомолекулярная, или первичная антиоксидантная защита) занимаются реактивацией активных форм кислорода [1, 14, 61, 70]. Они превращают активные формы кислорода в перекись водорода и в менее агрессивные радикалы, а затем - в воду и обычный кислород. В растительном организме, первичная антиоксидантная защита, активируется при наступлении

стрессового периода и выступает в качестве защитного адаптационного механизма [19, 25, 55, 65, 80, 89]. Антиоксиданты-витамины (высокомолекулярная, или вторичная антиоксидантная защита) «тушат» агрессивные радикалы, забирают избыток энергии, тормозят развитие цепной реакции образования новых радикалов [1, 11, 21, 32, 41, 119]. К ним относятся витамины С, Р, А, Е, К, а также, такие биофлавоноиды, как рутин, кверцетин, цитрин, бета-каротин, и т.д. Именно эти антиоксиданты имеют большое значение для человека [138, 202, 142].

Немаловажным компонентом работы данных соединений является участие в метаболических процессах ряда ферментов, например, гваяколпероксидазы [14, 15, 16, 70, 71, 89, 216, 223]. Одним из последствий стрессового воздействия является образование активных форм кислорода (АФК). В комфортном состоянии клетки содержание АФК поддерживается на низком уровне, благодаря работе специальных антиоксидантных ферментных систем, утилизирующих активные формы кислорода [14, 71, 80, 89]. При действии стрессоров содержание АФК в клетках значительно увеличивается, особенно у теплолюбивых растений, к которым относятся все субтропические культуры, в том числе и чай. Ряд авторов отмечает повышение активности пероксидаз, особенно при инактивации некоторых антиоксидантных ферментов, таких как каталаза [16, 71, 89, 155, 159]. Не случайно, в последнее время особый интерес направлен на изучение пероксидаз – ферментов класса оксидоредуктаз, катализирующих с помощью перекиси водорода окисление различных веществ. Уровень активности пероксидазы в органах растений используют для характеристики их функционального состояния в ответ на действие экстремальных факторов среды [71, 156, 159]. Увеличение активности пероксидазы в фотосинтезирующих органах растений свидетельствует об активном фотосинтезе в период стресса.

Аскорбиновая кислота – самое распространенное и наиболее широко изученное антиоксидантное соединение [119, 121, 155]. Повышенное образование аскорбиновой кислоты является одним из проявлений

иммунитета растений и «регулируется» температурой окружающей среды [112, 188].

Пролин занимает особое место среди низкомолекулярных антиоксидантов, эффективно нейтрализуя ОН и О₂ [54, 59, 230]. Пролин при действии стрессоров выполняет целый ряд взаимосвязанных функций: мембранопротекторную, шаперонную, антиоксидантную, а также принимает участие в регуляции экспрессии некоторых генов [50]. Отмечалось повышение концентрации пролина в растительных клетках при действии многих стрессовых факторов, таких как холод, засуха, ультрафиолет и т.д. [92, 110, 114].

Каротиноиды также принадлежат к семейству липофильных антиоксидантов, которые локализованы в пластидах как фотосинтезирующих, так и нефотосинтезирующих тканей. В работе ряда авторов [17, 21, 50, 74, 98, 215] показано, что основной вклад в повышение уровня каротиноидов при высокотемпературном стрессе вносят ксантофиллы, тогда как содержание каротинов практически не изменяется.

Для растений чая немаловажными компонентами антиоксидантной системы являются простейшие фенольные соединения (соединения С₆-ряда), флавоноиды (соединения С₆-С₃-С₆-ряда), полимерные фенольные соединения (дубильные вещества или танины).

Мощными естественными антиоксидантами являются полифенолы, относящиеся к растительным пигментам. Они защищают клетки человеческого организма от вредных реакционных воздействий. Полифенолы — это большая группа преимущественно натуральных химических веществ, имеющих в своем составе крупные фенольные структуры [41, 42, 43, 44, 46, 145, 146, 158, 232, 238]. Именно благодаря количественным и качественным характеристикам таких структур полифенолы обладают рядом уникальных как метаболических, так и терапевтических свойств. В природе полифенолы вырабатываются практически только растениями.

В свою очередь полифенолы делятся на подвиды: (био)флавоноиды (самая многочисленная группа) и фенольные кислоты. Полифенолы чая

являются не только антиоксидантами, но и антибиотиками, т.е. подавляют рост патогенной микрофлоры пищеварительного тракта, способствуя тем самым жизнедеятельности полезных бактерий [47, 68, 143, 145, 164, 169]. Именно в этом заключается микробиологическая активность чая [182, 203, 220, 223, 232, 238]. Неслучайно, многие полезные свойства чая, (от помощи в снижении веса до уменьшения риска развития определенных типов рака и предотвращения болезни Альцгеймера), приписывались высокому содержанию в нем антиоксидантов – полифенолов [27, 36, 37, 45, 154]. Экстракт зеленого чая содержит до 30-40 % водорастворимых полифенолов, а в получаемом в результате ферментации черном чае их остается лишь 3-10 %. Из всех растительных продуктов чай является основным источником полифенолов [30, 38, 46, 109].

Одним из показателей как устойчивости растений, так и качества чая является количественное содержание флавоноидов, поэтому достаточно их количественное определение часто используется [39, 137, 153, 171]. В основу количественного определения флавоноидов в растении положен метод спектрофотометрического анализа в непосредственном извлечении вещества из сырья [123, 192]. Флавоноиды представляют собой гетероциклические кислородсодержащие соединения (катехин, теарубигин, теафлавин и др.) [122, 185, 200, 204]. Это природные полифенолы, охватывающие на сегодняшний день около пяти тысяч соединений, которые объединяют в одну группу в соответствии с их общим свойством - способностью укреплять стенку капилляров (Р-витаминная активность). Флавоноиды, вместе с другими полифенолами, потенциально полезны для здоровья человека благодаря их антиоксидантным, антибактериальным, антивирусным, противовоспалительным и антиаллергическим свойствам [151, 162, 197, 229]. Флавоноиды полезны, прежде всего, тем, что они участвуют в окислительно-восстановительных реакциях организма, способствуя выработке оксида азота, функциональная роль которого в работе сердечно-сосудистой системы была установлена еще в 1998 году Луи Игнато, Феридом Мьюредом и Робертом

Ферчготтом [41, 117, 120]. Помимо значения для человека, биологическая роль флавоноидов заключается в их участии в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в растениях [177, 198, 222]. Они выполняют защитные функции, предохраняя растения от различных неблагоприятных воздействий окружающей среды [72, 233].

Наиболее известными полифенольными соединениями растительного происхождения являются т.н. дубильные вещества, также известные как танины [137, 139, 179, 181]. К дубильным веществам относится группа весьма разнообразных и сложных по составу растворимых в воде органических веществ ароматического ряда, содержащих гидроксильные радикалы фенольного характера. Танины, а именно, теотанин – это сложная смесь галловых эфиров катехинов и самих катехинов [81, 94, 173]. Окисленный теотанин придает чайному настою желто-коричневый или красноватый цвет, терпкость, вкус. Танины обладают вяжущими, антибактериальными свойствами, проявляют Р-витаминную активность.

Химическое разнообразие фенольных антиоксидантов делает трудным их отдельное выделение из растительного материала и количественное определение. Поэтому суммарное содержание антиоксидантов, как их интегральная характеристика, часто является более информативным параметром (особенно если учитывать синергическое действия компонентов антиоксидантной системы). Оно позволяет охарактеризовать как устойчивость растения к экзогенному стрессу, так и его ценность, как источника антиоксидантов для человека, что предполагает несомненную актуальность данного исследования.

На протяжении многих десятилетий на базе ФИЦ СНЦ РАН проводился контроль качественных показателей чая. Изучалось влияние комплекса экологических факторов на биохимические компоненты [4, 5, 18, 25, 98, 104, 105]. Рассматривалось действие на качество чая удобрений (микро-, мезо- и макроэлементов) [11, 12, 22, 85, 86]. Поднимались вопросы изменения биохимических характеристик при разных способах сбора листа и сроков

проведения омолаживающей подрезки чая [36, 38, 51, 87, 88, 90, 102]. Все эти вопросы рассматривали только три компонента биохимического комплекса чая: танины, водорастворимые экстрактивные вещества и кофеин. Однако, полного изучения особенностей антиоксидантного комплекса чая не проводилось. В то же время, это направление на сегодняшний момент является достаточно актуальным для исследователей как в нашей стране [1, 8, 27, 55, 60, 64, 67, 68, 78, 81, 93, 95, 116 и др.], так и за рубежом [119, 124, 127, 141, 144, 147, 154, 161, 165, 174, 175, 180, 187, 201, 209, 213, 24 и др.], о чем свидетельствует большое количество публикаций по данной теме.

В связи с тем, что растения чая в условиях субтропиков России часто подвергаются действию стрессовых факторов в период активной вегетации, изучение закономерностей накопления вторичных метаболитов, как компонентов защитной антиоксидантной системы чая представляют несомненную актуальность.

1.2. Биологические особенности и народно-хозяйственное значение растений чая

1.2.1 Биологические особенности растений чая

Чай, чайный куст, или камелия китайская *Camellia sinensis* ((L.) Kuntze) относится к семейству чайных (*Theaceae*) [225]. Чайный куст – вечнозеленое растений, впервые описанное известным шведским ботаником Карлом Линнеем в 1753 году. Семейство чайных (*Theaceae* Mirb. ex Ker Gawl.) объединяет 10 родов и около 500 видов, распространенных преимущественно в тропиках и субтропиках Старого и Нового Света. Для изготовления чая используются листья *Camellia sinensis* (L.) Kuntze (syn. *Thea sinensis* L.).

Существует два вида чайного куста: китайский чай (*Camellia sinensis* var. *Sinensis*, syn. *Thea sinensis*) и индийский, или ассамский, чай (*Camellia sinensis* var. *assamica* (J.W.Mast.) Kitam., syn. *Thea assamica* J.W. Mast.).

Camellia sinensis var. *assamica* считается «южным» видом чая (благоприятно зимует при температуре не ниже минус 3-4 °С), дикорастущие деревья достигают высоту 15-18 метров. Произрастает в тропиках, преимущественно, в Индии, на Цейлоне и в других странах, где не бывает зимы. Для выращивания в нашей зоне не подходит, т.к. не выдерживает холода.

Camellia sinensis var. *sinensis* принято считать «северным» видом чая (выдерживает морозы до минус 12–15 °С). Произрастает в странах субтропического климата – в Китае, Японии, Грузии, в северных районах Индии. Внутри вида различают японскую, китайскую и крупнолистную китайскую разновидности. Вид успешно интродуцирован на Черноморское побережье Краснодарского края. Растение представляет собой куст, достигающий в высоту 3-4 метра, с густым ветвлением. Имеет кожистые продолговато-эллиптические листья с сильно зазубренной пластинкой и коротким черешком. Размер листьев в зависимости от разновидности и сорта, в среднем до 7 см в длину и до 4 см в ширину. Пластинка листа гладкая, блестящая. Окраска темно-зеленая сверху, снизу светло-зеленая. Необходимо отметить, что морфология сильно варьирует, в зависимости от района произрастания чайного растения, экологических условий выращивания, сорта, агротехники.

Цветки у растения белые, с ярко-желтыми пыльниками, и нежным душистым ароматом; одиночные или сидят по 2-4 в пазухах листьев. Венчик состоит из 5-9 лепестков. Крупные цветки достигают в диаметре 40-50 мм. Чашечка образована из 5-7 кожистых чашелистиков, почти округлых, остающихся при плоде. Закладка бутонов в условиях влажных субтропиков Черноморского побережья у чайного растения начинается в июле, а цветение – октябре и продолжается в течение всей осени до заморозков [13]. Период от момента их закладки до полного созревания семян составляет 16 месяцев. Плод у чая – трех-, четырех-гнездная деревянистая коробочка темно-зеленого, а при созревании коричневого цвета, растрескивается. Семена округлой

формы, темно-коричневые, с легким матовым налетом от 10 до 20 мм в диаметре, созревают в конце октября – середине ноября.

В процессе филогенеза у растения чая сложился своеобразный ритм роста и покоя, соответствующий климатическим условиям среды произрастания [31, 113]. Фаза зимнего покоя растения явно выражена. Начало покоя связывают с окончанием вегетативного роста побегов и понижением среднесуточных температур ниже 10 °С. Вегетация начинается с набухания ростовых почек в конце февраля – начале марта. Наиболее высокая физиологическая активность наступает с повышением температуры воздуха в пределах 17-27 °С. Максимальное отрастание побегов отмечается при температуре 20-25 °С. В конце июня наступает период летнего покоя, и уже в июле начинается вторая волна роста, которая затухает в конце октября или начале ноября. Период вегетации растения составляет примерно 220-230 дней.

Корневая система у чайного растения состоит из мощного стержневого корня, достигающего в длину 1 м и больше, и массы боковых проводящих корней. Расположение корневой системы зависит от типа почвы чайных плантаций [13]. На глубоких красноземах основная масса корней находится в горизонтах до 50-70 см, на подзолах – 40-60 см. Наибольшее количество деятельных корней расположено в междурядьях плантаций в горизонтальном направлении, где сосредоточены элементы минерального питания и лучшая аэрация.

Так же, как и вегетативная масса, корневая система чая характеризуется цикличностью своего развития. У активных корней в годовом цикле отмечены три периода роста и два периода покоя. Весенний период роста приходится на конец февраля, март и апрель, при температуре почвы в верхних горизонтах 7-9 °С. Летний – на июль и август, а осенний – на сентябрь и продолжается до половины декабря. Периоды покоя отмечаются в конце мая – июня (не более 30-40 дней) и в конце декабря, января и начале февраля.

Лучшими почвами для возделывания чая во влажных субтропиках Краснодарского края являются богатые перегноем и питательными

веществами бурые лесные почвы, развитые на красно-бурых глинах, обладающие высокой влагоемкостью. Почва должна быть хорошо аэрирована с кислотностью рН 4,5-6,5.

Растение долговечно, в провинции Юньнань найдена дикорастущая форма древовидного чая, возраст которой более 800 лет. В селе Солох – Аул, находится первая в России плантация, zaloженная И.А. Кошманом, которой более 100 лет. Правда, от биологического срока жизни чая надо отличать срок хозяйственный. Считается, что экономически выгодно культивировать растение не более 50-60 лет. Преждевременному старению чайной плантации способствует интенсивный жесткий сбор чайного листа и неправильная агротехника.

Обобщая вышесказанное, следует сделать вывод о том, что важнейшим элементом для успешного выращивания чайного растения, необходимо придерживаться грамотной агротехники в соответствии с биологическими особенностями культуры.

1.2.2. Народно-хозяйственное значение растений чая

Классической зоной возделывания чайного растения принято считать географический регион между 10 ° северной широты и 10 ° южной широты. Это, прежде всего Юго-Восток Китая и Вьетнам, верхняя Бирма, Лаос и Северо-Восточная Индия. Эту полосу тропиков и субтропиков называют чайным поясом. Именно здесь на склонах гор имеются большие массивы и рощи естественно растущих чайных деревьев высотой до 15-17 метров.

Однако в настоящее время границы произрастания значительно расширились: чай возделывают и в Аргентине (33 ° южной широты), и в России – в самом северном регионе (44,5 ° северной широты). В современном мире выращивание и производство чая налажено более чем в тридцати странах Азии, Африки, Америки, Европы, а также в Австралии. Наиболее крупные производители чая – Китай, Индия, Шри-Ланка, Кения, Индонезия, Япония,

Тайвань, Вьетнам, Малави, Танзания, Турция, Аргентина. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН – ФАО в 21-м веке чаеводство станет одной из самых перспективных в мире производственных отраслей и в долгосрочной перспективе (до 2018 года) мировой рынок чая будет расти в среднем на 2–3 % в год (FAOSTAT. faostat.fao.org).

Анализ годовой динамики основных результатов рынка чая в России показал, что в настоящий момент производство чая не превышает 1 % от общего объема потребления, а потребление чая на душу населения в нашей стране составляет 1,384 кг/год [25].

Как известно, возможности для собственного выращивания чая в России ограничены почвенно-климатическими условиями и биологическими особенностями растений. Длительное время единственным местом размещения масштабных чайных плантаций оставалась зона влажных субтропиков России (черноморское побережье России), а сейчас самые северные чайные плантации (около 3 га) расположены на территории Адыгейского филиала Всероссийского научно-исследовательского института цветоводства и субтропических культур (республика Адыгея).

Первые сведения о чае проникли в Россию из районов Восточной Сибири и Байкала еще в XVI веке, где благодаря близости границ с Монголией и Китаем чай попадал к жителям приграничных районов. В 1638 г. монгольский Алтын-Хан Кучкун в ответ на дары, привезенными русскими послами, вручил московскому послу Василию Старкову для царя Михаила Федоровича четыре пуда чая (64 кг), который, однако, быстро закончился и вкус чая в Москве забыли [24, 51, 58, 62]. И только через 30 лет, при царе Алексее Михайловиче, русский посол в Китае Иван Перфильев вновь привез чай в Россию. В 1769 г. Россия заключила с Китаем первый договор на поставку чая, что способствовало более широкому его распространению в России. В конце 18-го столетия ввоз чая в Россию составлял 335 тонн год и с каждым годом он возрастал [62, 90, 99].

С увеличением импорта чая в Россию у видных ученых страны [90, 98] возникали идеи организации своего чайного хозяйства в пределах страны, а именно, на черноморском побережье Кавказа.

Первые чайные растения в России были посажены в Никитском ботаническом саду (Крым) по распоряжению генерал-губернатора А. Ришелье в 1817 году, т.е. через 175 лет после того, как в России узнали о чае. Но климат крымского побережья оказался для этой культуры неподходящим, и внимание переключилось на Черноморское побережье. В 1893 г. чаоторговец К.С. Попов скупил обширные участки земли в окрестностях Чаквы (территория, входившая в состав Российской империи, в настоящий момент – государство Грузия), пригласив для организации чайного дела заведующего кафедрой общего земледелия и почвоведения Петровской академии В.Р. Вильямса. В 1895 г. правительство России снарядило экспедицию в Индию, Китай, Цейлон и Японию в составе И.Н. Клингена, А.Н. Краснова и агрономов В.О. Симонсона и Г.Г. Снежкова, которая доставила в Россию 5 тыс. растений чая и более 2 тонн его семян. Спустя 10 лет площадь чайных плантаций достигла 133 га, а количество кустов составило 1,5 млн. И в 1898 году К.С. Попов на собственной фабрике получил первые 5200 кг фабричного чая, а в 1900 г. на Всемирной выставке в Париже его чай получил Большую золотую медаль «За лучший в мире Кавказский чай» [99, 102].

Успех русского чая привел к тому, что к 1915 г. общая площадь насаждений чая в России достигла 1300 га с валовым производством готового чая 140 тонн [26, 29]. Первая удачная посадка чая на Черноморском побережье относится к 1901 году и принадлежит И.А. Кошману. В поселке Солох-Аул, в 30 км от Сочи, на высоте 220 м над уровнем моря, в долине реки Шахе была заложена небольшая чайная плантация, существующая до сих пор. Уже спустя 10 лет на Сочинской сельскохозяйственной выставке И.А. Кошман демонстрировал образцы готовой продукции русского чая из Солох-Аула. Однако, русские чаоторговцы, имевшие немалый таможенный сбор от продажи импортного чая, не были заинтересованы в развитии отечественного производства.

В советское время отношение к выращиванию культуры чая в стране изменилось, и началась работа по ее продвижению в более северные районы. В этом процессе не последнее место принадлежит Сочинской опытной станции (ныне Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», ФИЦ СНЦ РАН), сотрудниками которой было заложено 30 опытных географических участков в Армянском, Нефтегорском, Апшеронском, Московском, Тульском, Майкопском и Горяче-Ключевском районах. В течение 9 лет руководителем темы по географическому испытанию чая в новых районах являлся Н.М. Вильчинский, а методическую и практическую помощь оказывал А.Д. Александров [26, 99]. Проведенная научно-исследовательская работа по испытанию чайного куста в новых более суровых условиях показала, что он выдержал все климатические испытания.

С 1936 было заложено 722 га чайных плантаций, что послужило основой широкого производственного испытания [99]. Кроме того, рассылались семена и сеянцы чая кружкам юннатов и любителям-огородникам. В 1946 г. было заложено еще несколько опытных географических участков в восточных районах Северного Кавказа (9 участков в Ставропольском крае, Кабардинской и Северо-Осетинской АССР) [13, 99].

Нападение фашисткой Германии на СССР нанесло огромный ущерб не только самим чайным плантациям, но и исследованиям по культуре чая. К окончанию войны в субтропиках Краснодарского края сохранилось всего 119 га чайных плантаций, находящихся в крайне тяжелом и запущенном состоянии. Однако уже в первые послевоенные годы в широких масштабах развернулись работы по восстановлению старых и закладки новых промышленных насаждений чая, организации чайных совхозов, реконструкции и строительству новых чайных фабрик.

В августе 1947 года вышло Постановление Совета Министров СССР «О развитии культуры чая, цитрусовых и других субтропических плодовых культур в Краснодарском крае». В рамках этого постановления были созданы

специализированные чайные совхозы, известные и сейчас, Адлерский, Дагомысский, Верхне-Хостинский, Мацестинский, Солох-Аульский и Шапсугский. В совхозах была построена автоматизированная оросительная система (только в Дагомысском чайном совхозе орошалось 600 га). В 1972 г. на базе Дагомысского чайного совхоза и хозяйств, имеющие промышленные чайные плантации, было создано Сочинское производственное объединение «Краснодарский чай» с общей площадью насаждений более 1700 га с тремя чайными фабриками, которые изготавливали высококачественный краснодарский чай, что во многом способствовало интенсификации отрасли. В настоящий момент все чайные совхозы Краснодарского края имеют свои перерабатывающие фабрики для производства черного, зеленого и др. чая.

Полное научное обеспечение производства этой культуры осуществлял Всероссийский НИИ цветоводства и субтропических культур (в настоящее время – ФИЦ СНЦ РАН), на базе которого постоянно проводились «Дни науки» с приглашением управляющих агрономов, бригадиров, передовиков производства, научными сотрудниками института демонстрировались последние научные разработки.

До 1993 г. чаеводство было одной из ведущих отраслей сельского хозяйства на Черноморском побережье России. Площадь чайных плантаций превышала 1,6 тыс. га, валовое производство зеленого чайного листа составляло более 7 тыс. тонн, а производство высокосортной готовой продукции – около 2 тыс. тонн. И производство чая в Сочи было рентабельно, так в 1983–1992 гг. было получено 8000 тонн зеленого чайного листа. Только в 1993 г. прибыль от чаеводства составила 2,2 млрд. рублей [13]. Но аграрная реформа привела к катастрофическому спаду производства чайной продукции и к 2001 году отрасль стала убыточной. Основными причинами спада в чаеводческой отрасли явились резкое увеличение себестоимости чайной продукции и снижение ее конкурентоспособности, обусловленные отсутствием ценового паритета, нерегулируемой поставкой на российский рынок дешевого импортного чая, а также фасованного чая,

фальсифицированного под марку «Краснодарский чай». На начало 2010 г. площадь листосборных чайных плантаций по данным А.В. Рындина и М.Т. Туова [98, 105] составляла всего 541 га, или 38 % от общей площади насаждений (1428 га).

Сейчас ситуация такова: на период 2017–2019 гг. ОАО «Мацестинский чай» обрабатывает около 98 га (что составляет 59 % от его возможностей), ЗАО «Дагомысчай» – 120 га (это 20,7 %), ЗАО «Хоста-чай» – 53,03 га (что составляет 41 %), ОАО «Солохаульский чай» – 73,3 га (58 % от имеющихся площадей) и ЗАО «Шапсугский чай» – 12,0 га (что составляет 12 %); в итоге в обработке находится 356,3 га или всего около 30 47 % [13, 107].

Кроме основных площадей, 1,5 га чайных плантаций возделываются в Гойтхском филиале ФИЦ СНЦ РАН (Туапсинский район Краснодарского края) и 6,06 га – в Адыгейском филиале (Майкопский район республики Адыгея).

Огромный импульс развитию чаеводческой отрасли придал Закон Краснодарского края от 8 августа 2016 года «О развитии чаеводства на территории Краснодарского края» и вытекающая из него возможность получения государственной поддержки. Из краевого бюджета в 2018 году выделено 26,6 млн. рублей в виде субсидий субъектам АПК, обеспечивающим развитие чаеводства, на возмещение части затрат на уход (включая омолаживающую обрезку) за чайными плантациям, приобретение систем капельного орошения чайных плантаций. В связи с этим, валовый сбор чайного листа постепенно растет (таблица 1), что объясняется вводом в эксплуатацию реконструированных плантаций.

Таблица 1 – Валовый сбор зеленого чайного листа в 2012-2019 годах, в тоннах

Наименование предприятий	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
ЗАО «Дагомысчай»	82,3	110,0	141,6	85,3	158,0	215,5	238,0	109,0
ОАО «Мацестинский чай»	56,2	65,7	144,2	180,0	230,0	270,0	193,0	121,6
ОАО «Солохаульский чай»	25,8	32,2	37,2	37,8	43,8	50,3	51,8	41,4
ЗАО «Хоста чай»	10,0	15,0	11,2	10,9	11,2	13,0	11,2	15,3
ЗАО «Шапсугский чай»	10,7	7,1	25,6	10,0	10,0	5,0	10,0	5,8
ИТОГО	185,0	230,0	359,8	324,0	453,0	553,8	504,1	293,1

В настоящее время Россия исторически входит в число мировых лидеров по потреблению чая, по данным исследований международной компании Synovate Comcon наибольшей популярностью в России пользуется черный чай (86,1 %), на долю зеленого приходится всего 9,1 %. Доля потребителей чая в России за последние пять лет не меняется, в среднем составляя 92–94 %.

Анализ текущей ситуации на рынке чая в России показал, что в структуре импорта чая доминирующую роль занимает черный чай, на долю которого приходится около 90 % всего объема поставок [13]. География происхождения импортного чая разнообразна – на российский рынок поступает чай, произведенный в 55 странах. Лидером среди них является Шри-Ланка, на долю которой приходится 32,2 %. На втором месте по популярности на российском рынке индийский чай, его доля составляет 26,3 %. Тройку лидеров замыкает Кения, доля чая кенийского производства выросла с 12,8 % до 16,6 %. Далее следуют Вьетнам (7,3 %), Индонезия (5,8 %), ОАЭ (4,4 %) и др. В то же время в России производство фасованного чая за последние два-три года сократилось на 31,2 % (что составляет около 419 т.) [13].

Специалисты предполагают, что ситуация в чаеводстве России изменится в лучшую сторону. Продовольственное эмбарго в отношении западноевропейских поставщиков сельхозпродукции – активнейший стимул развития отечественных бизнесов в соответствующей сфере. В этой связи российские аграрии получили невиданный шанс осуществить масштабное импортозамещение. В список попадает и чайная продукция.

1.2.3. Пищевая значимость чая

Чай находится на втором месте после воды по количеству выпиваемой людьми жидкости. Для 2 миллиардов людей он является основным напитком [7, 13]. Качество чая определяют основные компоненты, входящие в его состав, а также технология его переработки [20, 28]. Качество чая зависит от состава входящих в него веществ [13, 20, 24]. Сухое вещество чая состоит из

водорастворимой фракции (растворимые вещества) и нерастворимой фракции (балластные вещества) [20, 31, 69].

Важное значение представляет тот факт, что компоненты антиоксидантной системы листьев чая являются основными веществами, формирующими качественные характеристики и пищевую ценность готового продукта [189, 190, 226, 227, 239]. При этом, качество чайного сырья, в свою очередь, зависит от входящих в лист химических веществ, состав которых меняется от различных факторов, например, от почвенно-климатических условий, высоты расположения чайных плантаций над уровнем моря, агротехнических мероприятий и т.д.

Чай – один из самых богатых источников антиоксидантов. Это, прежде всего, катехины, а также теафлавины, теарубигины, оксиароматические аминокислоты, флавонолы – кемпферол, мирицетин, кверцетин, флавоны, производные галловой кислоты – танин и др. [62, 64, 75, 108, 152, 167, 236, 239]. В зеленом чае основной вклад в антиоксидантную активность вносят катехины [160], а в черном – теафлавины и теарубигины [168].

Таким образом, растения чая содержат сложный комплекс химических соединений, оказывающих различное и многостороннее действие на организм человека. К числу основных действующих веществ относятся флавоноиды, полифенолы, эфирные масла, дубильные вещества, витамины и т.д. [113, 117, 129, 133, 136, 158, 237]. Селекционные сорта чая с высоким содержанием биологически активных веществ, выращиваемые во влажных субтропиках России, могут быть использованы для получения напитка с повышенным антиоксидантным действием.

Издавна пищевыми антиоксидантами считали витамины С и Е. В последние годы большой интерес вызывают и другие вещества [166, 191, 201, 207]. Так, исследования показывают потенциальные полезные свойства таких растительных антиоксидантов, как каротиноиды и полифенолы, которые содержатся во многих фруктах, овощах, чае и т.д. [178, 219, 240].

Алкалоидсодержащие вещества чая оказывают основное действие на

организм человека, т.к. обладают тонизирующим действием. В чайном растении образуется и накапливается преимущественно кофеин (2-3 %), теобромина и теофиллина содержится значительно меньше (0,6-0,8 %) [28, 193]. Во время технологической переработки зеленого чайного листа кофеин вступает в реакцию с полифенолами, образуя танат-кофеин [212]. Фенольные соединения чая представлены в основном катехинами (флаванол-3-олы) и их галловыми эфирами [8]. Катехины – активные антиоксиданты, содержание которых в экстрактах зеленого чая достигает до 30%. В чайном листе также имеются и другие фенольные соединения (гликозиды, фенолкарбоновые кислоты) [8, 158, 195, 196].

Одним из показателей качества чая является количественное содержание флавоноидов [8, 9, 41, 205]. Поэтому для первичной оценки качества растительного сырья достаточно часто используется количественное определение содержания флавоноидов [46, 57].

Флавоноиды — это природные полифенолы, охватывающие на сегодняшний день около пяти тысяч соединений, которые объединяют в одну группу в соответствии с их общим свойством - способностью укреплять стенку капилляров (Р-витаминная активность). Флавоноиды, вместе с другими полифенолами, потенциально полезны для здоровья человека благодаря их антиоксидантным, антибактериальным, антивирусным, противовоспалительным и антиаллергическим свойствам [40, 42, 67, 211]. Флавоноиды полезны, прежде всего, тем, что они участвуют в окислительно-восстановительных реакциях организма, способствуя выработке оксида азота [41, 218]. Помимо значения для человека, биологическая роль флавоноидов заключается в их участии в окислительно-восстановительных процессах, происходящих в растениях [8, 13, 40, 67]. Они выполняют защитные функции, предохраняя растения от различных неблагоприятных воздействий окружающей среды. Исследованиями показано, что от флавоноидов и их соотношения, содержащихся в листьях чая, как свежих, так и подвергнутых технологической переработке зависит цвет чая, его ароматические и вкусовые

характеристики [13, 64, 206].

Антоцианы – класс агликонов антоцианидинов - замещенные 2-фенилхромены, относящиеся к водорастворимым флавоноидам. Являясь непластидными пигментами, окрашивают плоды, листья, лепестки цветков в разнообразные оттенки красного, синего и фиолетового цветов, от розового до чёрно-фиолетового [1, 76, 108, 208]. В тканях растений локализованы преимущественно в вакуолях клеток, как правило, в виде гликозидов. В последние годы особое внимание уделяется исследованиям антиокислительной активности антоцианов растительного сырья, а также, их участие в антиоксидантной системе самого растения [109, 118, 129]. Известно, что синтез антоцианов усиливается при воздействии таких стрессовых факторов как высокая положительная температура, засуха и в особенности – интенсивная инсоляция. Антоцианы, наряду с каротиноидами способны защищать нежные ткани растения от избытка ультрафиолетового излучения и участвуют в стабилизации работы фотосинтетической системы [149, 179]. Так, показано, что антоцианы во многих видах растений снижают частоту фотоингибирования, что ускоряет восстановление фотосинтетического аппарата [186, 217]. Не случайно, антоцианы причисляют к нефотохимическим защитным механизмам, наряду с пигментами ксантофилового цикла. Ряд исследователей считают, что в условиях водного стресса антоцианы выполняют роль осморегуляторов клетки растения. Кроме того, имеются данные о фотопротекторных или антиокислительных свойствах антоцианов, как главных механизмов в ответе растения на стресс.

Количественный состав антоцианов зависит от множества факторов. Например, у ряда плодов в зависимости от зрелости количество антоцианов различно [3, 9, 76, 224, 228, 240]. У листьев концентрация антоцианов может отличаться от периода их сбора. На накопление антоцианов значимо влияют почвенно-климатические условия произрастания.

Многие флеш и молодые листья чая имеют антоциановую окраску, что также может быть рассмотрено, как проявление защитной реакции на

абиотический стресс (рисунок 1).



Рисунок 1 – Окрашивание флешей чая в зависимости от содержания в них антоцианов (фото А. В. Бехтера)

Кроме того, антоцианы, входящие в состав растений, в частности, чая, являются биологически активными веществами значимыми и для здоровья человека, так как способны гасить воспалительные процессы, защищают клетки от окислительного стресса, проявляют антимикробную активность и т.д. [9, 33]. Ценность антоцианов связана также с открытием их выраженной антиоксидантной способности [33, 39, 44]. Это весьма мощные антиоксиданты, обладающие большей эффективностью, чем витамины С и Е [56, 57].

В этой связи, актуальным является изучение механизма накопления антоцианов в растениях чая и влияния на этот процесс гидротермических условий, сортовых характеристик и технологических особенностей переработки сырья в готовый чай.

Другим важнейшим показателем биологической ценности растительного сырья, определяющим его антиоксидантную активность, является содержание каротиноидов. Каротиноиды – природные органические пигменты, синтезируемые бактериями, грибами, водорослями и высшими

растениями [7, 17, 21]. О значимости каротиноидов свидетельствует тот факт, что важнейший из них – β -каротин – является основным «сырьем» в синтезе витамина А, при недостатке которого происходит задержка роста и развития растущего организма человека, животных, снижение их продуктивности [7, 21]. β -каротин обеспечивает нормальную деятельность органов зрения, оказывает благоприятное влияние на функции слезных и потовых желез, повышает устойчивость организма к инфекциям. Каротиноиды принимают участие в окислительно-восстановительных процессах, нормализуют потребление кислорода тканями организма [31, 53, 67].

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в 2016-2019 гг. в рамках Фундаментальных и прикладных научных исследований по направлениям НИР «Изучить закономерности формирования компонентов антиоксидантной системы чая, произрастающего на плантациях Краснодарского края» и «Выявить фундаментальные механизмы адаптации сельскохозяйственных культур, декоративных растений и искусственно созданных биоценозов к стресс-факторам различной природы и изучить закономерности их проявления с целью разработки приемов стабилизации продукционного процесса и сохранения декоративности».

2.1. Почвенно-климатические условия влажных субтропиков

Северо-восточной границей Большого Сочи служит Главный Кавказский хребет, юго-западной – акватория Черного моря, восточной – граница с Республикой Абхазия. Протяженность территории по побережью 145 км. Расстояние от моря до Кавказского хребта составляет от 40 до 60 км [100]. Под влиянием горного рельефа климатические условия в ней сильно варьируют, так как высота и ориентировка горных хребтов по отношению к морям существенно воздействуют на гидротермический режим местности. Но вместе с тем средиземноморская зона характерна максимумом атмосферных осадков, выпадающих в холодную часть года, минимумом – летом. Зимой дожди затяжные, летом – ливневые. Чем выше горы, тем дожди чаще и обильнее.

Влияние гор и моря сказывается и на тепловом режиме. С апреля по июнь море холоднее суши, а осенью и зимой оно является источником тепла. Весной, поглощая тепло, море замедляет повышение температуры воздуха. Таким образом, в течение года выделяют два вегетационных периода: холодный (XI-III) и теплый (IV-X). Наличие двух сезонов является

агроклиматическим признаком субтропического климата. Причем, по мнению ряда климатологов [18, 66, 100] зимний вегетационный период может временно прерываться холодными вторжениями, что позволяет выращивать в субтропиках вечнозеленые виды растений.

Наблюдения Г.Т. Селянинова [100] за развитием растений в субтропиках показали, что зимой многие из них вегетируют и цветут, а древесные находятся в состоянии неполного покоя. Вегетация не прекращается круглый год. Месяцы со средними суточными температурами ниже 10 °С климатологом названы холодным вегетационным периодом (XI – III), вегетация теплолюбивых культур начинается с наступлением устойчивой среднесуточной температуры выше 10 °С, определяющей теплый период вегетации (IV – X).

Средняя суточная температура в холодные месяцы достигает +6...+8 °С, ночью она опускается до +4...+5 °С. В летние месяцы поднимается до +24 °С. Максимальные температуры достигают +31...+36 °С.

Терморесурсы субтропиков, как один из ведущих факторов, определяют видовое разнообразие культур. Субтропические растения развиваются в районах, где сумма активных температур равна 3500 – 6000 °С. Сумма температур изменяется не только по годам, но также и в связи с потеплением климата. Агломерация Сочи расположена в субтропической зоне, где сумма активных температур (> 10 °С) достигает 3 810 – 4 650 °С, при этом территория граничит с более холодным умеренным поясом с севера и северо-запада и тропическим поясом – с юга и юго-запада. Вследствие этого субтропики подвергаются вторжениям масс из граничных районов Земли.

Развитие растений, особенно вечнозеленых, ограничивается отрицательными температурами в зимний период [100], их длительностью и повторяемостью (таблица 2). За 50-летний период 10-ти градусный мороз наблюдался только в 1970-м году, тогда как абсолютный минимум на побережье достигает -14...-15 °С, в предгорьях он усиливается до -16...-18 °С, в долине Красной поляны – до -22 °С (таблица 3).

Таблица 2 – Абсолютный минимум температуры воздуха на побережье
влажных субтропиков различной вероятности [66]

Самый низкий	Вероятность абсолютных минимумов в %								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
– 14	– 9	– 8	– 8	– 7	– 6	– 6	– 5	– 4	– 3

По данным Селянинова Г. Т. [100] абсолютная отрицательная температура -15,6 °С наблюдается в Сочи в 1874 г., в 1882, 1893 – она составляла -13,4 °С, в 1911 и 1914 годах -12,6 °С.

Мосияш А. С. и Лугавцов А. М. [66] считают наиболее опасными морозы интенсивностью в -8 °С, повторяющиеся с вероятностью до 20 %. Селянинов Г. Т. предупреждал [100], что отсутствие сильных морозов (-11 °С) не следует расценивать как потепление зоны субтропиков (таблица 3).

Таблица 3 – Морозоопасность во влажно субтропической зоне за 50-летний
период (1970 – 2019 гг.)

Минусовые температуры, °С	Повторяемость, %	Минусовые температуры, °С	Повторяемость, %
0	3,8	от -5 до -6	11,5
от 0 до -1	3,8	от -6 до -7	9,6
от -1 до -2	3,8	от -7 до -8	13,5
от -2 до -3	15,4	от -8 до -9	1,9
от -3 до -4	9,6	от -9 до -10	1,9
от -4 до -5	23,2	от -10 до -11	1,9

Следовательно, влажные субтропики России обладают значительными световыми и тепловыми ресурсами, но с различными неблагоприятными метеорологическими явлениями.

Влажность воздуха, как составная часть окружающей среды,

обуславливает физическое испарение воды из почвы и влияет на степень транспирационных расходов воды растениями. Относительная влажность воздуха характеризуется степенью насыщенности воздуха водяными парами и изменяется в течение года и суток в зависимости от температурных условий и осадков. Наибольшее значение распределения относительной влажности воздуха в течение суток достигается в 13 и 19 часов, наименьшее в 1-ом часу и в 7 часов.

Характер относительной влажности воздуха в Сочи зависит от направления ветра, поскольку на Черноморском побережье формируются бризы с моря и с материка [100]. Однако в Сочи, где материковые ветры отсутствуют, и ветры с берега являются видоизмененными бризами, влажность воздуха при всех направлениях в 13 часов одинаково высока, около 70 %.

В таблице 4 представлены данные влажности воздуха в течение года [100]. В Сочи при береговом ветре влажность воздуха выше, чем при морском.

Таблица 4 – Относительная влажность воздуха, %, во время морских и береговых ветров в Сочи в 13 часов

Ветер	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Морской	66	65	72	73	72	72	71	69	64	61	63	66
Береговой	71	69	65	70	75	81	76	78	74	74	70	76

Анализ распределения осадков показал, что в Лазаревской и Сочи выпадает свыше 1500 мм осадков, но в холодный период в последние годы произошло повышение годовой суммы осадков до 1703 мм. В летний период, охватывающий семь месяцев вегетации субтропических растений, осадков стало выпадать меньше, особенно в последние два десятилетия (2000 – 2019 гг.). Селянинов Г. Т. (1961) считал, что высокие температуры вызывают большой расход влаги и обуславливают засушливые периоды при

неравномерном распределении осадков. Агроклиматолог полагал, что это показывает недостаточную обеспеченность территории влагой, что значительно затрудняет выращивание многих сельскохозяйственных культур.

При этом, ливневый характер осадков способствует нарушению обеспеченности влагой в почвенном профиле. Интенсивность ливневых осадков усиливается в летние месяцы. Ливни интенсивности от 4 до 7 мм/мин разрушают почвенный покров и растительность. С января по март возможны ливневые дожди дважды в месяц, но продолжительностью от 8 до 11 дней только в теплый период. Дожди медленно проникают вглубь глинистых почв и только осадки в 10 мм считаются границей засухи [100].

Повторяемость хотя бы одного случая с бездождным периодом различной продолжительности в Сочи дана в таблице 5.

Таблица 5 – Повторяемость бездождных периодов в % по сезонам года в Сочи [66]

Бездождный период длительностью в днях	Зима XII – II	Весна III – V	Лето VI – IX	Осень X – XI
10 и более	75	86	99	78
20 и более	16	16	52	16
30 и более	6	4	21	9
40 и более	1	0	5	2
50 и более	0	0	0	0
60 и более	0	0	1	0
70 и более	0	0	1	0
Максимальная продолжительность бездождного периода	49	34	72	44

Примечание: за бездождный период принят период без дождя с осадками не более 2 мм в сутки и период с суточным количеством осадков от 2 до 5 мм, если они выпадают по 15 дневному периоду без дождя [18]

Данные таблицы свидетельствуют о том, что во влажных субтропиках России 10-ти дневные бездождные периоды повторяются чаще всего, и их

повторяемость составляет от 75 до 99 %. Зимой, весной и осенью наблюдаются 20-ти дневные периоды без дождя, их повторяемость достигает 16 %, тогда как летом с июня по сентябрь – 52 %. В период интенсивной вегетации и наибольшего присутствия гостей курорта могут наблюдаться и более длительные бездождные периоды до 30 – 70 дней, что, несомненно, негативно действует не только на рост и развитие древесно-кустарниковой растительности, но и на ее воздействие на экологическое состояние агломерации.

Таким образом, анализ агроклиматических показателей и данные публикаций о климате субтропиков показал, что агломерация Сочи расположена во влажно-субтропической зоне, характерной двумя вегетационными периодами летний (теплый) и зимний (холодный). Зимний (XI – III) вегетационный период отличается варьирующими тепловыми ресурсами, значительным количеством осадков облачного характера и наличием отрицательных температур. В течение последних 50 лет (1970 – 2019 гг.) повысились среднесуточные температуры от 5 до 8 °С. Морозы здесь в основном интенсивности -5... -8 °С. Летнему вегетационному периоду (IV – X) свойственны значительные теплоресурсы, аномально варьирующее количество осадков, чаще ливневого характера и засушливые периоды различной продолжительности.

По данным крупномасштабного почвенного обследования 1982 года, приведенным в работе Т. Д. Бесединой (2004), в структуре почвенного покрова сельхозугодий зоны Черноморского побережья г. Сочи бурые лесные почвы (кислые оподзоленные, кислые, слабоненасыщенные, слабоненасыщенные остаточного-карбонатные) занимали более 50 % всех земель (19367 га), дерново-карбонатные – 12,9 %, желтоземы и подзолисто-желтоземные почвы – 5,9 %, аллювиальные – 22,3 % [19].

Буроземы, являющиеся самыми распространенными почвами в почвенном покрове Кавказа, на Черноморском побережье занимают средневысокие и высокие горы до 1200–1800 м н.у.м., при этом нижняя

граница опускается до 50–400 м [49, 96]. Согласно Классификации и диагностике почв СССР [34] тип Бурые лесные почвы (буроземы) делится на подтипы: кислые грубогумусные; кислые грубогумусные оподзоленные; кислые; кислые оподзоленные; слабоненасыщенные; слабоненасыщенные оподзоленные.

Развитие буроземов происходит на породах различного гранулометрического состава и генезиса под широколиственными, хвойно-широколиственными, а также хвойными лесами, с богатым и интенсивным биологическим круговоротом веществ. Для развития буроземов характерно преобладание атмосферных осадков над испарением, обеспечивающее глубокое (сезонное) промачивание почвы, промывной водный режим, при этом, обязателен свободный внутрипочвенный дренаж, с чем связано преимущественное распространение буроземов на горных склонах. Не слишком длительное сезонное промерзание (или его полное отсутствие) обеспечивает достаточную интенсивность выветривания и вторичного минералообразования [10, 23, 34].

Буроземы (бурые лесные почвы) – относительно молодые профильно-недифференцированные (по элювиально-иллювиальному типу) кислые или слабокислые почвы с интенсивным внутрипочвенным метаморфическим сиаллитным оглиниванием и умеренным ожелезнением, формирующиеся в гумидных условиях хорошо дренированных горных склонов или сильно расчлененных высоких равнин, при промывном водном режиме, на разнообразных почвообразующих породах, под широколиственными, хвойно-широколиственными и хвойными лесами с богатым азотно-кальциевым биологическим круговоротом веществ; характеризующиеся благоприятными водно-физическими свойствами.

Лучшими чаепригодными почвами являются бурые лесные кислые и кислые оподзоленные почвы и желтоземы ненасыщенные оподзоленные. Около 60 % чайных плантаций расположено на бурых лесных почвах, при этом, по данным картирования 1982 года, из 19367 га бурых лесных почв под

культурой чая было занято 1448 га, т.е. всего около 7,5 % (Беседина, 2004). Таким образом, бурые лесные почвы – основной резерв земель, пригодных для выращивания чая. Участок, на котором расположена опытная плантация, относится к бурым лесным почвам.

2.2. Гидротермические условия периода исследования

Гидротермические условия 2016 года предшествующего началу исследований. Год характеризовался как благоприятный для роста и развития чайного растения, с довольно мягкой и влажной зимой, теплой весной, умеренно жарким, не засушливым летом. Годовой ход среднемесячных температур отличался плавностью. Среднегодовая температура составила 14,6 °С. Максимальная температура воздуха зафиксирована в августе – 32,0 °С; минимальная в декабре: – 7,3 °С. Среднегодовая относительная влажность воздуха составила 78 %, что выше нормы многолетних показаний на 4 %. Количество выпавших осадков приближено к норме и составило 1466 мм.

Гидротермические условия 2017 года – первый год исследований отличался относительно холодной зимой с выпадением обильных осадков в декабре – 378 мм, сумма которых составляет 204 % от многолетней нормы. Умеренно теплая, дождливая весна перешла в жаркое лето. Среднегодовая температура составляла 14,9 °С, что несколько выше многолетних наблюдений. Максимальная температура воздуха зафиксирована в июле – 37,1 °С; минимальная в декабре – 6,3 °С. Среднегодовая относительная влажность воздуха составила 74 %, что считается нормой многолетних показаний. Количество осадков отмечено на уровне 1612 мм, из них 34 % пришлось на вегетационный период чайного растения.

Однако, в целом год можно характеризовать как относительно благоприятный за счет большого количества выпавших осадков, несмотря на то что затяжной холодный период задержал вегетацию чая. В итоге, формирующая подрезка чайных кустов была осуществлена 10 марта. Первый

сбор чайного листа в этом году был начат 12 мая и уже 24 мая осуществлен второй сбор. Последний сбор был проведен 4 октября и всего в данном году сделано 10 сборов, из-за задержки вегетации.

Гидротермические условия 2018 года отличались от средней нормы многолетних показателей повышенными положительными температурами и обильными осадками в зимне-весенний период, что вызвало раннюю вегетацию растений. Среднегодовая температура составляла 16,1 °С, этот показатель на 2,0 °С выше многолетних наблюдений. Максимальная температура воздуха зафиксирована в июле – 33,9 °С; минимальная в марте – 0,9 °С. Среднегодовая относительная влажность воздуха составила 76 %, что на 2 % выше многолетних данных. Количество выпавших осадков зафиксировано на уровне 1603 мм. Выпавшие осадки в течение года распределились неравномерно, в период активной вегетации, в мае выпало 38 мм (35 % от нормы), в июне – 35 мм (33 % от нормы), в августе – 27 мм (22 % от нормы). В июне осадков выпало 204 мм, но они имели в основном ливневый характер и при повышенных положительных температурах не повлияли на оптимальную водообеспеченность растений.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что, год не отвечал требованиям естественного оптимума чая по влагонасыщению. Однако, в результате теплого зимнего периода, подрезка шпалеры была осуществлена 27 февраля. Вегетация началась 30 марта, а уже 11 апреля осуществлен выравнивающий сбор. Первый полноценный сбор листа проведен 18 апреля. Последний сбор был проведен 12 сентября; всего в данном году сделано 9 сборов из-за дефицита воды в период вегетации.

Так же, как и в прошлом году, среднегодовая температура 2019 года составляла 16,1 °С, что на 2,0 °С выше многолетних наблюдений. Максимальная температура воздуха зафиксирована в августе – 32,1 °С; минимальная в марте – 0,2 °С. Среднегодовая относительная влажность воздуха составила 74 %, что является нормой. Годовой ход количества выпавших осадков отличался плавностью и зафиксирован на уровне 1556 мм,

эта сумма осадков также считается нормой для ясного морского типа влажных субтропиков. В период активной вегетации выпало 42,5 % от общего количества осадков.

Принимая во внимание описанные выше данные, следует сделать вывод о том, что год сложился наиболее благоприятным для роста и развития чайного растения. Формировочная подрезка проведена в конце февраля, первый сбор чайного листа сделан 14 мая. Последний сбор был проведен 2 октября; всего в данном году сделано 11 сборов.

Подводя итоги метеорологических наблюдений в годы исследований, можно выделить 2017 как «относительно благоприятный», 2018 год как «стрессовый по влагообеспеченности»; 2019 – «оптимальный». Погодные условия отличались контрастностью и дали относительное понимание в закономерности формирования защитного механизма растения чая при влиянии факторов абиотической природы.

2.3. Объекты и методы исследований

2.3.1. Характеристика объектов исследований

В работе использованы полевые, лабораторные, статистические методы исследований.

Растительный материал выращивался с 1981 года в полевых условиях на коллекционно-маточном участке (рисунок 2) ФИЦ СНЦ РАН в п. Уч-Дере (Лазаревский район).

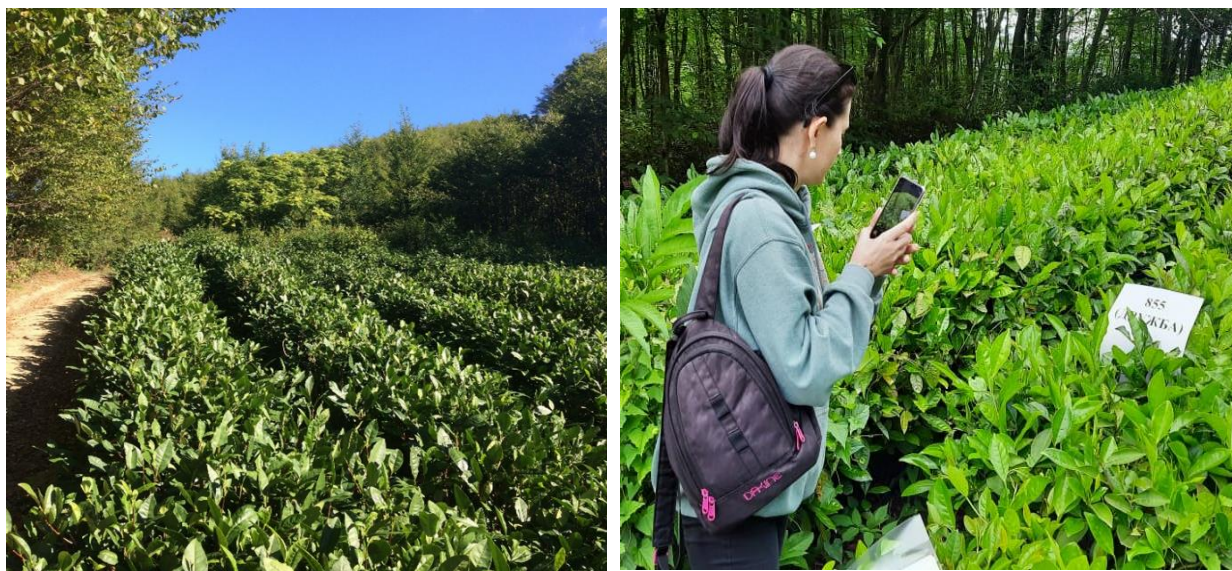


Рисунок 2 – Опытная коллекционно-маточная плантация чая в п. Уч-Дере
(фото автора)

Схема исследований приведена на рисунке 3. Размещение сортов/форм рендомизированное (рисунок 4), площадь участка составляет – 0,03 га.

Участок расположен на высоте 105 м над уровнем моря, склон слабопокатый, юго-западной экспозиции [49]. Почва исходно классифицировалась как бурая лесная кислая малогумусная мощная среднеглинистая, сформированная на элюво-делювии глинистых сланцев (аргиллитов) [34]. Согласно «Классификация и диагностика почв России» (1977) эти почвы относятся к отделу структурно-метаморфических, типу буроземы. Окультуренные почвы классифицировались как бурые лесные окультуренные, согласно «Классификация и диагностика почв СССР» (1977); согласно «Классификация и диагностика почв России» [34] – как агроземы структурно-метаморфические.



Рисунок 3 – Структурная схема исследований

Дорога										
Колхида (защитный ряд)										
Колхида (защитный ряд)										
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18	весна - 1985 г.	Колхида	У-посад.	Сочи	III-посад.	2264	I-посад.			
		855		Кубанский		3823				
		Сочи		582		Колхида				
		Кубанский		2264		855				
		582		3823		Сочи				
		2264		Колхида		Кубанский				
		3823		855		582				
		Сочи	VI-посад.	2264	IV-посад.	Колхида	II-посад.			
		Кубанский		3823		855				
		582		Колхида		Сочи				
		2264		855		Кубанский				
		3823		Сочи		582				
		Колхида		Кубанский		2264				
		855		582		3823				
	Колхида (защитный ряд)									
	Колхида (защитный ряд)									

Рисунок 4 – Схема опытного участка

По содержанию основных элементов питания участок в момент закладки опыта был достаточно хорошо выровнен по почвенным условиям и характеризовался средним уровнем плодородия (таблица 6). Как видно из данных таблицы 6, почва имеет кислую реакцию среды (норма для данного типа 3,7-4,2 единицы), высокую гидролитическую кислотность (уровень характерный для данного типа почв – до 29 мг-экв/100г), невысокое содержание обменных Са, Mg и низкий уровень легкогидролизуемого азота. По содержанию гумуса классифицируется как малогумусная.

Таблица 6 – Агрохимическая характеристика почвы участка (0-20 см)

Показатель	Единицы измерения	M	m	V, %
pH _{KCl}	единицы	3,51	0,05	1
Гумус	%	3,93	0,48	12
N _{лг}	мг/100 г	10,13	0,93	9
NH ₄	мг/100 г	4,64	0,78	17
NO ₃	мг/100 г	0,18	0,07	39
P ₂ O ₅	мг/100 г	73,13	26,87	37
K ₂ O	мг/100 г	36,64	5,66	15
Ca	ммоль-экв/100г	4,91	1,14	23
Mg	ммоль-экв/100г	2,37	0,35	15
ΣCa+Mg	мг-экв/100 г	7,28	1,48	20
Гидролитическая кислотность	мг-экв/100 г	21,47	0,75	3
Обменная кислотность	мг-экв/100 г	8,60	1,05	12
Подвижный алюминий	мг/100 г	8,44	1,06	13

Примечание: M- среднее, m – стандартное отклонение, V – коэффициент вариации

Данная агрохимические показатели характерны для типичных бурых лесных кислых почв. Бонитет почв составляет 98 баллов (первая зона), что соответствует ожидаемой урожайности плантации в пределах от 65 ц/га и выше (Приложение А).

Удобрения под опытные растения вносили согласно методическим указаниям [65] по схеме опыта: 60 % азота, 100 % фосфора и калия в начале вегетации, 40 % азота – в июне в виде подкормки (вручную, в междурядья). Формы используемых удобрений: аммиачная селитра и нитроаммофоска.

Выбор объектов для исследования был обусловлен рекомендациями селекционеров Субтропического центра (Приложение Б, В).

Сорта чая, в настоящее время занесены в Государственный реестр

селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации:

Сорт Колхида (контроль) – клон крупнолистного китайского чая (Т.Д. Мутовкина, М.В. Колелейшвили, 1973). Получен в результате клоновой селекции на Чаквинской чайной плантации под № 257, по данным Н.С. Киселёвой (2000) является диплоидом – $2n=30$ [48]. Куст сильнорослый, быстрорастущий, крона густая округлая, отличается светло-зелёной окраской флешей, с мягкими шершавыми листьями (рисунок 5). Характеризуется интенсивным образованием побегов. Лист у него яйцевидной или удлиненно овальной формы, длиной $13,0 \pm 0,6$ см, шириной $5,8 \pm 0,3$ см. Пластинка листа светло-зеленой окраски, нежная, пузырчатая. Кончик листа - 1,0 см; угол прикрепления листа - 63° ; длина междоузлий $4,0 \pm 0,3$ см; размер типса - 1,2 см; средняя масса 3-листных флешей - 1,2 г. Цветение в октябре. Длина вегетационного периода - 215 дней. Сорт отличается высокой урожайностью (до 94,27 ц/га). По качественным характеристикам не уступает лучшим мировым стандартам, обладает неповторимым вкусом и розанистым ароматом. Содержание танина в сырье составляет 26,7 %, экстрактивных веществ – 46,1 %. В 1995 году внесен в Госреестр по использованию во влажных субтропиках России [26].



Рисунок 5 – Опытные растения чая сорта Колхида

Сорт Сочи – клон крупнолистного китайского чая (Туов М.Т., 1996). Выделен на базе популяций Кимынь и Грузинский № 13, является диплоидом – $2n=30$ [48]. Куст среднерослый, быстро растущий, облиственность хорошая, крона круглая. Флеши крупные, достигают 8,7 – 10,8 см (рисунок 6). Отличается нежным сырьем, содержание глухих побегов (т.н. глушков) всего 7,0 %. Урожайность незначительно уступает Колхиде (в среднем до 74,87 ц/га). Содержание танина в сырье составляет 26,0 % и экстрактивных веществ – 40,5 %, что несколько ниже, чем в сорте Колхида. Однако, сорт характеризуется хорошей засухоустойчивостью и зарекомендовал себя более высокой морозоустойчивостью. Этим сортом можно закладывать плантации в более суровых почвенно-климатических условиях. В 1996 году включен в Госреестр [26].

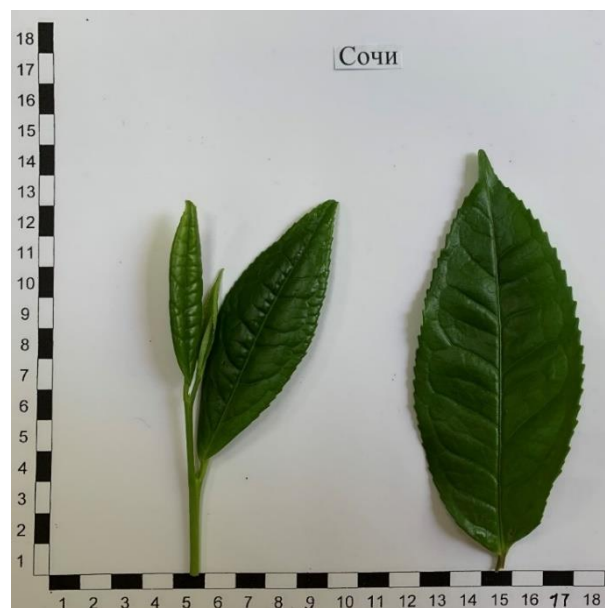


Рисунок 6 – Опытные растения чая сорта Сочи

Отобранные формы различаются по урожайности, качественным характеристикам, устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды:

Форма 3823 (Старт) – исходная популяция Кимынь (И.Г. Керкадзе, Р.К. Джакели, А.К. Лазаридис, 1983). Радиомутант грузинской селекции, миксоплоид – $2n=42$ [48]. Куст среднерослый, быстро растущий, облиственность средней густоты, крона округлая. Урожайность средняя. Отличается крупными листьями с ярко-зелёной окраской (рисунок 7). По данным заявителей форма устойчива к болезням и вредителям, засухоустойчивость средняя, жаровыносливость хорошая. Отличается высокими вкусовыми качествами, дегустационная оценка 5 баллов.



Рисунок 7 – Опытные растения чая формы 3823 (Старт)

Форма 582 (Рекорд) – является радиомутантом сорта Колхида (И.Г. Керкадзе, Р.К. Джакели, К.Г. Долидзе, 1983), анеуплоид – $2n=36$ [48]. Куст среднерослый, среднерастущий. Крона густая, округлая, облиственность хорошая (рисунок 8). Урожайность средняя. Имеет специфический аромат настоя черного чая. Форма устойчива к болезням и вредителям, засухоустойчивость средняя, жаровыносливость высокая. Дегустационная оценка 5 баллов.



Рисунок 8 – Опытные растения чая формы 582 (Рекорд)

Форма 855 (Дружба) – является хемо-мутантом грузинской селекции, получен от сорта № 8, анеуплоид – $2n=34$ [48]. Форма листа удлинено-овальная, цвет – темно-зеленый. Листовая пластинка пузырчатая. Длина листа $13,3 \pm 0,3$ см; ширина – $6,0 \pm 0,3$ см; кончик листа 1,3 см; типе размером 1,5 см; угол крепления листа к побегу – 59° ; длина междоузлий $4,2 \pm 0,4$ см; средняя масса 3-листных флешей 1,3 г. Флеши и молодые листья характеризуются антоциановой окраской (рисунок 9). Куст среднерослый, среднерастущий. Крона густая, округлая. Урожайность средняя. Цветение в ноябре. Генеративные процессы снижены. Продолжительность вегетации – 220 дней. Форма устойчива к болезням и вредителям, засухоустойчивость средняя, жаровыносливость высокая. Имеет специфический аромат настоя черного чая: аромат слегка с розанистым оттенком. Дегустационная оценка 5 баллов.



Рисунок 9 – Опытные растения чая формы 855 (Дружба)

Форма 2264 (Спутник) – получен в результате колхи-мутации грузинской селекции на основе местной китайской популяции (Ш.К. Тавдгиридзе, И.Г. Керкадзе, Д.Ш. Бараташвили, 1983), миксоплоид – $2n=38$ [48]. Куст среднерослый, среднерастущий. Крона густая, округлая хорошо облиственная (рисунок 10). Характеризуется высокой укореняемостью черенков. Урожайность средняя. Форма устойчива к болезням и вредителям, засухоустойчивость низкая, жаровыносливость средняя. В листе чая содержится экстрактивных веществ – 42,66 % и танина – 25,44 %. Дегустационная оценка средняя 4,5 балла.



Рисунок 10 – Опытные растения чая формы 2264 (Спутник)

Сорта и формы превосходят по урожайности и качественным показателям местную популяцию [13, 29, 48], в связи с чем, исследователи [13, 25, 104, 106] рекомендуют закладку новых и реконструкцию старых малопродуктивных чайных плантаций проводить такими сортами, как Сочи и формами чая (Дружба, Старт, Рекорд, Спутник), которые отвечают всем требованиям производства [26].

Отбор материала для исследований (3-листные побеги – флешы) проводили в период активной вегетации с мая по октябрь. Средняя проба растительного материала отбиралась согласно методике полевого опыта [28, 84].

2.3.2. Методы исследований

Определение основных антиоксидантов выполнено в лаборатории физиологии и биохимии растений ФИЦ СНЦ РАН; анализ суммарного содержания полифенолов отрабатывался на базе лаборатории Университета

ветеринарии и фармакологии (Брно, Чехия); определение катехинового комплекса готового чая проводили на кафедре органической химии Института химии СПбГУ (Санкт-Петербург, Россия).

Определение основных компонентов антиоксидантной системы

Определение активности гваяколпероксидазы. Активность гваяколпероксидазы (GPO) определяли спектрофотометрическим методом по Ермакову с учетом скорости утилизации пероксида водорода в реакционной смеси, в которую вносится растительный материал. Об интенсивности утилизации пероксида водорода судили по скорости снижения экстинкции при длине волны 440 нм против фосфатного буфера (pH 6,7) [35].

Содержание фотосинтетических пигментов. При исследовании использовали спектрофотометрический метод определения содержания хлорофилла и каротиноидов с экстракцией пигментов 96 %-м этанолом и использованием расчетных формул Смита и Бенитеза [115]. Оптическую плотность экстрагированных пигментов измеряли на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ, производитель – ООО «ЭКРОСХИМ» (Россия) при длине волны для хлорофиллов а и b – 665 и 649 нм, для каротиноидов – 440,5 нм в кюветах с толщиной слоя 10 мм.

Анализ количества флавоноидов (TFs и TRs). В качестве экстракта для извлечения флавоноидов из сырья использовали 96 %-ный этиловый спирт [123]. Для определения флавоноидов (TFs и TRs) использовался метод УФ-ВИС спектрофотометрии с применением анализатора ПЭ-5400ВИ (Россия) при длине волны 665 нм для теафлавинов и 825 нм для теарубигинов. Повторность лабораторных анализов – трёхкратная.

Флавоноидные соединения с Р-витаминной активностью (рутин) определяли методом титрования в соответствии с методикой анализа витаминов [82]. Количественное определение рутина основано на его способности окисляться перманганатом. В качестве индикатора применяется

индигокармин, который вступает в реакцию с перманганатом после того, как окислится весь рутин.

Определение кофеина проводили методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [79]. Образец чая ($2,0 \pm 0,01$ г), предварительно гомогенизированный, помещали в центробежную пробирку (ОБРАЗЕЦ) емкостью 10 мл. Добавляли к нему (ОБРАЗЦУ) 9 мл экстрагента (смесь воды с ацетонитрилом 7 : 2 по объему). Плотно закрывали пробку виал. Контрольный образец чая ($2,0 \pm 0,01$ г), предварительно гомогенизированный, помещали в центробежную пробирку (ОБРАЗЕЦ+ДОБАВКА) емкостью 10 мл. Добавляли к нему (ОБРАЗЕЦ+ДОБАВКА) 9 мл экстрагента (смесь воды с ацетонитрилом 7 : 2 по объему) с 10 мг кофеина. Плотно закрывали пробку виалы. Образцы помещали на водяную баню и экстрагировали кофеин при $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 минут. Образцы охлаждали до комнатной температуры, удаляя снаружи влагу. Экстрактивное вымораживание проводили по методу [10] в течение 25 мин при 4000 об./мин. и температуре $\approx 30 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полученные экстракты анализировали с помощью хроматографа ГХ «Кристаллюкс» (Россия), оснащенного пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой Phenomenex (США) длиной 30 м с внутренним диаметром 0,32 мм, загруженной стационарной фазой ZB-5.

Анализ аминокислотного состава (АМК) проводится с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель 105-М». 3-листные флешы (100 мг) высушивали, добавляли 1 мл воды и помещали в термостат ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) на 2-3 часа. Центрифугирование (13 000 об/мин) в течение 20 мин. Элюат выпаривали при $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, добавляли 100 мкл NaOH (0,15 М), 0,2 мл фенилизотиоцианата (PITC) и инкубировали в течение 1 часа.

Определение аскорбиновой кислоты (АК) проводили классическим йодометрическим методом [82, 112], титрантом служил раствор йодата калия. Титрование вели в присутствии йодида калия и хлороводородной кислоты (индикатор - крахмал) до стойкого синего окрашивания.

Определение суммарного содержания полифенолов проведено спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокалтеу в качестве экстрагента [ГОСТ Р ИСО 14502-1-2010 Чай. Метод определения общего содержания полифенолов]. Полифенолы экстрагировали из измельченной пробы чая 70 %-ным раствором этанола при температуре 70 °С. Содержание полифенолов в экстракте определяли колориметрическим методом с применением реактива Фолина-Чокалтеу, который содержит фосфорно-вольфрамовые кислоты, останавливающуюся при взаимодействии с легко окисляющимися ОН-группами фенола. При этом образуется вольфрамовая синь, обладающая характерной полосой поглощения с максимумом 765 нм, придающая исследуемому раствору синий цвет. Несмотря на то, что Реактив Фолина-Чокалтеу по-разному взаимодействует с различными полифенолами, использование галловой кислоты в качестве стандарта позволяет достоверно определить общее содержание полифенолов.

Определение суммарного содержания антоцианов осуществляли спектрофотометрическим методом. Оптическую плотность экстракта антоцианов в 1 % растворе соляной кислоты измеряли на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ, производитель – ООО «ЭКРОСХИМ» (Россия) при длине волны 510 нм [130]. Для внесения поправок на содержание зеленых пигментов определяли оптическую плотность полученных экстрактов при длине волны 657 нм. Содержание суммы антоцианов рассчитывали по цианидин-3,5-дигликозиду [130].

Содержание второстепенных вторичных метаболитов осуществляли методом газовой масс-спектрофотометрии на приборе Gas Chromatograph «Focus SSL/DSQ» (Thermo Scientific, USA) и методом ВЖЭК на приборе «DSQ II» (Thermo Scientific, USA). Колонка: TR-5MS 30 мм x 0,25 мм ID x 0,25 мкм.

Помимо данных методик дополнительно проведён анализ некоторых компонентов антиоксидантной системы классическими и современными методами: экстрактивные вещества – весовым способом по методике Воронцова [24], танин – по Левенталю с пересчетным коэффициентом 5,82 (по К.М.

Джемухадзе) [24].

Для агрохимической характеристики почвы опытного участка определяли: рНКСl – потенциметрически (ионметр рН-121); гумус – по Тюрину, в модификации Орлова и Гриндель, колориметр КФК-3, УСФ-01 (длина волны 670 нм); азот легкогидролизуемый – методом Тюрина и Кононовой (с ацидометрическим титрованием для слабоненасыщенных почв) с колориметрическим окончанием с реактивом Несслера, на фотоэлектроколориметре КФК-3, УСФ-01 (длина волны 440 нм); фосфор подвижный – методом Ониани (для кислых) и методом Олсена (для слабоненасыщенных почв) с колориметрическим окончанием по Дениже на фотоэлектроколориметре КФК-3, УСФ-01, длина волны 650 нм; калий подвижный – методом Ониани (для кислых почв) на пламенном фотометре ПФМЦ 4.2; калий обменный по Масловой (для слабоненасыщенных почв) на пламенном фотометре ПФМЦ 4.2; Ca^{2+} и Mg^{2+} – трилометрически, экстракция 0,1 н NaCl; алюминий подвижный – по Соколову; обменная кислотность – по Соколову; гидролитическая кислотность – по Каппену [2, 6, 83].

Методы статистического исследования и обработки результатов экспериментальных данных. Экспериментальные данные, полученные в ходе исследований, были обработаны с использованием общепринятых методов математической статистики. Все аналитические определения проводились в трехкратной повторности.

Корреляционную зависимость между выборками оценивали путем расчета ранговой корреляции Спирмена. Для проверки значимости корреляции и оценки статистических величин проведен анализ с применением пакета ANOVA в STATGRAPHICS Centurion XV (версия 15.1.02, StatPoint Technologies) и MS Excel 2007. Статистический анализ включал одномерный дисперсионный анализ (метод сравнения средних с использованием дисперсионного анализа, t-критерий). Статистически значимой принята значимость различия между средними значениями при $p < 0,05$.

Переработка 3-листных флешей чая в готовый продукт

Переработку чайного сырья (3-листных флешей) в зеленый и черный чай проводили в лаборатории физиологии и биохимии растений в соответствии с требованиями ГОСТ на данную продукцию [28, 107].

Требования, предъявляемые к черному чаю, изложены в ГОСТ 32573-2013 Чай черный. Технические условия. Чай черный – ферментированный чай, изготовленный с применением процессов завяливания и ферментации.

Требования, предъявляемые к зеленому чаю, изложены в ГОСТ 32574-2013 Чай зеленый. Технические условия. Чай зеленый – неферментированный чай, изготовленный с применением процесса фиксации.

Переработка чайного сырья (3-листных флешей) в зеленый чай.

Фиксация чайного листа осуществляли в специальном пропарочном аппарате (лабораторный аппарат Коха) в течение 2,5-3,0 минут при температуре 95-100 °С.

После фиксации чайный лист подсушивали в сушильном шкафу LP-309 (Будапешт, Венгрия) в течение 12-15 минут (температура 90-95 °С), чтобы исключить клейкость, которая затрудняет процесс скручивания.

Далее следует процесс скручивания, которое необходимо для раздавливания тканей листовой пластинки, выхода сока на поверхность листа и придания готовому продукту характерный вид завитка. Согласно технологическим требованиям, мы применяли однократное скручивание продолжительностью около 40 мин.

Скрученный лист высушивали в сушильном шкафу LP-309 (Будапешт, Венгрия) при температуре 90-95 °С, с доведением остаточной влажности чая до 3-5 %. Высушенный полуфабрикат зеленого чая приобретал характерный оливково-зеленый цвет.

Переработка чайного сырья (3-листных флешей) в черный чай. Для производства чёрного чая первым технологическим процессом является завяливание. Завяливали чай в специально отведенном помещении при

естественной температуре в течение 12-15 часов. В результате этого чайное сырье теряет тургор, лист становится эластичным, что облегчает скручивание.

Далее, в соответствии с технологическим требованием применяли двукратное скручивание: продолжительность первого – 40 мин., второго – 15 мин. При скручивании в результате разрушения тканей листа полифенолоксидаза приходит в контакт с дубильными веществами и вызывает их окисление за счёт кислорода воздуха.

Ферментация – основной процесс в производстве черного чая, длится 4–5 часов от начала скручивания при температуре 33 °С. Одним из внешних признаков ферментации является изменение цвета листа. Скручиваемый лист постепенно приобретает отчетливый медно-красно-коричневый оттенок, который объясняется окислением танина. Характерный цвет настоя черного чая придают образующиеся при ферментации пигменты (красно-коричневые теарубигины и золотисто-желтые теафлавины). От количественного соотношения этих пигментов зависит интенсивность и колер настоя. Образование цвета настоя непосредственно связано с появлением специфического приятного вкуса, наблюдаемого при изменениях танино-катехинового комплекса. Благодаря этому происходит исчезновение горького вкуса, запаха зелени и зеленого цвета настоя, свойственных чайному листу, не прошедшему процесс ферментации. Последним технологическим процессом переработки чайного листа является сушка в сушильном шкафу LP-309 (Будапешт, Венгрия) при температуре 90-95 °С. Основная цель сушки заключается в том, чтобы остановить процесс ферментации. Во время сушки также удаляется излишняя влага – 3–5 %.

ГЛАВА 3. ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ЧАЯ

3.1. Изменение количественного состава аскорбиновой кислоты в 3-листной флешей чая

Аскорбиновая кислота – самое распространенное и наиболее широко изученное антиоксидантное соединение [119, 121]. Она эффективно нейтрализует многие свободные радикалы и может восстанавливать α -токоферольный радикал, тем самым возвращая токоферолу антиоксидантные свойства. Повышенное образование аскорбиновой кислоты (АК) является одним из проявлений иммунитета растений, а также «регулируется» температурой окружающей среды [112].

Наши исследования содержания АК показали, что в ее накоплении выделяются два пика: первый – в июне, совпадающем с периодом естественного летнего покоя растений после майского всплеска продуктивности флешей (рисунок 11). Некоторое снижение количества АК в июле у растений чая связано с длительным отсутствием осадков ($r = -0,87$) и затуханием ростовых процессов, что спровоцировало резкое увеличение аскорбиновой кислоты в ответ на действие стресса (второй пик синтеза АК).

Характер накопления аскорбиновой кислоты изменялся не только в связи с погодными условиями, но и в соответствии с генотипическими особенностями растений (таблица 7). У контрольного сорта Колхида ее количество в 3-листной флешей в период с мая по июль относительно стабильно и существенное (НСР = 10,0-10,2) увеличение отмечается с июля (184,4 мг/100 г) по август (232,3 мг/г), в то время как у остальных образцов два пика прослеживаются достаточно четко (рисунок 11).

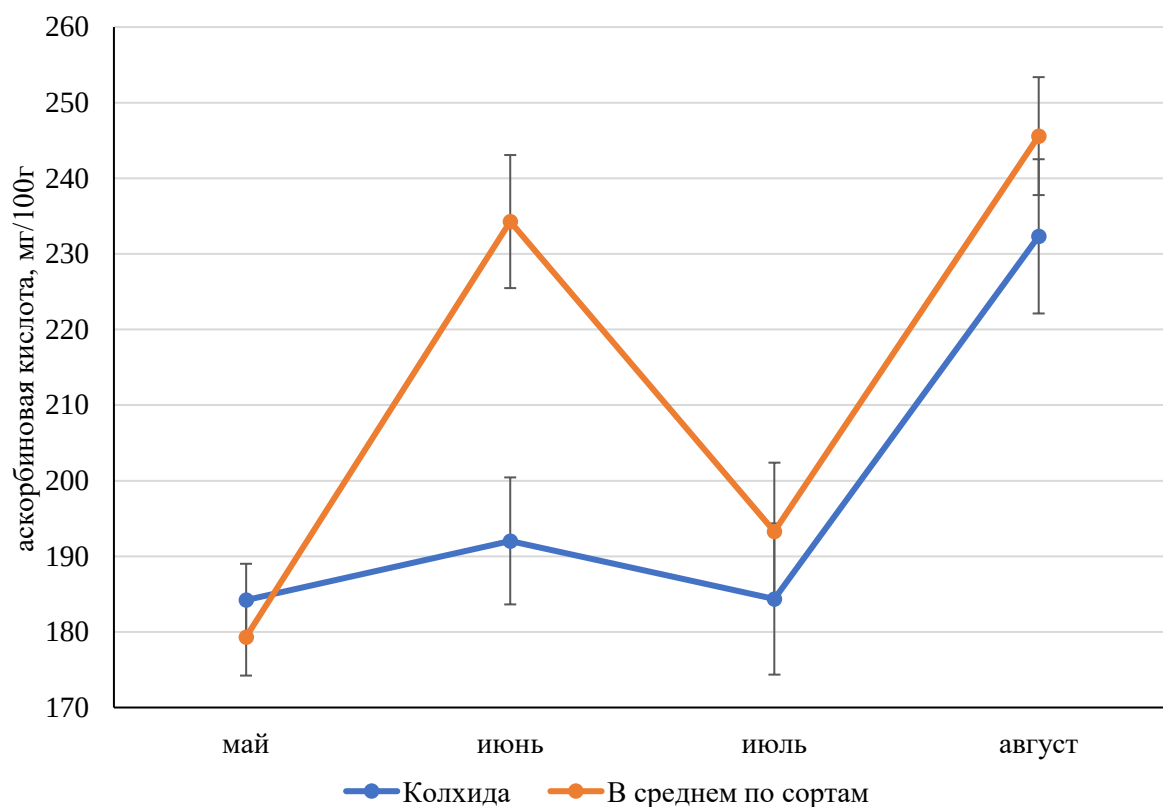


Рисунок 11 – Динамика накопления аскорбиновой кислоты 3-листной флешью *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида)

Также, отмечено, что наибольшим количеством витамина С отличаются формы 2264 и 582 (таблица 7).

Таблица 7 – Генотипические особенности в накоплении аскорбиновой кислоты 3-листной флешью *Camellia sinensis* [75]

Сорта/формы	май	июнь	июль	август	Среднее за 3 года	V, %
с. Колхида	184,2 ±23,0	192,0 ±34,8	184,4 ±12,9	232,3 ±45,9	198,2 ±15,2	12
с. Сочи	151,4 ±37,3	215,3 ±9,1	174,5 ±11,9	233,0 ±45,2	193,5 ±19,9	19
ф. 3823	159,6 ±38,9	224,7 ±15,7	185,3 ±10,1	246,3 ±10,7	204,0 ±20,2	19
ф. 582	191,0 ±28,3	223,7 ±35,7	229,6 ±18,9	259,9 ±14,2	226,0 ±25,4	12
ф. 855	169,0 ±34,7	244,2 ±45,6	189,7 ±13,4	228,8 ±14,5	207,9 ±32,1	17
ф. 2264	220,9 ±49,5	305,7 ±10,6	196,3 ±15,3	273,1 ±15,2	249,0 ±16,8	20
НСР	7,8	8,4	10,0	10,2	9,1	-

Наименее вариабельно накопление АК во флешах сорта Колхида и формы 582 ($V, \% = 12$). Во флешах ф. 2264 максимальное количество витамина С наблюдалось не в августе (как у остальных образцов), а в июне, однако этот показатель очень варьирует ($V, \% = 20$), уже в июле содержание АК падает в 1,5 раза (с 305,7 мг/100 г до 196,3 мг/100 г).

Варьирование содержания АК – признак хорошей пластичности растений и является важным признаком работы антиоксидантной защиты. В то же время, считаем, что в пищевом плане (как источник БАВ готового продукта) растения с относительно стабильным содержанием витамина С во флешах более ценны, например, форма 855 и сорт Колхида.

3.2. Динамика фотосинтетических пигментов в 3-листной флешах чая

Одним из показателей реакции растений на изменение гидротермических условий выращивания является количественное содержание хлорофилла и каротиноидов – главных фоторецепторов фотосинтезирующей клетки [1, 95]. Стрессовые факторы, в том числе, отсутствие осадков и высокие положительные температуры существенно повышают вероятность фотоокислительного повреждения в хлоропластах [13, 74]. Только изучив пигментную систему растений можно полностью выявить биологические и адаптивные возможности культуры.

Как показали исследования, проведенные нами ранее (2010 – 2016 гг.), значимым фактором, оказывающим влияние на пигментный комплекс растений чая, является количество осадков [13].

В процессе данного исследования (2017 – 2019 гг.) нами выявлена динамика накопления суммы хлорофиллов в свежесобранной флешах чая в течение вегетационного периода (рисунок 12). Как видно из рисунка, содержание зеленых пигментов достаточно динамичный процесс, который обуславливается как погодными условиями, так и генотипическими особенностями растений.

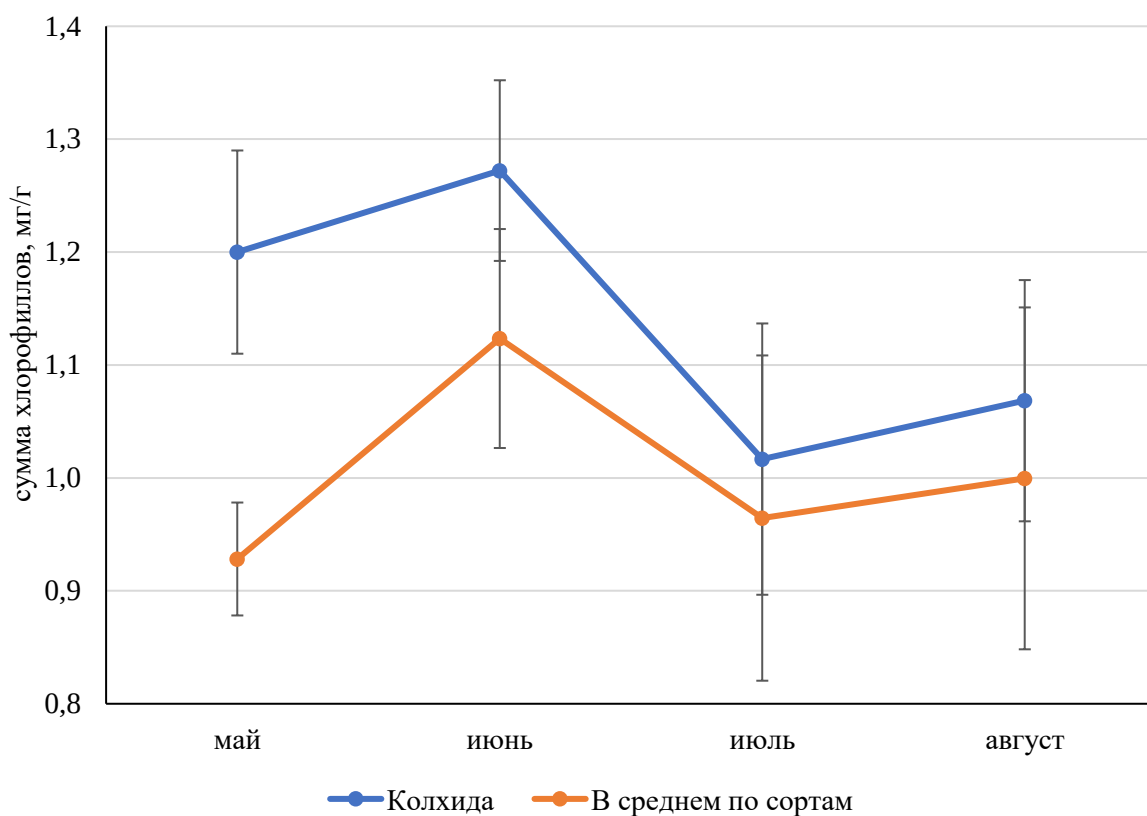


Рисунок 12 – Динамика накопления хлорофиллов 3-листной флешью *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида)

В мае идет активное нарастание флешей и листьев, по мере их вызревания активизируются метаболические процессы, сопровождаемые синтезом пигментов. В этой связи, наибольшее количество хлорофиллов отмечается в июне (в среднем 1,123 мг/г). В июле, в период недостаточного водоснабжения (в среднем 20 – 33 % от многолетней нормы), повышения температуры (в среднем по годам до 34 – 37 °С) и, как следствие, существенного водного дефицита, количество хлорофилла у растений значительно (в 1,2 – 1,3 раза) падает. В августе количество зеленых пигментов несколько возрастает, но менее выражено, чем в период активной вегетации. С августа процессы нарастания новых побегов (флешей) затихают, начинаются генеративные процессы, что сказывается и на синтезе хлорофилла.

Участие пигментного аппарата в адаптации чайного растения напрямую

связана с каротиноидами (рисунок 13). Данный класс пигментов принадлежат к семейству липофильных антиоксидантов, которые локализованы в пластидах как фотосинтезирующих, так и нефотосинтезирующих тканей. Они проявляют свою антиоксидантную активность несколькими способами: реагируя с продуктами перекисного окисления липидов к концу цепной реакции; удаляя O_2 и образуя тепло, как побочный продукт [53, 120, 135, 155].

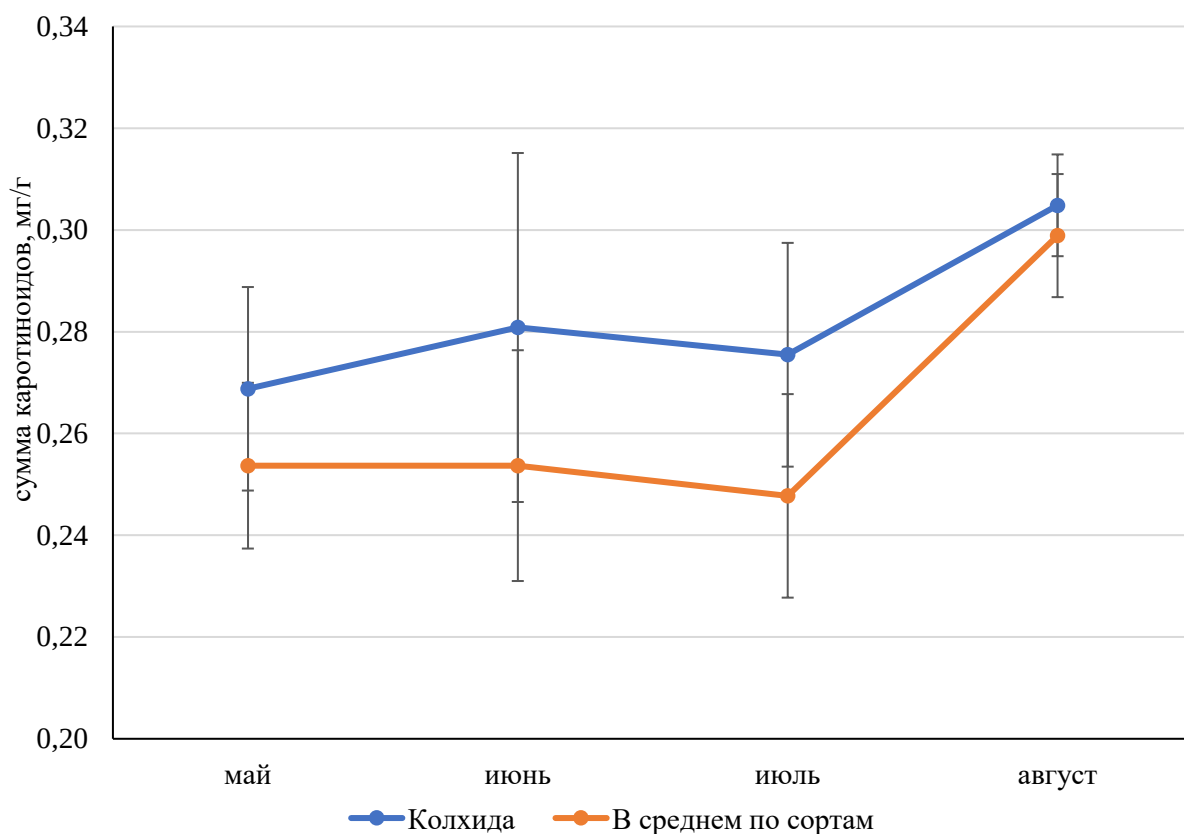


Рисунок 13 – Динамика накопления каротиноидов 3-листной флешью *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида)

Как показано нашими исследованиями (рисунок 13), незначительное увеличение количества каротиноидов совпадает с периодом засухи и естественным июньским затуханием ростовых процессов. В августе, при значительном водном дефиците отмечается резкое увеличение синтеза каротиноидов, что связано с продолжением засушливого периода,

сопровождаемого повышением температуры воздуха до 30 °С и более градусов, и снижением атмосферной влажности до 50 – 60 %, что является для чайного растения даже более ощутимым стрессором, чем недостаток влаги почвенной.

Выявленные закономерности являются общими для всех растений чая, что явно просматривается на элементе графика «В среднем по сортам», который повторяет изменение в накоплении обеих групп фотосинтетических пигментов контрольным сортом Колхида (рисунок 13).

Корреляционный анализ показал наличие высокой обратной зависимости содержания пигментов от температурного фактора ($r = -0,81$ в отношении хлорофилла и $r = -0,84$ по каротиноидам) и существование некоторого влияния на их накопление количества осадков ($r = -0,54$ в отношении хлорофилла и $r = 0,61$ по каротиноидам) в течение вегетации. Зависимости выражаются следующими регрессионными уравнениями:

$$\Sigma \text{ хлор.} = 3,78 - 0,13F_1 - 0,34F_2, R^2 = 99,91 \% \quad (1)$$

$$\Sigma \text{ кар.} = 0,32 - 0,41F_1 + 0,29F_2, R^2 = 95,98 \% \quad (2)$$

где,

F1 – температурный фактор, °С;

F2 – количество осадков, мм.

Статистический анализ регрессионной модели представлен в таблице 8. По каждому параметру представлен уровень значимости и критерий Стьюдента, по величинам которых можно судить о существенности влияния гидротермических факторов на содержание пигментов в 3-листной флешки чая.

Нами выявлено, что несмотря на общие закономерности в накоплении пигментов листьями чая, в их содержании проявляются генотипические особенности (таблица 9).

Таблица 8 – Статистический анализ регрессионной модели

Параметр	Оценка неопределенностей параметра	Стандартная ошибка	t-критерий	Уровень значимости
Константа1	3,7792	0,734	11,941	0,024
F1	-0,1356	0,056	-14,560	0,015
F2	-0,3454	0,029	-12,145	0,038
Константа2	0,3190	0,013	12,354	0,022
F1	-0,4126	0,094	-10,650	0,019
F2	0,2904	0,011	-12,561	0,029

Как известно, основным фотосинтезирующим пигментом является хлорофилл *a*, каротиноиды передают дополнительную энергию на хлорофиллы, выполняя светособирающую функцию, и отводят от них избыточную энергию, выполняя светозащитную функцию [21, 201]. Нами отмечено, что значительное накопление в листьях хлорофилла *a* характерно для контрольного сорта Колхида. В то время, как изучаемые формы содержат хлорофилла *a* существенно ниже (таблица 9).

Содержание хлорофилла *b* свидетельствует об уровне приспособленности растений к низкой освещенности. Для растений чая это не актуально, так как выращивается культура на открытых пространствах и обрезка шпалеры стимулирует рост листьев на верхней её части. Но часто плотно сомкнутая шпалера ограничивает открытое для солнечных лучей пространство, и многие листья боковых поверхностей оказываются в тени [13].

В данном случае, повышенное содержание хлорофилла *b* предпочтительно для фотосинтезирующей деятельности листьев данного яруса. Нами отмечена та же закономерность, что и с хлорофиллом *a*: больше хлорофилла *b* накапливается контрольным сортом; причем различия существенны или на границе существенности, как в случае с формами 3823 и 2264.

Таблица 9 – Генотипические особенности в содержании фотосинтетических пигментов 3-листной флешью *Camellia sinensis*

Сорт/форма	Содержание пигментов в мг/г сырого веса				
	Хл. <i>a</i>	Хл. <i>b</i>	Хл. <i>a</i> / Хл. <i>b</i>	Σкар.	Σхл./Σкар
с. Колхида	0,878 ±0,150	0,307 ±0,086	3,15 ±0,20	0,302 ±0,057	3,92 ±0,80
с. Сочи	0,746 ±0,139	0,341 ±0,167	2,97 ±0,22	0,286 ±0,018	3,78 ±0,22
ф. 3823	0,732 ±0,197	0,279 ±0,076	2,81 ±0,23	0,285 ±0,057	3,55 ±0,54
ф. 582	0,726 ±0,261	0,257 ±0,100	2,96 ±0,34	0,269 ±0,091	3,65 ±0,34
ф. 855	0,689 ±0,143	0,237 ±0,084	3,36 ±0,21	0,256 ±0,047	3,62 ±0,48
ф. 2264	0,732 ±0,113	0,258 ±0,063	3,09 ±0,14	0,273 ±0,041	3,63 ±0,34
НСР ($p \leq 0,05$)	0,11*	0,05*	0,84	0,04	0,21*

Примечание. * $p < 0,05$ при сравнении с контролем

Как известно, важным является не только содержание того, или иного пигмента, но и их соотношение [13, 21, 33]. Во всех изученных нами растениях чая соотношение *a/b* находится в пределах от 2,813 мг/г до 3,362 мг/г, и отличия между формами несущественно (таблица 9).

Соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам – более информативный признак, так как указывает на степень приспособленности растений к неблагоприятным условиям [94]. Чем меньше соотношение – тем устойчивость сорта выше. По указанному показателю все новые формы чая можно классифицировать как достаточно устойчивые, в их флешах соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам существенно ниже, чем в сорте Колхиде.

Таким образом, нами отмечены закономерности в накоплении пигментов, связанные с особенностями биологии *C. sinensis*. Определена динамика пигментного комплекса, ее зависимость от гидротермических факторов: наибольшее количество зелёных пигментов синтезируется листьями в начале активной вегетации (май), в засушливый период (июнь и август) повышается синтез каротиноидов, приводящий к существенному

снижению соотношения суммы хлорофилла к сумме каротиноидов. Значительное накопление в листьях зеленой группы пигментов характерно для контрольного сорта Колхида (содержание хлорофилла *a* составляет в среднем 0,88 мг/г, хлорофилла *b* – 0,31 мг/г).

Практически все новые формы чая являются устойчивыми к гидротермическим стрессорам. В их флешах соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам ниже (2,81-3,09 мг/г), чем в контрольном сорте Колхиде (3,92 мг/г)

3.3. Фенольный комплекс и его участие в формировании защитного ответа растений на гидротермический стресс

3.3.1. Динамика флавоноидов в 3-листной флеша чая

Фенольные соединения относятся к одним из наиболее распространенных в растениях представителей вторичного метаболизма [1, 38, 67, 72, 234].

Самым большим и одним из наиболее изученных классов фенольных соединений, широко распространенных в растениях [38, 101, 229, 235], являются флавоноиды. В растениях чая основными флавоноидами являются теафлавины и теарубигины, обуславливающие цвет настоя и качественные характеристики готового продукта.

Теафлавины – первые продукты окисления катехинов и катехингаллатов в процессе ферментации [38]. Теарубигины являются продуктами превращения теафлавинов. При их кислотном гидролизе образуются аланин, аргинин, глицин, лейцин, серин и другие аминокислоты [67, 133, 149]. Таким образом, теарубигины – это смесь разных веществ, в частности продуктов конденсации ортохинонных форм катехинов с аминокислотами.

Исследованиями, проведенными нами, показано (рисунок 14), что накопление флавоноидов в листьях чая достаточно динамичный процесс [139,

200]. В начале вегетации (с мая по июнь) отмечается активный рост их содержания (теафлавины до 0,106 мг/г и теарубигинов до 1,516 мг/г), который к июлю сменяется таким же активным понижением (рисунок 14). К августу количество флавоноидов достигает июньского уровня (0,111 и 1,434 мг/г, соответственно).

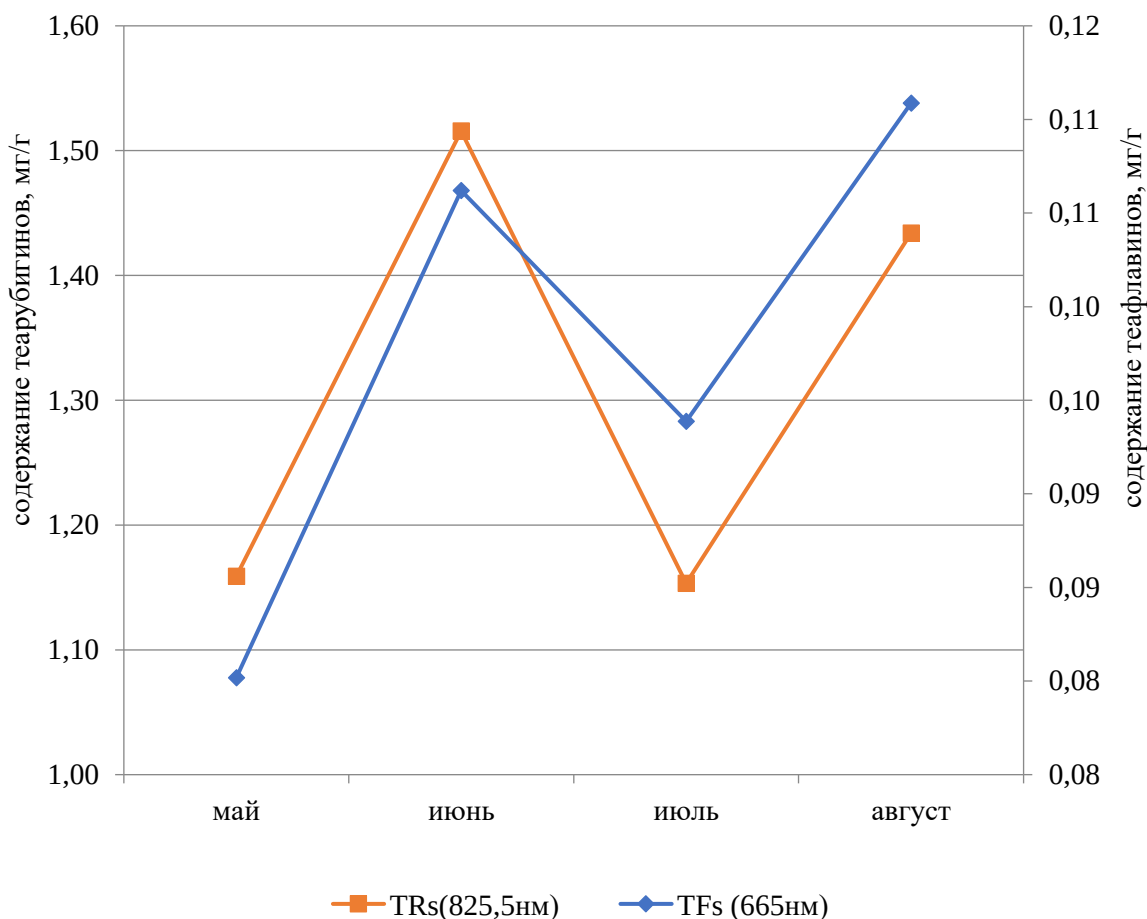


Рисунок 14 – Динамика накопления флавоноидов 3-листной флешью *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида)

Такие изменения полностью соответствуют изменению погодных условий, а именно, влиянию гидротермических факторов на синтез данных соединений (таблица 10). Так, нами проведен регрессионный анализ, показавший тесную взаимосвязь флавоноидов друг с другом и выявивший значимое влияние такого фактора, как количество осадков на синтез теарубигинов:

$$TRs = 1,90 + 11,99F1 - 1,12F2; \quad R^2 = 99,87 \% \quad (3)$$

где,

F1 – количество теафлавинов в листе, мг/г;

F2 – количество осадков, мм.

Таблица 10 – Статистический анализ регрессионной модели

Параметр	Оценка неопределенностей параметра	Стандартная ошибка	t- критерий	Уровень значимости
Константа	1,903	0,128	14,921	0,043
F1	11,999	0,488	24,571	0,026
F2	-1,118	0,001	-14,521	0,044

Корреляционный анализ показал, что данный фактор оказывает немалое влияние на динамику обоих флавоноидов, коэффициент корреляции по TFs...-0,89; по TRs...-0,99. Обратная корреляция указывает на тот факт, что при уменьшении количества осадков содержание флавоноидов увеличивается (рисунок 15).

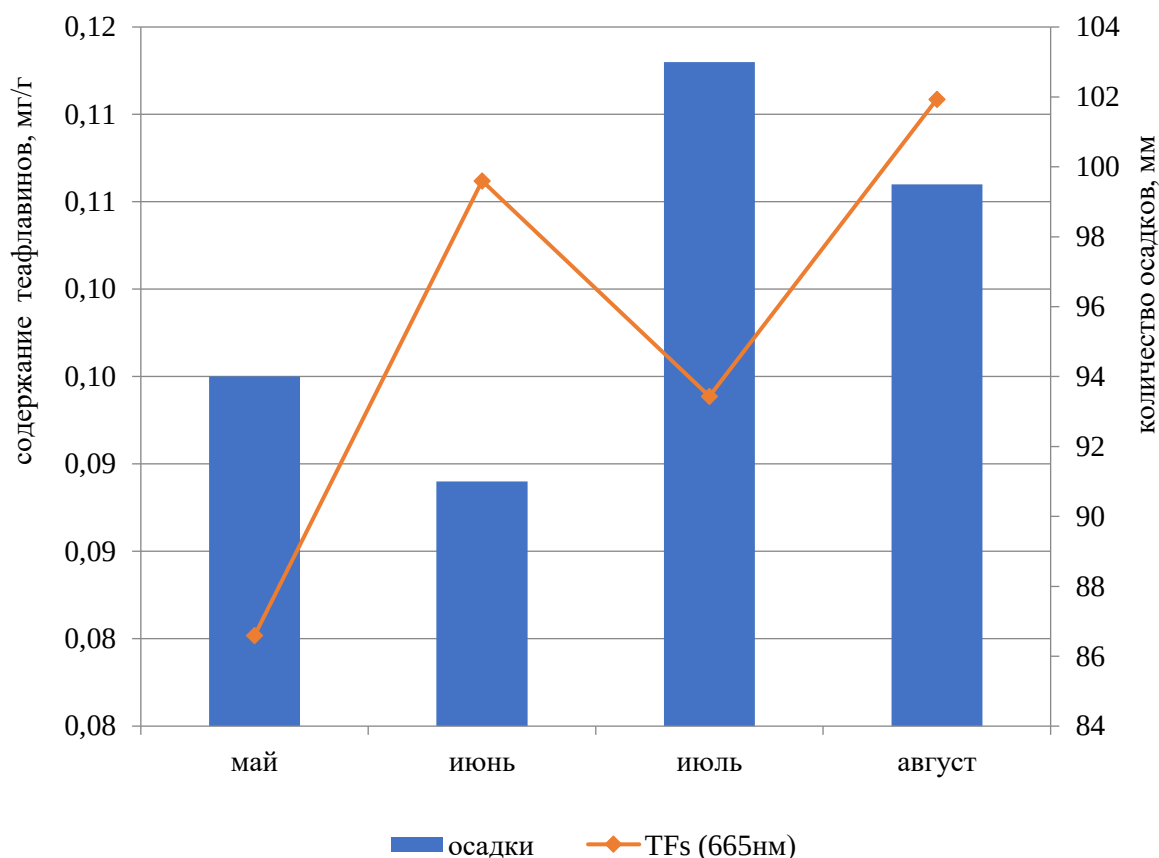


Рисунок 15 – Взаимосвязь динамики накопления флавоноидов 3-листной флешью *Camellia sinensis* от количества осадков (на примере теафлавинов)

В то же время, температура воздуха в период вегетации, как фактор, не оказывает значимого влияния на синтез теафлавинов и теарубигинов ($r = -0,17...-0,49$). На рисунке 15 на примере теафлавинов показано влияние на динамику флавоноидов количества осадков.

По теарубигинам картина аналогична, что не случайно, так как оба флавоноида тесно связаны друг с другом и зачастую, особенно в процессе переработки, наблюдается взаимопревращение теафлавинов в теарубигины.

Нами показано, что на процессы накопления флавоноидов существенное влияние оказывают генотипические особенности растений (таблица 10).

Таблица 10 – Генотипические особенности в содержании флавоноидов в 3-листной флеша *Camellia sinensis*, мг/г

Варианты	2016		2017		2018		2019		Среднее		V, %	
	TFs	TRs	TFs	TRs	TFs	TRs	TFs	TRs	TFs	TRs	TFs	TRs
с. Колхида	0,15	2,39	0,09	1,20	0,07	0,84	0,10	1,52	0,10 ±0,04	1,49 ±0,06	31	40
с. Сочи	0,07	0,82	0,08	1,06	0,07	0,88	0,11	1,57	0,08 ±0,02	1,08 ±0,03	22	35
ф. 3823	0,11	1,13	0,09	1,13	0,09	1,17	0,12	1,67	0,10 ±0,01	1,27 ±0,03	21	34
ф. 582	0,16	2,04	0,09	1,20	0,11	1,33	0,13	1,83	0,12 ±0,03	1,40 ±0,04	27	32
ф. 855	0,12	1,24	0,09	1,22	0,09	1,13	0,12	1,81	0,11 ±0,02	1,35 ±0,03	24	34
ф. 2264	0,16	2,26	0,07	1,04	0,09	1,10	0,12	1,72	0,11 ±0,04	1,53 ±0,06	27	41
<i>HCP (p≤0,05)</i>	<i>0,05</i>	<i>0,12</i>	<i>0,03</i>	<i>0,10</i>	<i>0,03</i>	<i>0,09</i>	<i>0,04</i>	<i>0,10</i>	<i>0,04</i>	<i>0,10</i>	-	-

Наибольшим количеством теафлавинов за весь период исследований характеризуется форма 582 и 2264, у которых и теарубигина больше, чем в остальных сортах/формах. Меньше теафлавинов у сорта Сочи (в среднем 0,082 мг/г теафлавинов) и существенно меньше теарубигинов у указанного сорта и формы 3823 (НСР, за весь период исследований = 0,10).

Интерес представляет варьирование данных соединений в 3-листной флешки, в связи с антиоксидантной функцией флавоноидов и пищевой значимостью готового чая, производимого из сырья. Наш анализ показал, что соединения достаточно лабильны, коэффициент вариации показателей лежит в пределах от 21-31 % (теафлавины) до 32-41 % (теарубигины). По сортам/формам картина следующая – более вариабелен по накоплению теафлавинов сорт Колхида ($V = 31\%$ за все годы исследования), наименее лабильна форма 3823 ($V = 21\%$). По теарубигинам более стабильны формы 582, 855 и 3823 ($V = 32-34\%$). С точки зрения участия флавоноидов в неспецифической защите от стрессоров абиотической природы, лабильность показателей у сорта Колхиды, а также сорта Сочи и формы 2264 – положительный признак, так как резкое повышение обеих групп флавоноидов у данных растений приходится на периоды действия гидротермических стрессоров.

Таким образом, проявляются генотипические различия в накоплении флавоноидов, что можно использовать в направленном отборе сортов и форм на повышенное содержание в них антиоксидантов. Закономерности синтеза биофлавоноидов во флешках чая связаны как с погодными условиями вегетации, так и с сортовыми особенностями растений, которые можно использовать в качестве селекционного материала и отбирать растения, как на повышенное содержание теафлавинов и теарубигинов, так и на более константное их накопление.

3.3.2. Содержание полимерных форм фенольных соединений в 3-листной флеша чая

Помимо мономерных фенольных соединений в растениях чая присутствует большой комплекс димерных и полимерных фенолов [143, 154, 240]. Одним из представителей димерных фенолов является антоциан (антоцианидин).

Антоцианы – ярко окрашенные флавоноиды, присутствующие в клеточных вакуолях, которые определяют окраску цветов и плодов, а также могут присутствовать в других частях растений. Например, они присутствуют в листьях, где служат фильтром, защищающим растение от избыточной солнечной радиации. В тканях растений антоцианы часто присутствуют в гликозилированной форме, благодаря чему их растворимость в воде возрастает. Как известно, антиоксидантные свойства соков, экстрактов, в том числе и чая, обычно коррелируют с содержанием антоцианов и других полифенолов. Содержание антоцианов, как многих фенольных соединений, зависит от времени года, метеорологических условий вегетации, генотипических особенностей.

Изучая содержание антоцианов в 3-листной флеша (фиксированном чайном сырье) в динамике, мы определили основные закономерности в их накоплении по месяцам (рисунок 16). Так, исследования показали, что наибольшее количество антоцианов накапливается в июле (в среднем 308,5 г/100 г), наименьшее в мае (150,2 г/100 г). Это не случайно, так как в июле наблюдается длительный засушливый период, сопровождаемый высокими температурами воздуха. Так как антоцианы выполняют защитную функцию в растениях, повышение их количества в 3-листных молодых флешах чая в период стресса является закономерным процессом [76, 136].

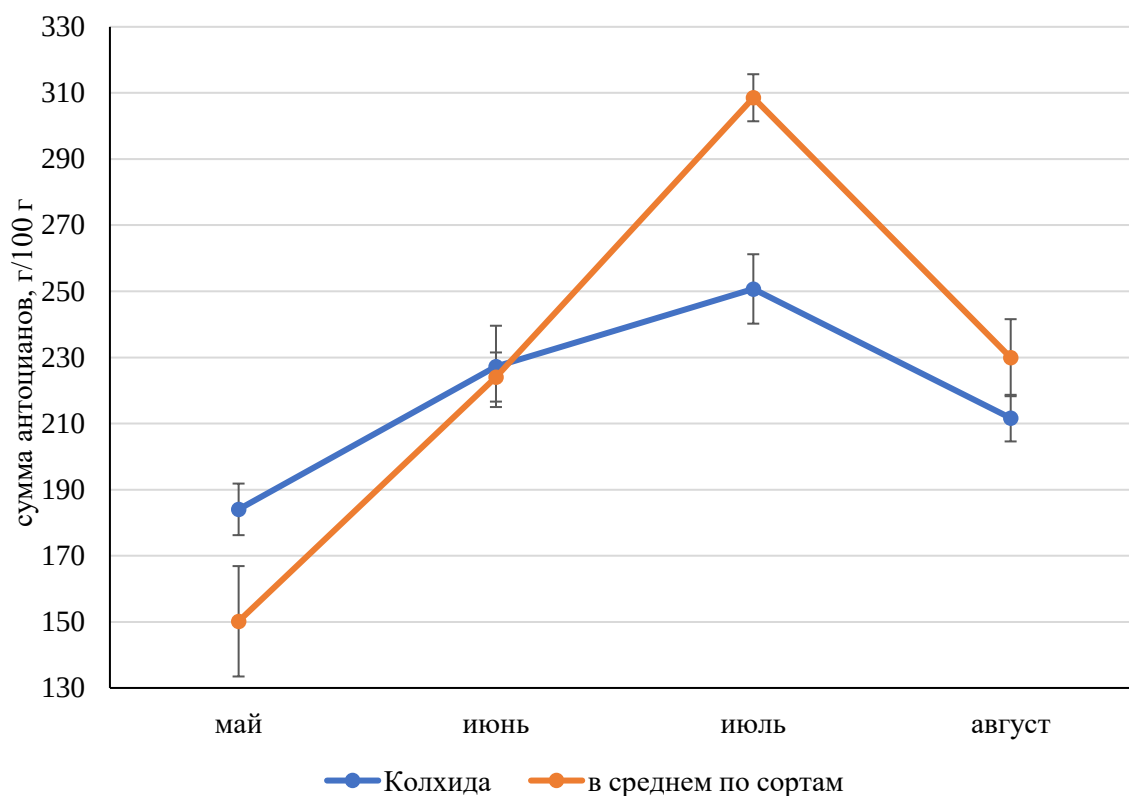


Рисунок 16 – Динамика накопления антоцианов 3-листной флешью *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида)

Закономерности накопления антоцианов в 3-листной флешу, как и в случае в другими вторичными метаболитами (пигментами, флавоноидами и т.д.) носит общи характер, что подтверждается сходными диаграммами накопления по контрольному сорту Колхида и по усредненным данным всех сортов (рис. 16).

Статистический анализ (таблица 11) показал значимую обратную зависимость содержания антоцианов от температурного фактора ($r = -0,96$), которая описывается следующим уравнением регрессии:

$$\Sigma \text{ антоц.} = 42,34 + 12,45F1 - 0,52F2, R^2 = 36,30 \quad (4)$$

где,

F1 – температурный фактор, °C;

F2 – количество осадков, мм.

Таблица 11 – Статистический анализ регрессионной модели

Параметр	Оценка неопределенностей параметра	Стандартная ошибка	t-критерий	Уровень значимости
Константа	42,3393	265,049	0,1597	0,8832
F1	12,4517	13,7061	0,9085	0,4306
F2	-0,5160	0,5913	-0,8726	0,4471

Однако, как и с остальными соединениями, содержание в 3-листных флешах чая антоцианов во многом зависит от генотипа форм. Анализ данных по сортовым особенностям в накоплении антоцианов показал (таблица 12), что наибольшим их количеством отличаются формы 2823 (242,1 г/100 г) и 582 (241,7 г/100 г), что существенно выше, чем у контрольного сорта Колхида (218,4 г/100 г). Это не случайно, например, листья и флешы чая формы 582 имеют интенсивную антоциановую окраску. К тому же, ряд авторов отмечает, что больше антоцианов накапливается у сортов с низкой активностью каталазы [57, 79]. В нашем случае, данные формы не отличаются высокой ферментативной активностью.

Помимо этого, интерес представляет вариабельность форм в отношении накопления антоцианов (таблица 12), т.к. лабильность является характеристикой пластичности растений в отношении действия стрессоров абиотической природы, а стабильность характеризует возможность использования данной формы в качестве источника хозяйственно-ценных признаков – содержания метаболитов антиоксидантного свойства. В данном аспекте сорт 582, несмотря на повышенное содержание антоцианов, не является надежным источником биологически активных веществ ($V = 55 \%$), в то время как форма 588 и сорт Сочи (наравне с контрольным сортом Колхида) могут быть использованы и в селекции на повышенное содержание БАВ и представлять интерес с точки зрения пищевой ценности готового чая (таблица 12).

Таблица 12 – Генотипические особенности в содержании антоцианов в 3-
листной флеша *Camellia sinensis*, г/100 г

Сорта/формы	май	июнь	июль	август	Среднее за 3 года	V, %
с. Колхида	184,2 ±10,9	227,3 ±12,2	250,7 ±11,5	211,6 ±22,5	218,4 ±27,9	13
с. Сочи	153,8 ±13,6	217,5 ±13,5	228,9 ±20,2	208,8 ±16,7	202,2 ±33,3	16
ф. 3823	174,2 ±9,9	212,7 ±14,6	247,4 ±12,9	234,2 ±14,3	242,1 ±24,5	31
ф. 582	111,1 ±15,4	225,9 ±10,9	438,9 ±15,4	190,9 ±15,7	241,7 ±39,9	55
ф. 855	133,4 ±12,2	228,9 ±12,4	269,9 ±13,3	268,7 ±12,7	225,2 ±34,1	28
ф. 2264	144,5 ±13,8	232,2 ±15,6	315,4 ±10,9	265,2 ±14,9	239,3 ±41,9	30
<i>НСР</i>	15,4	9,8	12,5	1,98	20,4	-

Еще один важный, но редкий компонент фенольного комплекса – пирогаллол (1,2,3 - триоксибензол), представляющий собой группу простых гидролизуемых фенолов. Образуется он в результате окислительного декарбоксилирования фенолокислот, а именно галловой кислоты и ее производных. Его содержание зависит как от климатических, почвенных, так и от генетических (наследственных) факторов растения [45, 76, 101].

Наши исследования показали, что содержание пирогаллола в 3-листной флеша колеблется от 2,5% до 27,6 % (рисунок 17).

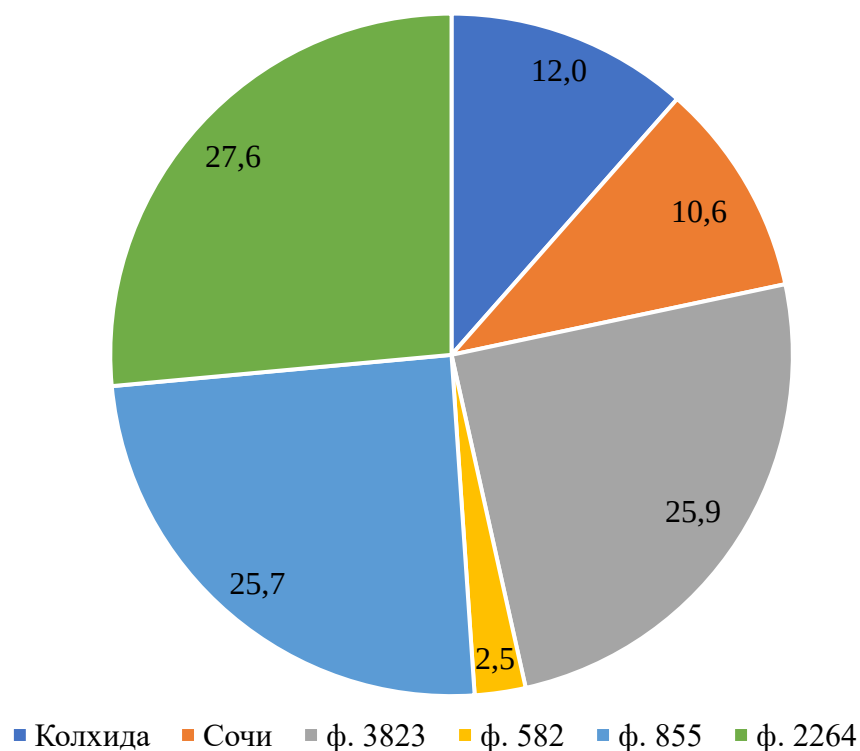


Рисунок 17 – Генотипические отличия в содержании пирогаллола в 3-листной флеша *Camellia sinensis*, в %

Поскольку данный метаболит наряду с другими фенольными соединения, обуславливает терпкость чая, его содержание в сырье чрезвычайно важно. Тем более, что пирогаллол, как и остальные соединения этого типа является антиоксидантом, способным связывать ионы тяжелых металлов в устойчивые комплексы, а также, служит акцептором свободных радикалов [1, 9]. В данном аспекте существенно более высокое содержание пирогаллола в формах 2264, 3823 и 855 представляет несомненную ценность ($HSP (p \leq 0,05) = 0,08$).

3.3.3 Содержание кофеина в 3-листной флеша чая

Как известно, важным биологически активным компонентом чая, определяющим пищевую ценность напитка, является кофеин [9, 20, 24, 37]. Кофеин относится к азотсодержащим гетероциклическим алкалоидам

пуринового ряда и обладает высокой функциональной активностью [44, 58]. Необходимо отметить, что чай содержит одну из разновидностей кофеина, который связан с танином, образуя теин или таннат кофеина. Его особенностью является более мягкое воздействие на организм человека: поскольку кофеин присутствует в сочетании с танинами, то при заваривании он не экстрагируется полностью и напиток действует на организм более мягко. При этом в отличие от кофеина теин не накапливается в организме [55, 126]. На количество кофеина в чае влияют условия выращивания, применяемая агротехника и условия переработки [3, 8, 20, 24]. Это полностью подтверждается и нашими исследованиями [73, 200].

Так, на рисунке 18 показаны изменения в накоплении кофеина 3-листной флешью чая в течение вегетационного периода.

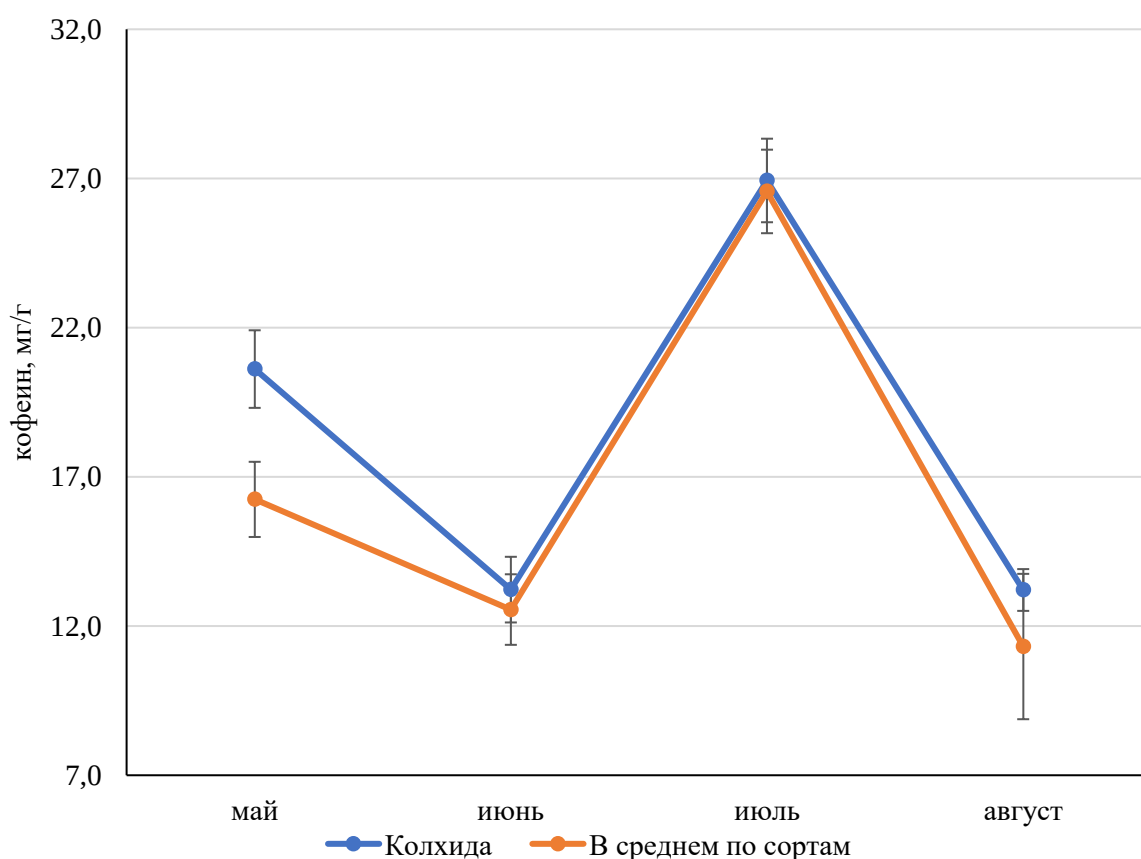


Рисунок 18 – Динамика содержания кофеина в 3-листной флешью *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида)

Как видно из представленных данных, отмечается активная динамика алкалоида с наличием резких спадов и пиков. В мае идет массовое нарастание флешей и на первый сбор, как правило, приходится около 50 % от годового [13]. Как показано нашими многолетними данными и исследованиями, проводимыми в зоне влажных субтропиков России ранее [69, 73, 75, 136, 139], в мае отмечается низкое содержание основных вторичных метаболитов. Растения после зимнего периода еще не успевают накопить достаточное их количество. Однако, в синтезе кофеина прослеживается иная закономерность: в мае его содержание достаточно высокое (в среднем от 12,07 до 20,61 мг/г), что может быть объяснено увеличением интенсивности солнечного света и продолжительности его действия, которые, как правило, положительно влияют на накопление алкалоидов [1, 58]. Затем, наблюдается спад в его накоплении. По мнению ряда авторов колебания содержания алкалоида также могут быть связаны с динамикой биосинтетических и транспортных процессов, в том числе суточных, что до настоящего времени остается слабо изученным [9, 30].

Наиболее активный синтез кофеина у растений чая наблюдается в июле (в среднем 26,56 мг/г), превышение его количеств по сравнению с остальной частью вегетационного периода составляет 1,6 – 2,3 раза, что является существенным (НСР = 1,3). И к августу, к периоду активизации генеративных процессов, количество кофеина резко сокращается, что подтверждает мнение ряда авторов [1, 30] о том, что в качестве элемента неспецифической защиты у алкалоидсодержащих растений к осени происходят процессы транспорта алкалоидов от вегетативных к генеративным органам.

Корреляционный анализ показал значимое влияние на накопление кофеина термического фактора ($r = 0,95$), в то время как количество осадков не оказывает никакого действия на синтез алкалоида листьями чая. Данная зависимость выражается следующим уравнением регрессии:

$$\text{Caf} = -137,141 + 9,58F_1 - 0,24F_2, R^2 = 0,89 \% \quad (5)$$

где,

F1 – температурный фактор, °C;

F2 – количество осадков, мм.

Как показали исследования динамики накопления кофеина в 3-листной флешки чая, данный процесс является общим для всех растений, но отмечается более или менее выраженная сортовая вариация, которая связана с генотипическими особенностями (таблица 13). Так, если в мае наибольший синтез кофеина отмечен у сорта Колхида (20,61 мг/г); наименьший – у формы 2264 (12,07 мг/г), то в остальные периоды вегетации количество синтезируемого листом кофеина мало варьирует у сортов и форм, находясь в пределах от 7,62 мг/г (ф. 2264 в августе) до 28,61 мг/г (ф. 582 в июле) (таблица 13).

Таблица 13 – Генотипические отличия в содержании кофеина в 3-листной флешки *Camellia sinensis*, мг/г

Сорта/формы	май	июнь	июль	август	Среднее за 3 года	V, %
с. Колхида	20,61 ±2,15	13,22 ±2,25	26,93 ±3,16	13,21 ±1,65	18,49 ±6,62	36
с. Сочи	16,33 ±3,05	13,70 ±1,95	24,63 ±2,99	14,46 ±1,16	17,27 ±5,03	29
ф. 3823	15,68 ±3,25	11,07 ±2,16	27,10 ±3,65	9,95 ±2,05	15,95 ±7,84	49
ф. 582	19,26 ±1,56	13,31 ±3,08	28,61 ±4,05	10,75 ±1,14	17,98 ±7,93	44
ф. 855	13,52 ±1,46	11,04 ±2,29	26,73 ±2,29	11,90 ±1,34	15,80 ±7,36	47
ф. 2264	12,07 ±1,12	12,98 ±3,06	25,38 ±2,55	7,62 ±2,09	14,51 ±7,61	52
<i>HCP (p ≤ 0.05)</i>	2,28	1,67	2,54	2,00	0,72	-

В целом, существенно более богат кофеином сорт Колхида, меньше всего алкалоида содержится в 3-листной флешки формы 2264. Однако, у этой же формы отмечена и большая вариабельность кофеина (V = 52 %), более стабильно содержание данного соединения у сорта Сочи (V = 29 %).

3.3.4. Содержание общих полифенолов в 3-листной флешки чая

Динамика общих полифенолов не отличается от установленных нами ранее закономерностей по синтезу биологически активных веществ катехиновой природы. Большее количество полифенолов накапливается в июле (рисунок 19), что видно из динамики их содержания в контрольном сорте Колхида (18,47 мг/г, в мае-июне – 10,77-15,36 мг/г). Полученная информация носит характер закономерности, так как подтверждается данными по накоплению полифенолов всеми сортами/формами чая.

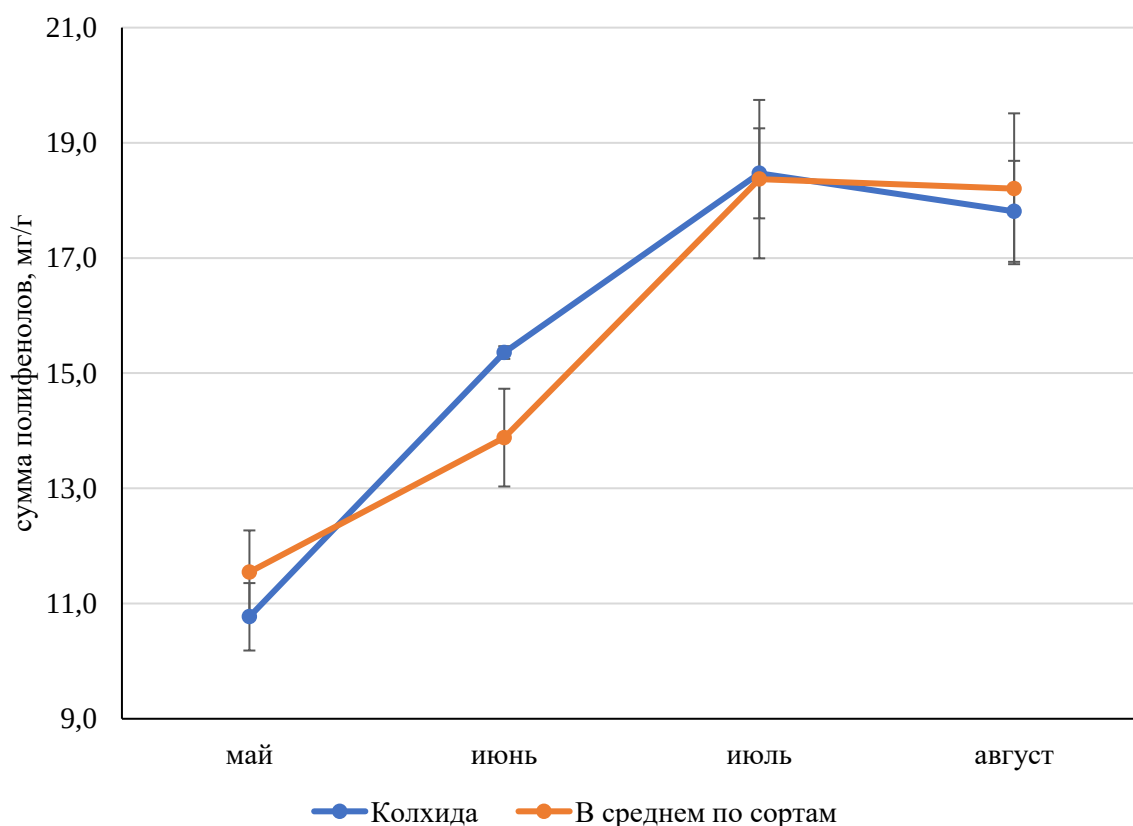


Рисунок 19 – Динамика накопления общих полифенолов 3-листной флешью *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида)

Статистический анализ выявил наличие средней зависимости данного показателя от термического фактора ($r = 0,61$) и высокой обратной связи полифенолов с количеством осадков в течение вегетационного периода ($r = -$

0,84), что выражается следующим уравнением регрессии:

$$\text{Общ. полиф.} = -23,24 + 2,82F_1 - 0,17F_2, R^2 = 0,70 \quad (6)$$

где,

F_1 – температурный фактор, °C;

F_2 – количество осадков, мм.

Сравнительный анализ результатов количественного исследования образцов показал, что на содержание полифенолов в чайном листе влияют не только гидротермические условия периода вегетации, но и генотипические особенности растений (таблица 14).

Таблица 14 – Генотипические отличия в содержании общих полифенолов в 3-листной флеша *Camellia sinensis*

Сорта/формы	май	июнь	июль	август	Среднее за 3 года	V, %
с. Колхида	10,77	15,36	17,81	17,81	16,56 ±1,26	20
с. Сочи	11,85	14,43	16,46	17,01	15,63 ±1,13	14
ф. 3823	11,67	13,53	19,16	18,64	16,72 ±1,34	20
ф. 582	12,75	13,15	18,94	20,06	17,50 ±1,63	21
ф. 855	10,91	13,48	20,13	19,08	16,96 ±1,93	23
ф. 2264	11,32	13,34	17,05	16,60	15,25 ±1,36	15
<i>HCP (p ≤ 0.05)</i>	<i>0,98</i>	<i>1,02</i>	<i>0,64</i>	<i>0,87</i>	<i>0,51</i>	-

Как видно из представленной таблицы, наибольшее количество общих полифенолов содержит форма 582 (HCP за три года – 0,51); меньше всего компонентов катехинового комплекса у сорта Сочи и формы 2264, что также является существенным. Однако, вариабельность данного показателя у растений сорта Сочи и формы 2264 невысока (V = 14 и 15 %, соответственно), что позволяет рассматривать данные образцы в качестве надежных

источников антиоксидантов. Высокая лабильность общих полифенолов у формы 855 и 582 говорит об активной защите растений на гидротермический стресс, тем более что в июле (стрессовом периоде вегетации) у данных форм наиболее высокие значения полифенолов наблюдались в течение всего периода исследований.

3.4. Аминокислотный комплекс растений чая и его роль в защите растений чая от стресса

Как следует из литературных источников, в чае обнаружено 15 аминокислот (АМК), на их долю которых приходится примерно 2% от всех вторичных метаболитов листа [7, 9, 132]. Наиболее важной аминокислотой чая является теанин, небелковая аминокислота. По строению – это γ -глутамилэтиламид [9]. Данная аминокислота обеспечивает вкус настоев чая. Среди других аминокислот чая присутствуют пять незаменимых аминокислот: лейцин, метионин, фенилаланин, треонин, изолейцин.

Наши исследования по определению содержания аминокислот в чае позволили идентифицировать 11 АМК (рисунок 20), наиболее количественно представленной является пролин, на который приходится от 44 до 63 % (от суммарного количества всех идентифицированных АМК) в зависимости от опытного образца. От 5% до 15 % составляют серин и валин и около 7 % - метионин, остальные аминокислоты присутствуют в небольшом количестве (в среднем по сортам от 0,09 % тирозина до 5,76 % аргинина).

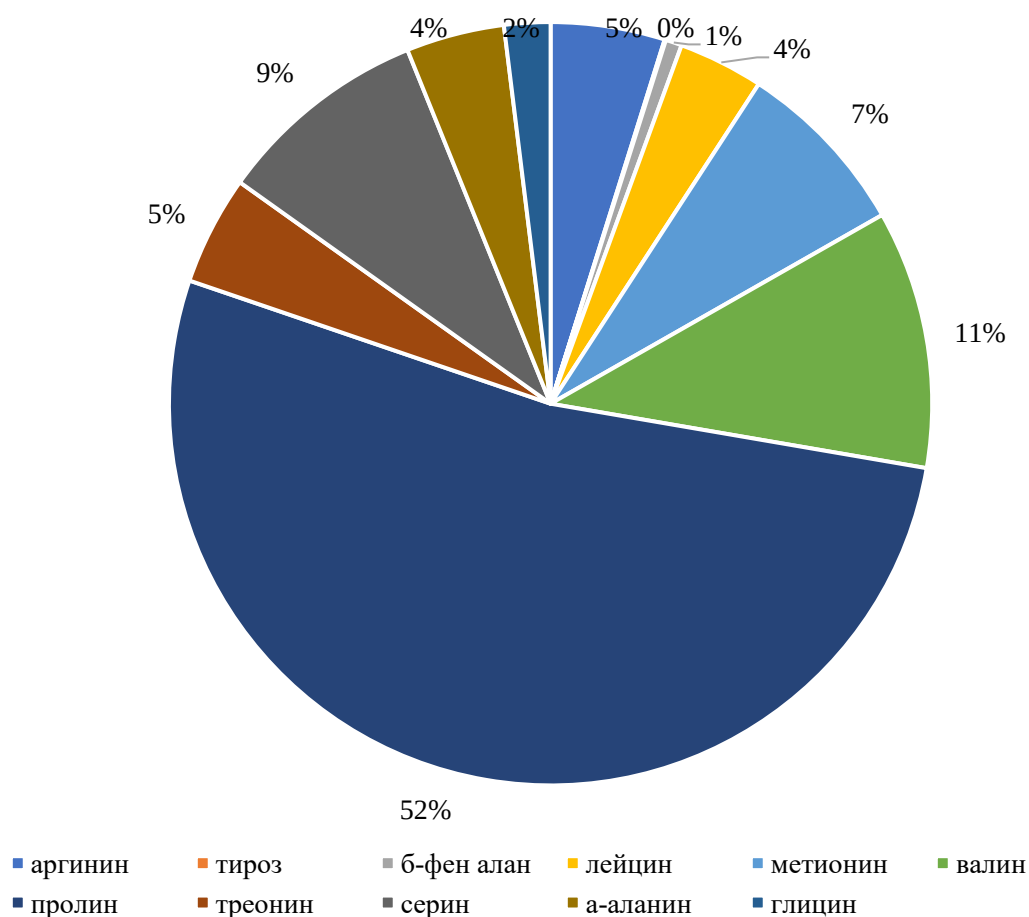


Рисунок 20 – Аминокислотный состав 3-листной флеш *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида), в % от суммы АМК

Аминокислоты являются важным соединением для анализа антиоксидантной системы чая, их динамика представлена на рисунке 21.

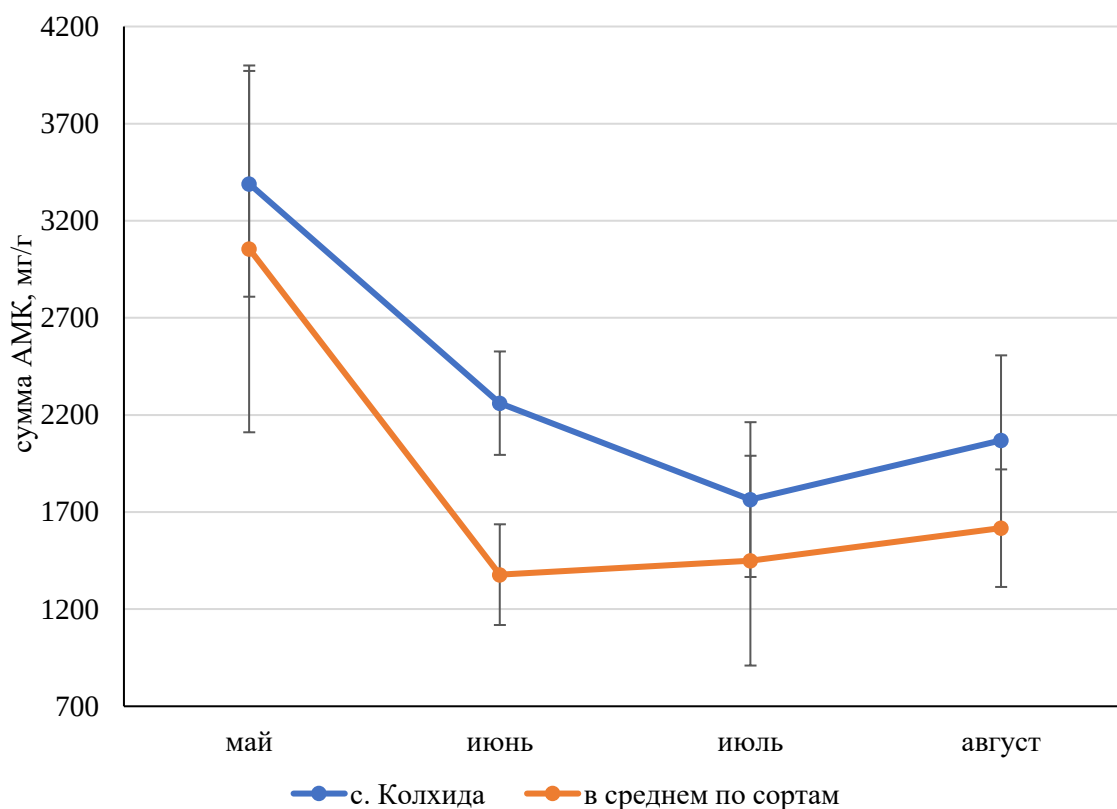


Рисунок 21 – Динамика накопления аминокислот 3-листной флешью *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида)

Как видно из проведенных нами наблюдений, наибольшее количество суммы аминокислот синтезируется в мае, в дальнейшем их синтез снижается, вероятно, включаются процессы их превращений и взаимопревращений в другие соединения [69]. Как известно, аминокислоты, в частности протеиногенные, служат основными предшественниками алкалоидов, а поскольку наши исследования показали активный синтез алкалоидов пуринового ряда (кофеин) в июле, существенное снижение количества аминокислот в этот момент может быть следствием метаболических трансформаций.

Статистический анализ показал высокую степень корреляции накопления аминокислот от количества осадков в течение вегетации ($r = 0,99$). Учитывая, что в июле, как правило, наблюдается период засухи снижение количества аминокислот может быть активировано включением метаболических процессов трансформации АМК в другие соединения

неспецифической защиты растений от стресса. Зависимость накопления аминокислот от гидротермических факторов выражается следующим регрессионным уравнением:

$$AMK = -824,8 - 53,88F_1 + 32,5F_2, R^2 = 0,99 \quad (7)$$

где,

F₁ – температурный фактор, °C;

F₂ – количество осадков, мм.

Из всех идентифицированных нами аминокислот, наибольший интерес с позиции неспецифической защиты от стресса представляет пролин, поскольку его аккумуляция возникает в растительных клетках при действии практически любых стрессовых факторов: низкая температура [54, 59], засуха [128], тяжелые металлы [110], ультрафиолетовая радиация [92]. В настоящее время установлено, что стресс-индуцированное накопление пролина в растительных клетках обладает мультифункциональным действием на клеточный метаболизм, помогая растениям адаптироваться к неблагоприятным условиям, защищая от инактивации белки, ДНК, ряд ферментов и другие важнейшие клеточные компоненты [54].

Наши исследования показали (рисунок 22), что в начале вегетации содержание пролина достаточно высокое (в среднем 1644 мг/г сырого веса), что связано с пониженными температурами периода зимнего покоя. В дальнейшем, происходит снижение его содержания (в 2,6 раза по сравнению с майским периодом), так как активно идут метаболические процессы трансформации связанного пролина в его растворимую форму и участие в осморегуляции, что соответствует нормальному физиологическому состоянию растений. В ответ на длительное воздействие гидротермического стресса наблюдается активное накопление пролина и к августу его количество опять увеличивается (в среднем по сортам до 923 мг/г).

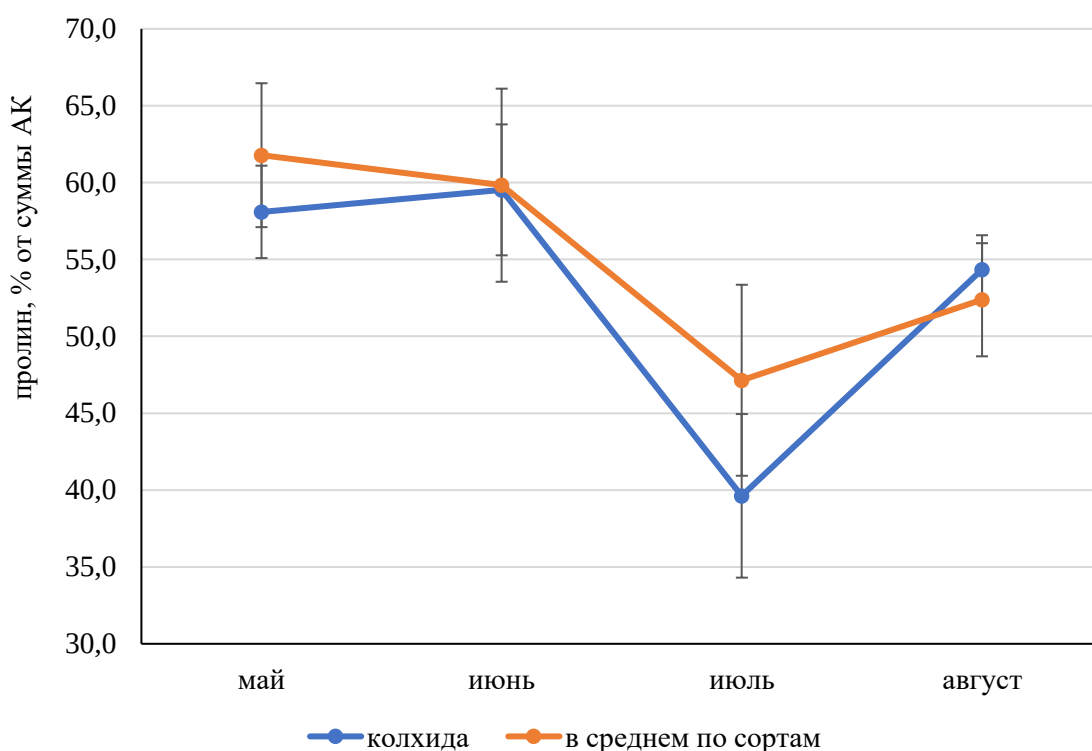


Рисунок 22 – Динамика содержания пролина в 3-листной флешах *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида)

Таким образом, уровень пролина в ткани может использоваться, как очень важный показатель неблагоприятного состояния растений.

Как и в случае с другими компонентами антиоксидантной защиты, в содержании аминокислот прослеживаются сортовые различия, их процентное количество в опытных образцах представлено в таблице 15, из которой видно, что больше всего во флешах содержится пролина (от 44 % у формы №2264 до 63 % у сорта Сочи).

Необходимо отметить сильную вариабельность в содержании аминокислот, и достаточно стабилен только пролин, его коэффициент вариации находится в пределах 14 – 26 % за вегетацию.

Таблица 15 – Количественное содержание аминокислот в 3-листной флеша *Camellia sinensis*, в % от суммы АМК

Аминокислоты	с. Колхида		с. Сочи		ф. 3823		ф. 582		ф. 855		ф. 2264	
	%	V, %	%	V, %	%	V, %	%	V, %	%	V, %	%	V, %
аргинин	4,82	78	5,25	49	6,95	62	6,49	71	7,32	19	3,83	48
тироз	0,05	70	0,07	79	0,09	59	0,09	63	0,10	53	0,12	92
б-феналан	0,69	304	0,06	90	0,06	57	0,08	70	0,07	29	0,15	184
лейцин	3,60	82	4,23	81	2,87	76	5,41	87	3,63	75	4,04	96
метионин	7,56	80	6,97	47	6,57	67	7,59	74	6,21	61	7,67	54
валин	10,92	58	8,52	116	11,21	43	12,54	54	10,62	61	9,12	64
пролин	52,43	21	63,25	18	54,61	14	51,80	21	50,73	17	44,11	26
треонин	4,61	168	1,52	46	1,53	37	3,86	185	4,24	150	5,89	112
серин	9,01	42	4,70	104	8,83	40	7,78	111	10,08	39	14,98	39
а-аланин	4,15	58	2,85	63	5,04	53	1,58	60	4,70	49	7,65	68
глицин	1,95	37	2,57	75	2,27	39	2,80	53	2,32	89	2,44	83
Среднее за три года, мг/г												
М	1871		2272		1726		1904		1598		1876	
m	380		738		497		534		264		174	
V, %	81		63		29		20		17		32	

Данный факт представляет несомненный интерес с точки зрения влияния на растения чая стрессовых факторов, в связи с тем, что пролин занимает особое место среди низкомолекулярных антиоксидантов [230].

3.5. Изменение активности гваяколпероксидазы в 3-листной флеша чая

В чае обнаружено более десяти ферментов, обеспечивающих химические реакции, происходящие в листьях чая. Главные из них – полифенолоксидаза, пероксидаза и каталаза, участвующие в процессах ферментации чая [29, 40, 52, 70, 108, 135, 159, 234]. Помимо участия в

приготовлении готового напитка, такие ферменты как пероксидаза и каталаза играют значимую роль в неспецифической защите растений от стрессов, катализируя реакцию разложения перекиси водорода на воду и молекулярный кислород. При этом, более важное место отводится именно пероксидазам. В зависимости от типа субстрата пероксидазы подразделяют на три группы: гваяколовая пероксидаза, аскорбатпероксидаза и глутатионпероксидаза [80, 89]. В нашем случае, была изучена динамика именно гваяколовой пероксидазы (гваяколпероксидазы, ГПО) в связи с тем, что она катализируют окисление большого набора ароматических соединений и активно функционирует в клетках, не имеющих аскорбатпероксидаз, но содержащих в достаточно высоких концентрациях фенолы и аскорбиновую кислоту. При этом, образуется комплекс гваяколпероксидаза-фенолы-аскорбиновая кислота, что имеет первоочередное значение для растений чая, богатых фенольными соединениями. При этом фенолы окисляются гваяколпероксидазой, а затем восстанавливаются аскорбиновой кислотой, в результате происходит детоксикация продуктов окисления фенолов.

При определении активности гваяколпероксидазы в свежесобранной 3-листной флешки чая в период активной вегетации нами отмечено наличие спадов и пиков в активности фермента, связанных с гидротермическими условиями каждого месяца (рисунок 23 и 24).

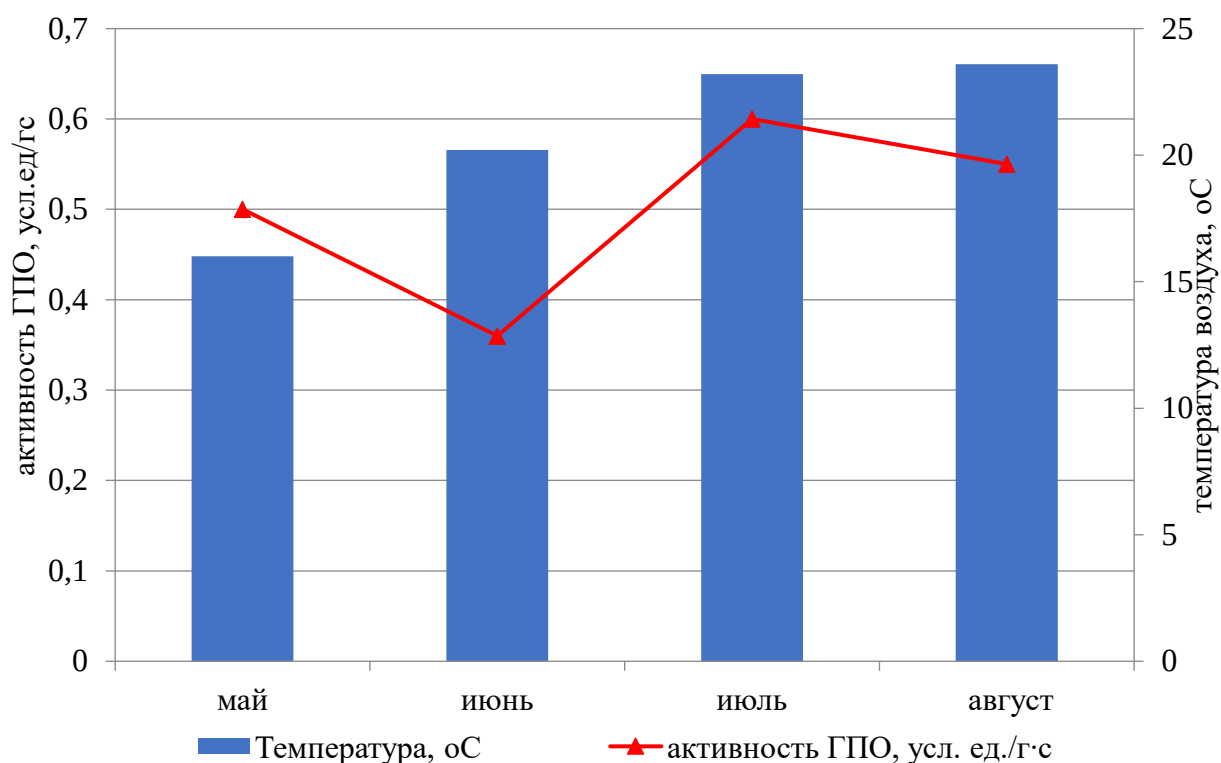


Рисунок 23 – Динамика активности гваяколпероксидазы в 3-листной флешке *Camellia sinensis* в зависимости от температурных условий вегетации (на примере контрольного сорта Колхида)

В начале вегетации (май) активность фермента невысока – в среднем находится в пределах от 0,363 до 0,607 усл. ед./гс.

В июне наблюдается снижение активности, что, однако не является существенным и, в основном, обусловлено биологическими особенностями культуры чая – после майского всплеска ростовых процессов у растений наблюдается период покоя, процессы метаболизма несколько замедляются. Как правило, в дальнейшем (июль), в нашей зоне наблюдается стрессовый по гидротермическим условиям период, что отражается на функциональном состоянии растений, в частности, можно отметить острый водный дефицит [14, 15, 17]. Это приводит к проявлению окислительного стресса, который выражается в повышении активности ГПО, как неспецифической реакции на стрессовый фактор [14, 70].

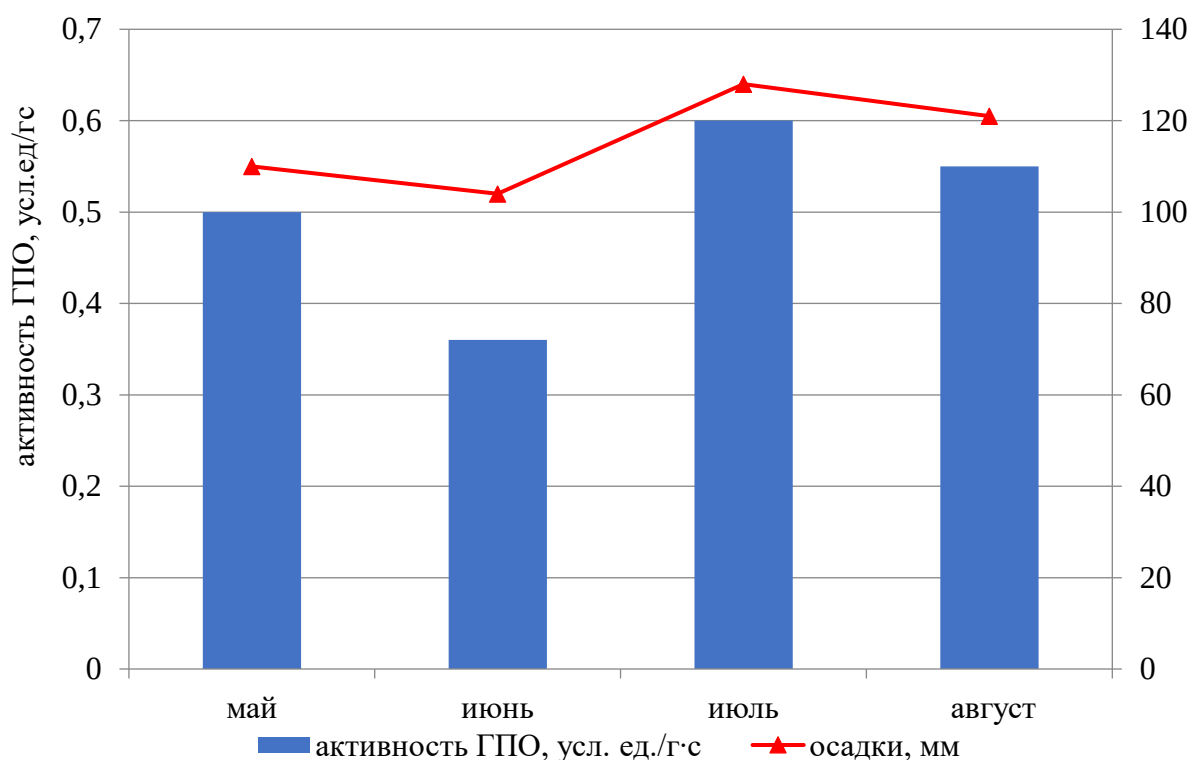


Рисунок 24 – Динамика активности гваяколпероксидазы в 3-листной флешии *Camellia sinensis* в зависимости от количества осадков в период вегетации (на примере контрольного сорта Колхида)

Нами проведен корреляционный анализ, показавший наличие средней прямой зависимости между активностью гваяколпероксидазы и термическим фактором ($r = 0,42-0,54$). Однако, наиболее значимая корреляция выявлена между активностью ГПО и количеством осадков ($r = -0,86...-0,68$), причем зависимость обратная.

Как показали наши исследования, динамика активности фермента в 3-листной флешии сортоспецифична (таблица 16). Наибольшей активностью гваяколпероксидазы в течение всего периода исследований отличается сорт Сочи, формы 3823 и 855 (таблица 16). Наименьшая активность отмечена у форм 582, что свидетельствует о низкой интенсивности окислительно-восстановительных реакций этой формы в стрессовых ситуациях, при действии изменяющихся факторов окружающей среды на растения. Вариационный анализ показал достаточно стабильную ферментативную

активность у формы 3823 ($V = 10\%$), учитывая достаточно высокий достоверный, по сравнению с остальными формами и сортами, уровень активности ГПО в листьях данного образца, можно говорить о высоком метаболизме формы.

Таблица 16 – Сортные особенности динамики ГПО в 3-листной флеша
Camellia sinensis, усл. ед./г·с

Вариант	май	июнь	июль	август	Среднее за 3 года	V, %
с. Колхида	0,48 ±0,01	0,56 ±0,02	0,39 ±0,15	0,39 ±0,15	0,46	18
с. Сочи	0,61 ±0,09	0,43 ±0,14	0,49 ±0,15	0,51 ±0,10	0,51	15
ф. 3823	0,56 ±0,09	0,43 ±0,14	0,51 ±0,09	0,50 ±0,11	0,49	10
ф. 582	0,36 ±0,02	0,26 ±0,12	0,39 ±0,14	0,35 ±0,12	0,35	18
ф. 855	0,55 ±0,08	0,57 ±0,10	0,44 ±0,19	0,39 ±0,12	0,49	18
ф. 2264	0,42 ±0,09	0,52 ±0,07	0,35 ±0,14	0,24 ±0,11	0,41	20
<i>HCP (p ≤ 0.05)</i>	0,09	0,05	0,06	0,04	0,05	-

Флеша чая используются для приготовления напитка, пищевую ценность которого составляют вещества, образующиеся и в процессе фотосинтетических реакций, и в процессе переработки сырья, основой которых являются окислительно-восстановительные ферментные реакции. Повышение активности гваяколпероксидазы, как правило, сопровождается быстрым синтезом фенольных соединений, что является одним из механизмов, препятствующих неконтролируемой потере воды, и приводит к повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам.

Учитывая этот факт, более низкий уровень активности гваяколпероксидазы отрицательное явление, как для устойчивости самого растения, так и для качества готового чая.

3.6. Продуктивность растений чая в аспекте накопления основных антиоксидантов

Интегральным показателем функционального состояния любого растения является его продуктивность, в связи с чем, в течение всего периода исследований нами проводился сбор чайного листа и подсчет урожайности по вариантам опыта.

Анализ полученных результатов показал (рисунок 25), что наибольшее количество чайного листа, собираемое с опытных участков, пришлось на июнь-июль (в среднем от 1187 до 1190 кг/га). Наши данные не противоречат общепризнанному факту, что наибольший сбор листа на чайных плантациях отмечается именно в мае [13]. В дальнейшем происходит спад урожайности, связанный с наступлением июньского покоя растений, сопровождаемого временным прекращением нарастания флешей, а также, неблагоприятными гидротермическими условиями, наблюдаемыми в июле – августе.

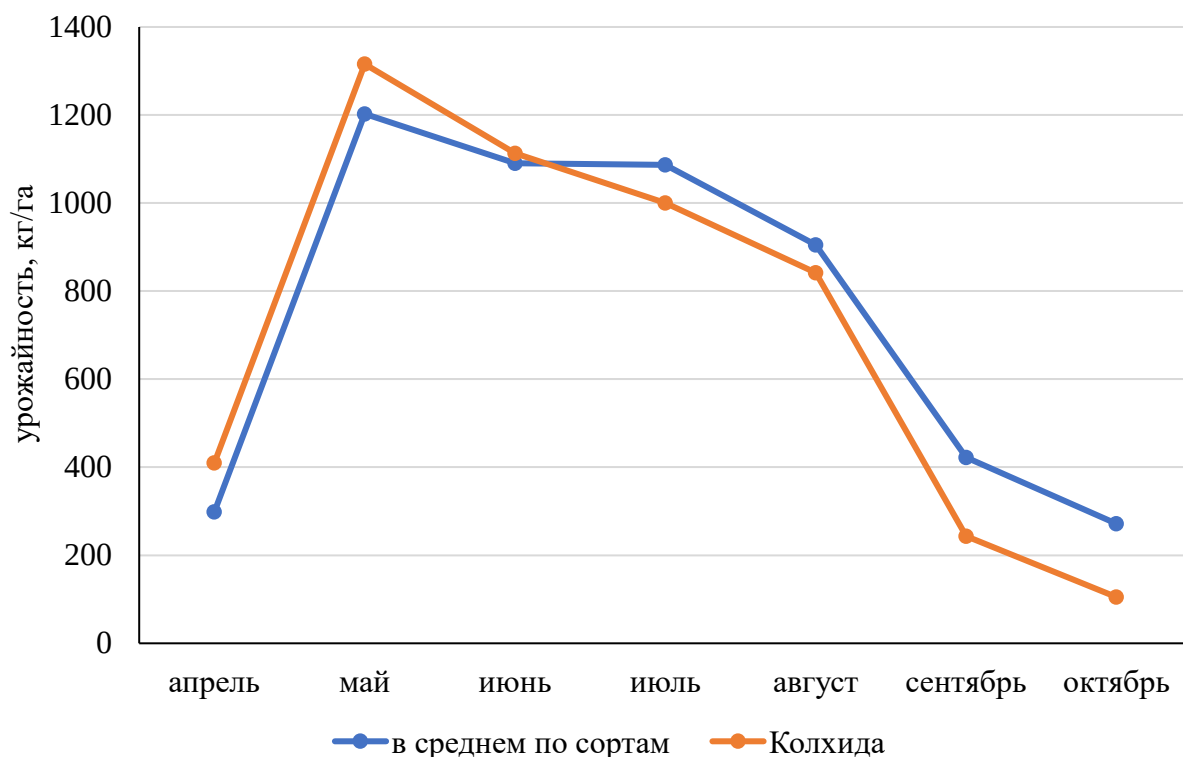


Рисунок 25 – Динамика сбора 3-листной флешей *Camellia sinensis* (на примере контрольного сорта Колхида)

Нами проведен корреляционный анализ, показавший, что наблюдается тесная прямая зависимость урожайности растений чая от количества осадков ($r = 0,84$) и некоторая связь с температурным фактором ($r = 0,64$). Однако, именно в июле – августе нами отмечено повышенное содержание в 3-листных флешах БАВ, в связи с чем, более низкая урожайность растений компенсируется образованием высококачественного сырья.

Так как предметом наших исследований был механизм накопления основных антиоксидантов в растениях чая, то нас интересовал вопрос насколько взаимосвязана урожайность и содержание изучаемых биологически активных веществ в листьях чая. Анализ показал, что существует отрицательная корреляция существует между урожайностью и активностью гваяколпероксидазой, что объясняется разнонаправленностью активных процессов, связанных с формированием адаптивности и продуктивностью растений (таблица 17).

Таблица 17 – Корреляционная матрица взаимозависимости содержания БАВ и урожайности растений (анализ данных за три года исследований)

Биохимические показатели	Урожайность, ц/га
Σ хлор., мг/г	0,68
Скар., мг/г	0,59
TFs, мг/г	0,51
TRs, мг/г	0,52
Антоцианы, мг/100 г	0,64
Саf, мг/г	0,65
Общие полифенолы, мг/г	0,60
АМК, мг/г	0,69
ГПО, усл. ед./г·с	-0,70
АК, мг/100 г	0,81
Σ БАВ	0,75

В то же время, нами отмечена прямая зависимость между накоплением основных биологически активных веществ в сырье и урожайностью растений чая (таблица 17), однако в данном случае их количество во флешах напрямую зависит от количества флешей, т.е. урожайности.

Сортовые особенности также играют немаловажную роль в продуктивности растений чая (рисунок 26). Так наиболее урожайной является форма 582 (1082 кг/га) во флешах которой и содержание БАВ достаточно высокое, наименее урожайные – форма 855 и сорт Сочи (624-662 кг/га), что согласуется с данными, полученными ранее при сортоизучении растений [85, 98, 104, 106].

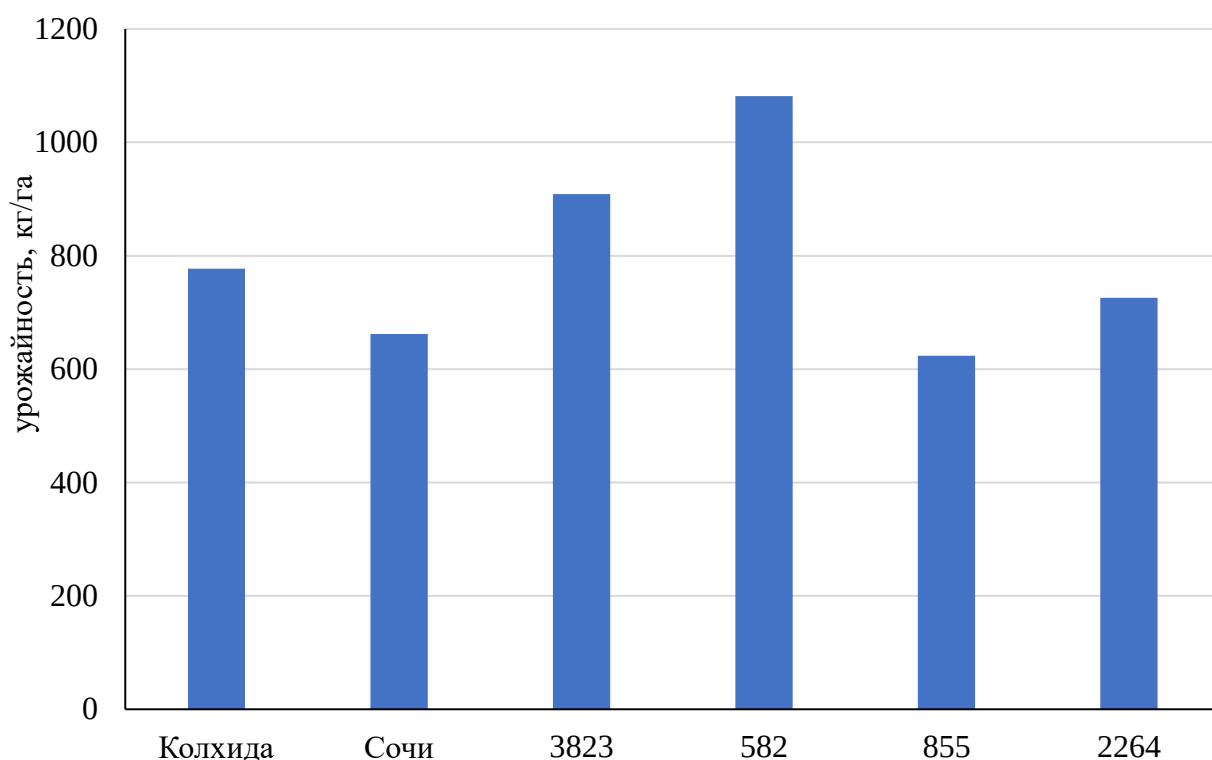


Рисунок 26 – Урожайность 3-листной флеша *Camellia sinensis* в среднем за 3 года, кг/га

В то же время, сорт Сочи характеризуется высоким содержанием изученных антиоксидантов, что придает ему пищевую значимость.

Не менее важной характеристикой является вариабельность

урожайности, что дает возможность проанализировать стабильность сорта по данному показателю. Нами установлено, что наиболее вариабельна урожайность сорта Колхида (V , % = 64), что вполне объяснимо, учитывая интенсивный характер сорта (Δ , % = -30500), быстро реагирующего на любые изменения условий выращивания (дельта-метод – $\delta(\Delta)$ -метод – описывающий вероятностное распределение функции характеризует уровень изменений показателя в определенный промежуток времени, чем он выше, тем более выражена изменчивость признака). Менее вариабельна урожайность у сорта Сочи, форм 855 и 2264 (V = 51-52 %), изменчивость (Δ , %) показателя в течение периода исследований находится в пределах от -7000 до -17000 %.

3.7. Общий анализ содержания антиоксидантных компонентов в 3-листной флеша чая

Обобщив материал исследований по содержанию всех антиоксидантных компонентов в сортах/формах чая, можно сделать следующие выводы: содержание компонентов антиоксидантной системы, являющихся механизмами неспецифической защиты растений генетически детерминировано, находится под контролем развития организма и реализуется в зависимости от комплекса внутренних и внешних условий.

В таблице 18 показаны корреляции моментов производства Спирмена между каждой парой переменных. В скобках указано количество пар значений данных, используемых для вычисления каждого коэффициента. Третье число в каждой ячейки таблицы – это значение P , которое проверяет статистическую значимость оцененных корреляций; если значение ниже 0,05, следовательно, имеет место статистически значимая ненулевая корреляция при доверительном уровне 95,0%.

Таблица 18 – Корреляционная матрица взаимозависимости изучаемых показателей и гидротермических факторов
(анализ данных за три года исследований)

Параметры	TFs	TRs	Карот.	Антоц.	Полиф.	АК	ГПО	АМК
TRs	0,7559							
	(3)							
	0,4544							
Каротиноиды	-0,0524	-0,6934						
	(3)	(3)						
	0,9666	0,5122						
Антоцианы	-0,8486	-0,9878	0,5729					
	(3)	(3)	(3)					
	0,3549	0,0994	0,6117					
Общие полифенолы	1,0000	0,7559	-0,0524	-0,8486				
	(3)	(3)	(3)	(3)				
	0,0000	0,4544	0,9666	0,3549				
Аскорбиновая кислота (АК)	-0,1245	-0,7437	0,9974	0,6306	-0,1245			
	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)			
	0,9206	0,4662	0,0461	0,5656	0,9206			
Гваяколпероксидаза (ГПО)	0,9286	0,4590	0,3220	-0,5916	0,9286	0,2527		
	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)		
	0,2421	0,6964	0,7913	0,5970	0,2421	0,8374		
Аминокислоты (АМК)	-0,8673	-0,9815	0,5426	0,9993	-0,8673	0,6019	-0,6205	
	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	
	0,3318	0,1226	0,6348	0,0232	0,3318	0,5888	0,5738	
Термический фактор	-0,9971	-0,7035	-0,0244	0,8054	-0,9971	0,0479	-0,9543	0,8265
	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
	0,0489	0,5033	0,9845	0,4039	0,0489	0,9695	0,1932	0,3807
Количество осадков	0,8260	0,9934	-0,6061	-0,9992	0,8260	-0,6621	0,5578	-0,9970
	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
	0,3812	0,0732	0,5854	0,0262	0,3812	0,5394	0,6233	0,0494

В нашем случае, следующие пары переменных имеют значения P ниже 0,05, т.е., их взаимовлияние незначимо (таблица 18): TFs – полифенолы; TFs – термический фактор; каротиноиды – аскорбиновая кислота (АК); антоцианы – аминокислоты (АМК); антоцианы – количество осадков; полифенолы – термический фактор и аминокислоты (АМК) – количество осадков.

Наиболее взаимосвязаны теафлавины и теарубигины, что очевидно, т.к. теарубигины являются производными теафлавинов; их корреляция прямая ($r = 0,76$), при увеличении количества одних, растет количество других. Кроме того, содержание теафлавинов обратно коррелирует с количеством антоцианов ($r = -0,85$) и аминокислот ($r = -0,88$). Синтез TFs детерминирован активностью гваяколпероксидазы ($r = 0,93$) и количеством осадков в вегетационный период ($r = 0,83$).

Значимая положительная корреляция (ранговая корреляция Спирмена) отмечена между содержанием TRs и полифенолов, их синтез определяется количеством осадков; антоцианами и термическим фактором; синтез полифенолов определен активностью гваяколпериоксидазы и количеством осадков; накопление АМК активизируется термическим фактором (таблица 18).

Отрицательная корреляция выявлена между TRs – антоцианами, TRs – АК, TRs – АМК, их синтез ингибируется термическим фактором; антоцианами – общими полифенолами, полифенолами – АМК; синтез АМК ингибируется количеством осадков в период вегетации (таблица 18).

Данные зависимости, в частности влияние гидротермического фактора на синтез антиоксидантных компонентов, позволили определить механизм неспецифической устойчивости, характерный для всех изучаемых сортов/форм чая.

Как известно, выживание растений в условиях стресса зависит от функционирования различных механизмов: одни из них определяют устойчивость растений при действии повреждающего фактора, тогда как другие обеспечивают репарацию на этапе восстановления, когда

повреждающий фактор уже не действует [183, 194].

В нашем случае к первому типу механизмов можно отнести активизацию гваяколпероксидазы, которая детерминирует повышенный синтез флавоноидов и аскорбиновой кислоты в листьях (июнь). На следующем этапе (июль-август) идет усиленное накопление общих полифенолов, антоцианов и кофеина, которые коррелируют с содержанием флавоноидов и АК; усиливается синтез пигментов флавоноидной природы и каротиноидов, увеличивается накопление пролина (рисунок 27).

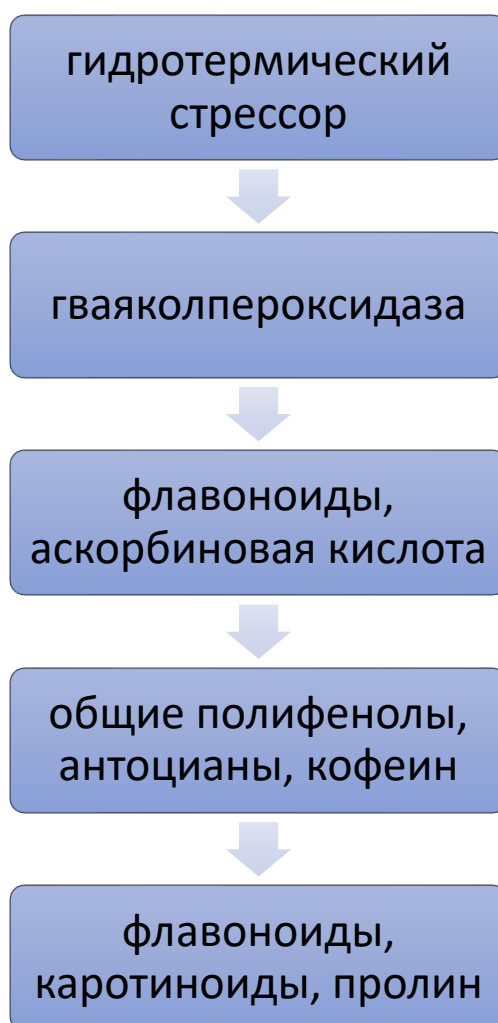


Рисунок 27 – Схема механизма неспецифической защиты *Camellia sinensis* от гидротермического стресса

Таким образом, к августу в листьях активизируются процессы защиты растений от стресса, это приводит к повышенному содержанию всех веществ антиоксидантного комплекса, что имеет значение не только в качестве неспецифической защиты от абиотических стрессоров, но и представляет пищевую ценность сырья.

Проведенный кластерный анализ позволил разделить образцы на группы, характеризующиеся сходным механизмом неспецифической защиты (рисунок 28).

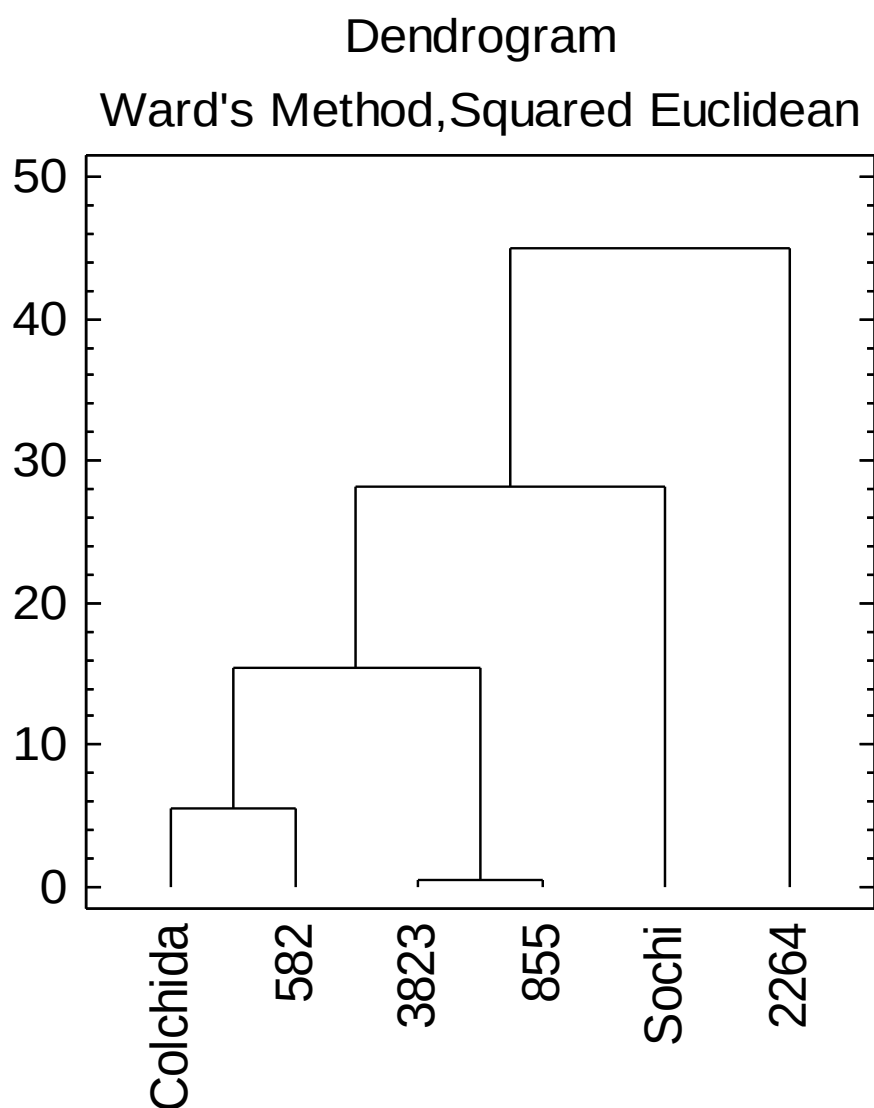


Рисунок 28 – Кластерный анализ изученных образцов *Camellia sinensis* по сходству элементов неспецифической защиты от гидротермического стресса

Так как данный процесс определяется еще и генетическими

особенностями образцов, мы проанализировали все изучаемые сорта/формы на повышенное содержание всех компонентов антиоксидантного комплекса.

Большим содержанием всех антиоксидантов характеризуются формы 582 и 2264. Однако, важно не только знать перспективность той или иной формы с позиции антиоксидантного комплекса, но и понимать, какие из вторичных метаболитов в опытных растениях присутствуют в большем количестве (таблица 18). В таблице представлено процентное содержание вторичных метаболитов в каждом изученном образце и долевое участие компонента в формировании антиоксидантного комплекса.

В итоге, при равном качестве антиоксидантного комплекса, сорт Сочи превышает Колхиду по количеству каротиноидов и аминокислот, причем, в основном, за счет повышенного содержания пролина (65 % от суммы всех АМК), что характеризует хорошую устойчивость сорта. Остальные формы превосходят контрольный сорт по содержанию теафлавинов, антоцианов, общих полифенолов и аскорбиновой кислоты, что указывает на их несомненную пищевую ценность в качестве сырья для приготовления напитка с повышенным содержанием БАВ. Кроме того, формы 582 и 2264 отличаются высоким содержанием теарубигинов, которые являются мощными антиоксидантами, препятствующими развитию окислительного стресса в клетках (таблица 19).

Таким образом, высокое содержание вторичных метаболитов у сорта Сочи и изученных форм указывает, во-первых, на быстрое формирование неспецифической устойчивости, следовательно, на возможность компетентного ответа растением на абиотический стресс; во-вторых, на возможность использования этих растений в качестве источников БАВ и доноров хозяйственно-ценных признаков.

При большей устойчивости данные образцы представляют несомненный интерес и с позиции их пищевой значимости вследствие повышенных количеств основных биологически активных веществ в 3-листных флешах.

Таблица 19 – Компоненты антиоксидантной системы опытных коллекционных образцов *Camellia sinensis*,
% от суммы всех изученных метаболитов

Сорт/ форма	каротиноиды	общие полифенолы	TFs	TRs	антоцианы	кофеин	АК	АМК / Pro
с. Колхида	100	100	100	100	100	100	100	100 / 52
с. Сочи	102	94*	80	73	95	93*	98	121* / 65*
ф. 3823	86	101	100	85*	111*	86*	103	92 / 54
ф. 582	94	106*	118	107	104*	97	114*	102 / 57
ф. 855	90*	102	106	91*	111*	85*	105*	85 / 51
ф. 2264	90*	92*	107	103	115*	78*	126*	100 / 26

Примечание: * – различие существенно при 95 % значимости

Выявление особенностей их накопления имеет не только важное теоретическое, но и практическое значение для оптимизации сбора сырья (3-листных флешей).

Кроме этого, для чаеводов, заинтересованных в стабильном содержании всех антиоксидантов по периодам сбора, важно знать вариабельность показателей. Только сорта/формы со стабильными показателями помогут обойти необходимость купажирования полуфабриката на фабриках для усреднения вкусовых характеристик. Как показали наши исследования, сырье, собираемое в мае, содержит наименьшее количество основных биологически активных веществ, но урожай листа составляет около 30 % валового годового сбора. В июле – августе чай наиболее значим с пищевой точки зрения (отмечено наибольшее содержание БАВ), однако урожай листа составляет 15-20 %. С позиции стабильно высокой урожайности интерес представляет форма 582 (в среднем 1042 кг/га за все период исследований), содержание БАВ в ее сырье выше, чем у остальных сортов/форм, однако достаточно вариабельно (25-40 %).

Ранее обязательным этапом на всех чайных фабриках был процесс купажирования сырья, собранного в разные месяцы. Это давало возможность поддерживать качество чая на одном уровне, невзирая на различия периодов сбора. На сегодняшний момент многие арендаторы-чаеводы отказываются от процедуры купажирования и наши рекомендации по подбору стабильного сортимента для них значимы. Так, к наименее вариабельным по накоплению БАВ можно отнести сорт Сочи и форму 3823, у которых урожайность невелика (617-878 кг/га), но прослеживается стабильность в накоплении БАВ – колебания основных антиоксидантов составляет 14-20% в течение всего периода исследований.

Глава 4. ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ЧАЯ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ В ГОТОВЫЙ ПРОДУКТ

4.1. Изменение количественного состава витаминов (С и Р) в процессе переработки сырья в готовый продукт

Исследования изменения содержания витамина С при переработке сырья в готовый продукт показало, что вследствие термической обработки происходит разрушение витамина С в 17 - 20 раз при производстве черного чая и почти в 9 раз – при приготовлении зеленого (рисунок 29).

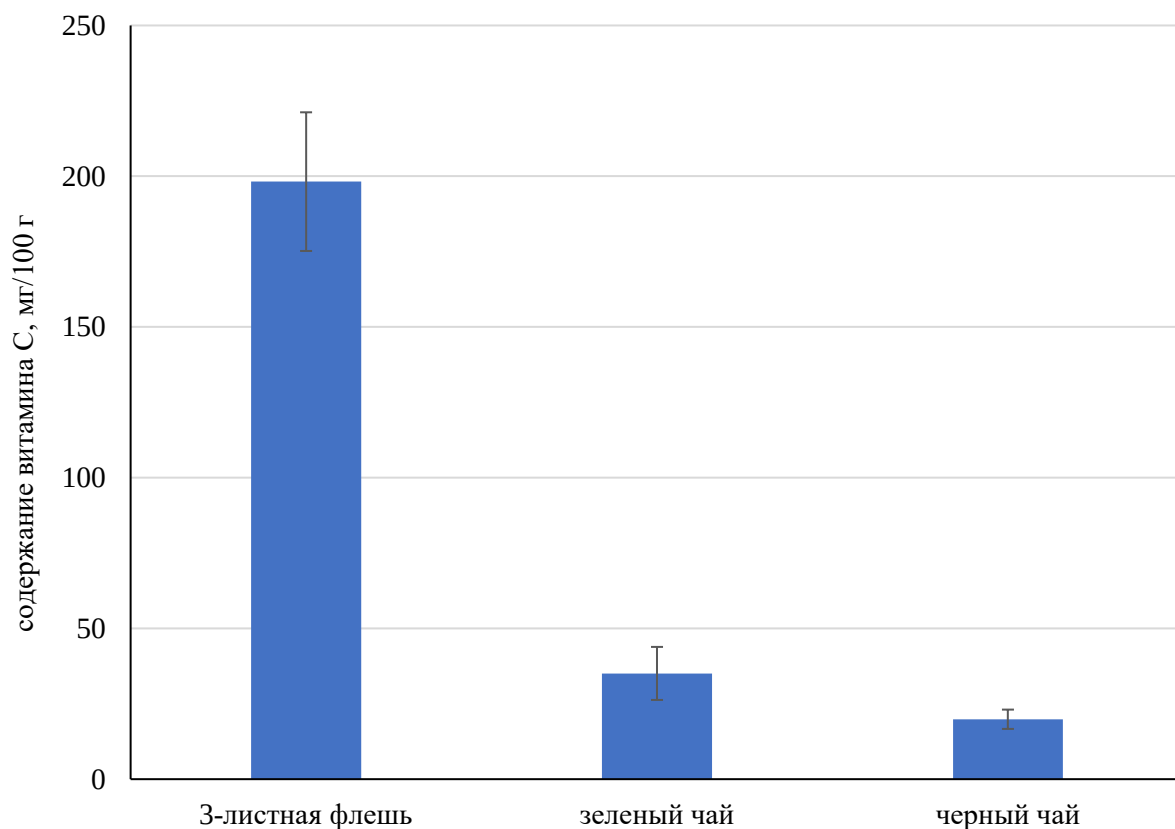


Рисунок 29 – Изменение содержания витамина С в процессе переработки сырья в готовый чай (на примере сорта Колхида)

Процесс сохранения аскорбиновой кислоты в чае детерминирован генотипическими особенностями самого сырья (таблица 20). Так, наименьшее

количество витамина С отмечено кв контрольном сорте Колхида, в то время как остальные формы содержат аскорбиновой кислоты существенно больше. Эта же закономерность установлена нами и при изучении накопления вторичных метаболитов в 3-листной флеш.

Таблица 20 – Генотипические особенности в содержание витамина С в готовом чае, мг/100г

Сорт/ форма	Зеленый чай	V, %	Черный чай	V, %
с. Колхида	9,40 ±2,44	26	4,84 ±1,30	27
с. Сочи	12,69 ±3,17	25	6,23 ±2,51	40
ф. 3823	12,03 ±2,72	36	7,41 ±3,72	50
ф. 582	13,93 ±4,96	23	9,75 ±3,43	35
ф. 855	14,45 ±3,96	27	6,82 ±1,58	23
ф. 2264	14,01 ±4,84	35	7,19 ±3,40	47
<i>HCP (p ≤ 0.05)</i>	2,4	-	1,56	-

Однако, процесс потери витамина С в готовом чае достаточно вариабелен у форм 3823 и 2264 (коэффициент вариации равен 47 – 50 % по черному чаю и 35 – 36 % в зеленом). В данном случае, форма 855 с более стабильным содержанием этого метаболита как в черном (27 %), так и в зеленом чае (23 %) более предпочтительна в качестве источника БАВ с антиоксидантным действием.

Не менее важным компонентом антиоксидантной системы растений чая является витамин Р (рутин), который не только принимает участие в основных окислительно-восстановительных реакциях, но и усиливает впитывание аскорбиновой кислоты [7, 179].

Исследования показали, что в зависимости от сезона сбора чайного листа, в зеленом чае содержание рутина колеблется от 33 мг/100г до 46 мг/100 г, а в черном – в пределах 10 мг/100г – 23 мг/100г, что в 2 раза ниже, чем в

зеленом неферментированном чае. Генотипические особенности оказывают не меньшее влияние содержание витамина Р (таблица 21). Так, более низким содержанием рутина характеризуется сорт Сочи (в среднем 10 мг/100г в черном чае и 34 мг/100г в зеленом), более высоким – форма 582 (около 23 мг/100г в черном чае и 46 мг/100г в зеленом). В то же время, немаловажным является вариабельность показателя в течение сезона: более стабильное содержание витамина Р в черном чае формы 3823 и зеленом чае у форм 855, 582, 2264 и контрольного сорта Колхида (таблица 21).

Таблица 21 – Генотипические особенности в содержании витамина Р в готовом чае, мг/100 г

Сорт/ форма	черный					зеленый				
	май	июнь	июль	август	V, %	май	июнь	июль	август	V, %
с. Колхида	17,6 ±1,6	17,1 ±0,9	20,8 ±1,6	24,0 ±0,9	16	32,5 ±0,9	34,7 ±0,9	39,5 ±2,4	33,6 ±1,6	9
с. Сочи	10,1 ±0,9	9,1 ±0,9	11,7 ±0,9	10,7 ±0,9	10	36,8 ±1,6	36,3 ±0,9	36,3 ±0,9	25,6 ±2,8	16
ф. 3823	21,9 ±0,9	18,7 ±0,9	20,3 ±0,9	21,9 ±0,9	7	38,9 ±4,6	45,3 ±0,9	35,7 ±0,9	30,9 ±0,9	16
ф. 582	25,1 ±0,9	21,9 ±0,9	20,3 ±0,9	25,6 ±1,6	11	47,5 ±3,7	47,5 ±0,9	46,9 ±18	42,7 ±2,4	5
ф. 855	14,9 ±0,9	16,5 ±0,9	22,9 ±0,9	17,1 ±0,9	20	38,9 ±0,9	39,5 ±0,9	38,4 ±0,9	37,9 ±0,9	2
ф. 2264	13,3 ±0,9	16,5 ±0,9	20,3 ±0,9	23,5 ±0,9	24	36,3 ±0,9	43,7 ±2,4	40,5 ±0,9	43,7 ±0,9	9

Таким образом, при переработке чайного сырья в готовый чай отмечена значительная вариабельность в содержании изученных витаминов. Различия обусловлены, во-первых, особенностями технологического процесса – отсутствием процесса ферментации при производстве неферментированного (зеленого) чая. Это позволяет зеленому чаю удерживать почти все водорастворимые витамины, которые ингибируют перекисное окисление липидов в клеточных мембранах. Во-вторых, вариабельность обусловлена погодными условиями вегетации и генотипическими особенностями чайных растений.

4.2. Фотосинтетические пигменты в готовом чае

Фотосинтетические пигменты относятся не только к компонентам антиоксидантной защиты самого растения, но и входят в состав биохимических компонентов напитка, так как при приготовлении черного и зеленого чая пигменты переходят в настой. При переработке сырья в готовый чай значительная часть хлорофилла (около 25 % от исходного количества в сырье) разрушается при обработке паром, а также в процессе сушки. Поэтому хлорофилла в зеленом чае меньше (в 1,3 раза), чем в сырье (рисунок 30).

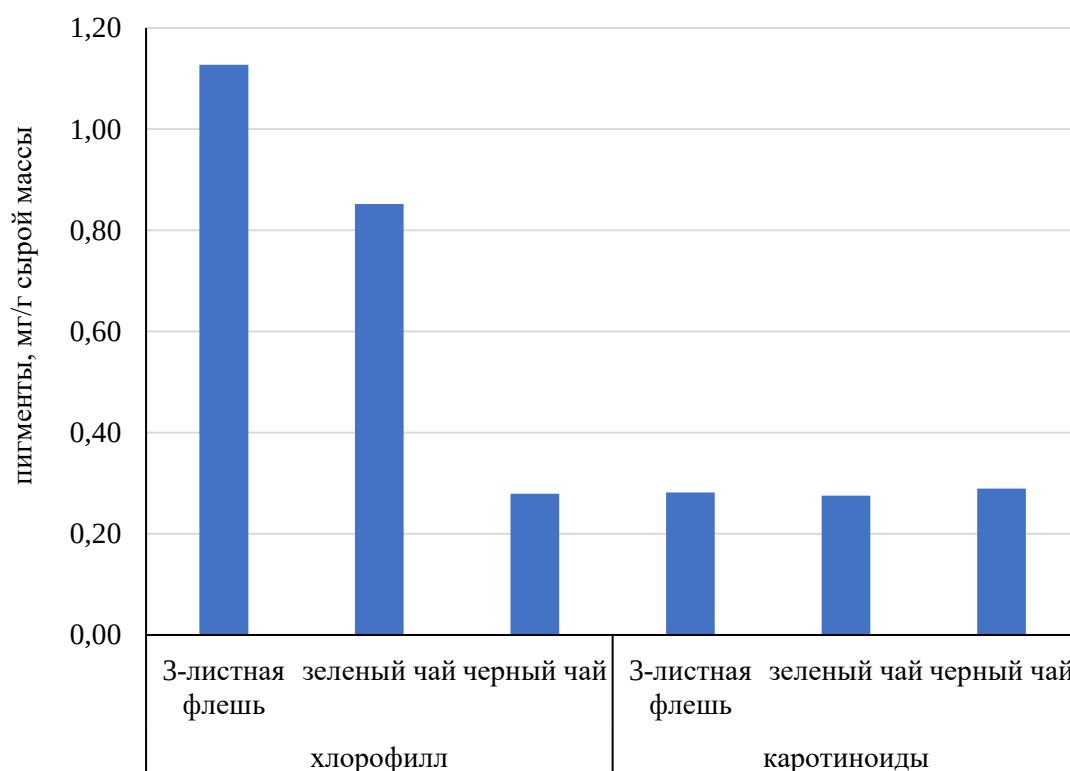


Рисунок 30 – Изменение содержания фотосинтетических пигментов в процессе переработки сырья в готовый чай (на примере контрольного сорта Колхида)

При изготовлении чёрного чая хлорофилла остается ещё меньше (0,28 мг/г), чем в зелёном (0,85 мг/г), что является положительным фактором, так

присутствие данного пигмента отрицательно сказывается на качестве напитка – чай приобретает травяной запах и нехарактерный вкус (рисунок 30).

Каротиноиды обеспечивают не только устойчивость растения к экзогенному стрессу, но и его ценность, как источника антиоксидантов для человека, их содержание в готовом чае является положительным фактом.

Наши анализы показали, что содержание каротиноидов в процессе переработки сырья (3-листных флешей) в готовый чай (рисунок 30) практически не изменяется, составляя в среднем от 0,178 мг/г (в 2017 году) до 0,308 мг/г (в 2018 г.) влияет на содержание этой группы пигментов. Технологические особенности процесса переработки чая в зеленый или черный (наличие фиксации или процесса ферментации) не влияет на количество каротиноидов в чае, поэтому его содержание в обоих видах чая практически одинаково – 0,275-0,289 мг/г, соответственно.

Однако, отмечены различия, связанные с генотипическими особенностями растений и погодными условиями периода исследований (таблица 22). Как видно из данных, представленных в таблице, содержание хлорофилла и каротиноидов в зеленом чае форм 855 и 2264 существенно ниже, чем в контрольном сорте Колхида, в то время, как по черному чаю существенность отмечена в содержании хлорофилла у форм 582 и 855, каротиноидов – только у формы 855. В то же время, высокой вариабельностью показателя по годам отличаются формы 582, 3823 и 2264 (коэффициент вариации составляет 15, 21 и 23 %, соответственно), что подтверждает их пластичность в отношении накопления и трансформации данных соединений.

Таблица 22 – Генотипические особенности в содержании фотосинтетических пигментов в готовом чае, мг/г

	зеленый чай							
	хлорофилл				каротиноиды			
	2017	2018	2019	V, %	2017	2018	2019	V, %
с. Колхида	0,835	0,774	0,947	10	0,265	0,253	0,319	13
с. Сочи	0,768	0,779	0,948	12	0,222	0,262	0,311	17
ф. 3823	0,645	0,713	0,833	13	0,210	0,263	0,324	21
ф. 582	0,618	0,687	0,806	14	0,216	0,243	0,289	15
ф. 855	0,483	0,613	0,708	19	0,165	0,209	0,243	19
ф. 2264	0,562	0,602	0,798	19	0,173	0,231	0,268	23
<i>HCP (p ≤ 0,05)</i>	<i>0,265</i>	<i>0,154</i>	<i>0,147</i>	-	<i>0,085</i>	<i>0,013</i>	<i>0,049</i>	-
	черный чай							
	2017	2018	2019	V, %	2017	2018	2019	V, %
с. Колхида	0,662	0,568	0,706	11	0,241	0,307	0,320	15
с. Сочи	0,614	0,684	0,725	8	0,205	0,248	0,283	16
ф. 3823	0,522	0,580	0,660	27	0,215	0,268	0,323	20
ф. 582	0,495	0,588	0,622	23	0,213	0,273	0,310	18
ф. 855	0,513	0,496	0,582	9	0,199	0,232	0,259	14
ф. 2264	0,600	0,403	0,591	15	0,217	0,304	0,311	19
<i>HCP (p ≤ 0,05)</i>	<i>0,052</i>	<i>0,068</i>	<i>0,106</i>	-	<i>0,321</i>	<i>0,003</i>	<i>0,008</i>	-

4.3. Фенольный комплекс и его участие в формировании пищевой ценности чая

4.3.1 Изменение в количестве и соотношении флавоноидов в чае

Теафлавин (TFs) и теарубигин (TRs) образуются в процессе ферментации чая. Теафлавины придают черному чаю вяжущий вкус и ярко-золотую окраску заварки чая, теарубигины придают раствору красноватый цвет и полный, богатый вкус [75, 111]. Благодаря приятному слабовяжущему вкусу и характерной золотисто-красной окраске водных растворов, они

определяют качество черного чая [111, 113, 129]. Выявлено, что между качеством сырья и содержанием флавоноидов в напитке существует прямая зависимость: в зелёном чае теафлавинов больше, чем в чёрном чае. Однако теафлавины - нестойкие соединения и при окислении легко переходят в теарубигины, поэтому в черном чае соотношение теафлавинов и теарубигинов изменяется в сторону увеличения последних. Низкое содержание теарубигинов обычно указывает на неполную ферментацию или длительный срок хранения чая [75, 137, 168].

Наши исследования подтверждают общие закономерности, содержание теафлавинов в зеленом чае выше (около 0,09 мг/г при 0,04 мг/г в черном чае), в то время как в черном существенно (НСР ($p \leq 0,05$) = 0,19) увеличивается количество теарубигинов (рисунок 31).

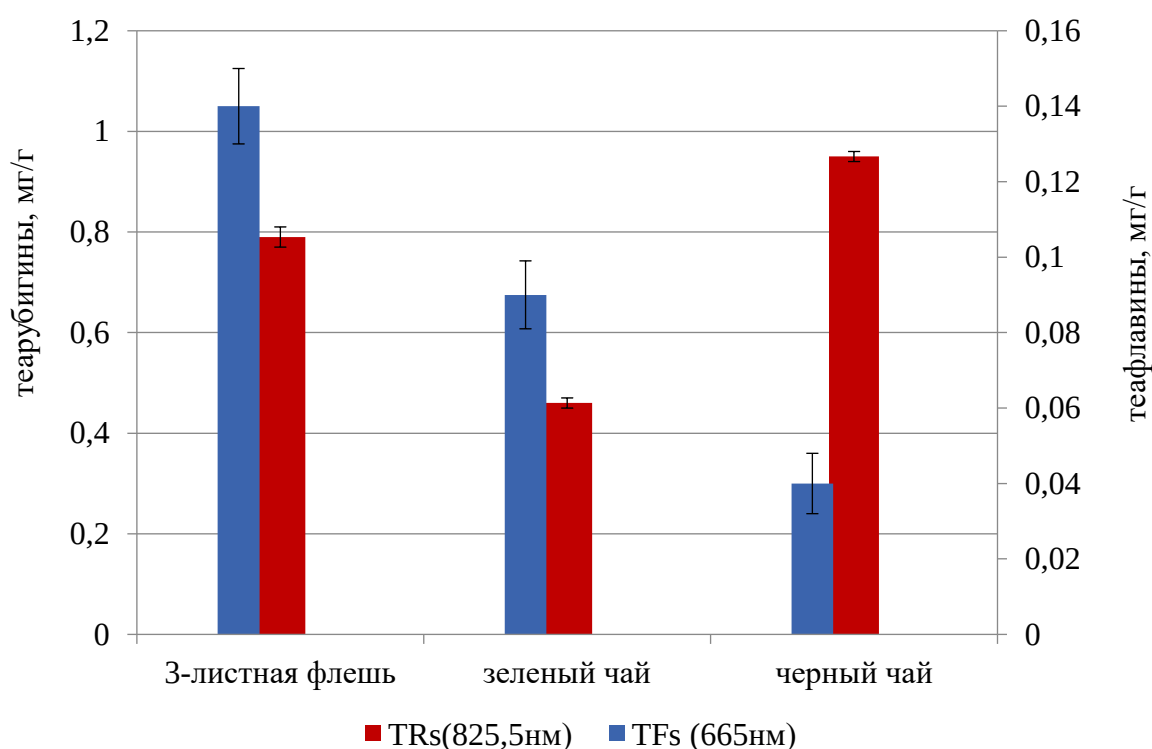


Рисунок 31 – Изменение флаваноидов в процессе переработки сырья в готовый чай (на примере контрольного сорта Колхида)

В сортовом разрезе можно отметить, что черный чай, полученный из формы 582, показал наиболее высокие значения содержания теафлавинов (0,09 мг/г) и теарубигинов 3 (1,18 мг/г). В зеленом чае по содержанию теафлавинов все формы располагаются в один ряд, в то время как теарубигинов существенно больше синтезируется сортами Сочи и Колхида (таблица 23).

Статистический анализ показал наличие большой вариабельности в изменении теафлавинов ($V = 25-33\%$ в зеленом чае и $13-14\%$ – в черном), в то время как теарубигины изменяются достаточно мало (вариабельность в среднем составляет $2-11\%$). Это подтверждает тот факт, что теафлавины достаточно нестойкие соединения и легко разрушаются, в том числе и в процессе переработки сырья в готовый чай.

Таблица 23 – Генотипические особенности в содержании флавоноидов в готовом чае, мг/г

Сорт/форма	Зеленый чай		Черный чай	
	TFs	TRs	TFs	TRs
с. Колхида	0,04 ±0,01	0,72 ±0,08	0,07 ±0,01	1,03 ±0,08
с. Сочи	0,04 ±0,01	0,71 ±0,09	0,07 ±0,01	0,95 ±0,09
ф. 3823	0,04 ±0,01	0,60 ±0,03	0,08 ±0,01	1,08 ±0,07
ф. 582	0,04 ±0,00	0,70 ±0,02	0,09 ±0,01	1,18 ±0,02
ф. 855	0,04 ±0,01	0,63 ±0,01	0,07 ±0,01	0,10 ±0,02
ф. 2264	0,03 ±0,01	0,53 ±0,03	0,08 ±0,00	1,03 ±0,05
<i>HCP (p ≤ 0,05)</i>	0,01	0,02	0,02	0,06

В сортовом разрезе, более стабильно содержание флавоноидов в готовом чае форм 582 и 855 [200].

Согласно международным правилам, любой чай должен иметь

соотношение теафлавинов и теарубигинов не ниже, чем 1:16, а в чае высшего качества 1:10. По данному показателю чай, изготовленный из опытных растений, соответствует международным требованиям: соотношение теафлавинов к теарубигинам оставляет по зеленому 1:12, по черному чаю 1:14, т.е. наш чай относится к чаям высшего качества.

4.3.2 Изменение в количестве и соотношении полимерных форм фенольных соединений в чае

С точки зрения обеспеченности питания людей биологически активными веществами фенольной природы наибольший интерес представляют продукты, постоянно употребляемые в пищу и богатые фенольными соединениями. В этом ряду чай стоит на одном из первых мест, так как важнейшим компонентом напитка является сложный комплекс фенольных соединений, представляющий собой вторичный метаболиты. Все вещества, относящиеся к фенольным соединениям, можно разделить на образованные многоатомным спиртом (например, глюкозой), у которого гидроксильные группы частично или полностью этерифицированы галловой кислотой или родственными соединениями (так называемые гидролизуемые таннины), и образованные конденсацией фенольных соединений, например, катехинов (так называемые негидролизуемые, или конденсированные, таннины). Конденсированные дубильные вещества – это продукты конденсации катехинов (флаван-3-олов), лейкоантоцианидинов (флаван-3,4-диолов), реже гидроксистильбенов (фенилэтиленов). В их состав входят также простые фенолы (резорцин, пирокатехин, пирогаллол, флороглюцин и др.).

Антоцианы являются веществами, положительно влияющими на пищевую значимость чая [176, 198, 240, 241], в связи с чем нами определено их содержание в готовом (зеленом и черном) чае. Показано, что при переработке сырья (3-листной флеш) в готовый продукт происходит изменение в содержании антоцианов (рисунок 32).

Так, в зеленом чае их содержится почти столько же, как и в сырье. При приготовлении зеленого чая сырье фиксируется паром (в условиях лаборатории – на аппарате Коха) и в нем остается столько веществ, сколько их накопил лист. А при приготовлении черного чая – обязательно идет процесс ферментации (окисление скрученного сырья), который сопровождается химическими реакциями в самом листе.

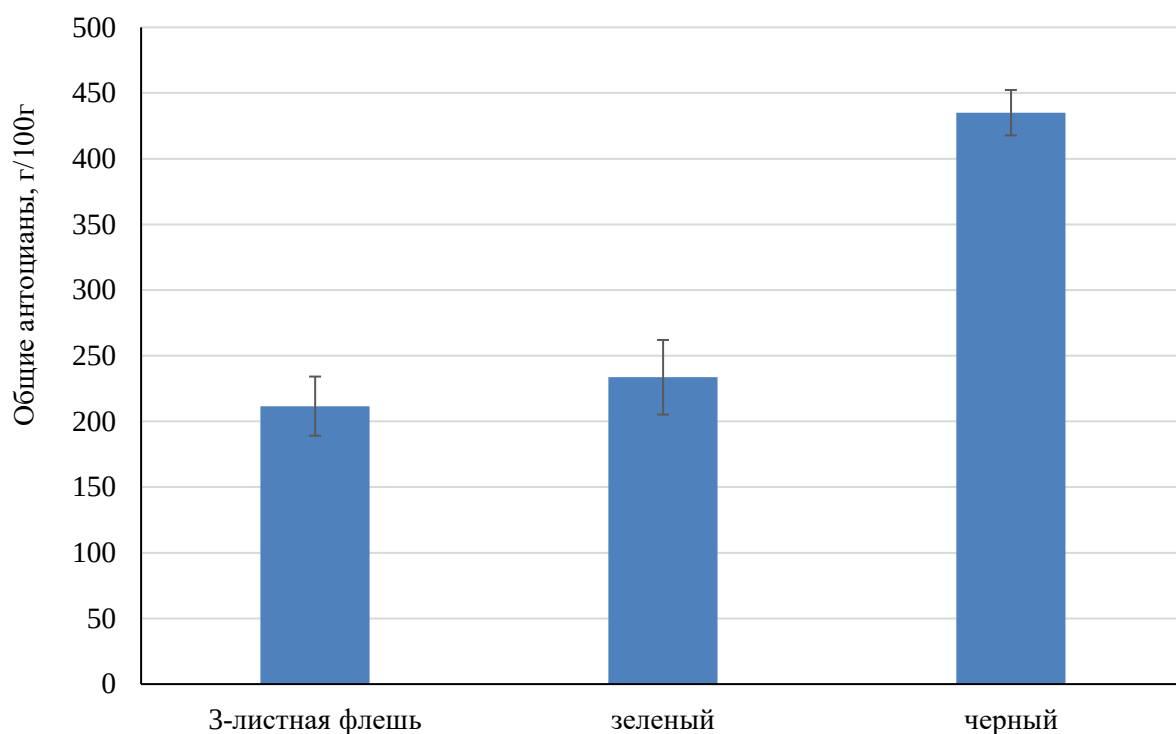


Рисунок 32 – Изменение антоцианов в процессе переработки сырья в готовый чай (на примере контрольного сорта Колхида)

Это приводит к тому, что многие соединения разрушаются, идут процессы взаимопревращения, и из них производятся другие. Например, в процессе ферментации из галлатов образуются теафлавины и теарубигины, хиноны преобразуются в теин (кофеин чая) [12]. Не исключение антоцианы, которые представляют собой настоящие обратимые окислительно-восстановительные системы [221, 240]. В клетках антоцианы представляют собой агликоны антоцианидинов, известны факторы, влияющие на их стабильность: химическая структура, рН среды, температура, свет,

присутствие кислорода, ферментов, ионов металлов, аскорбиновой кислоты, флавоноидов, сахаров. Особенно негативное воздействие на стабильность антоцианов оказывает аскорбиновая кислота, идут процессы взаимной деградации аскорбиновой кислоты и антоцианов [199, 224]. А как известно, при ферментации аскорбиновая кислота подвергается некоторому разрушению, что приводит к изменению и в количестве антоцианов. Поэтому в черном чае антоцианов больше, чем в зеленом и сырье.

Таким образом, установлено, что в процессе ферментации чая происходит активный синтез антоцианов, в связи с чем их количество значительно выше, чем в сырье и зеленом чае. Так как антоцианы выполняют роль антиоксидантов, высокое их содержание в черном чае делает его не менее полезным для профилактики многих воспалительных процессов, чем зеленый.

Характер метаболических процессов определяется не только технологическими условиями переработки сырья в готовый чай, но и детерминируются генотипическими особенностями самих растений. В связи с чем, при сохранении общих закономерностей – увеличение количества антоцианов в черном чае, нами выявлено наличие сортовых отличий в содержании общих антоцианов в черном и зеленом чае (таблица 24).

Таблица 24 – Генотипические особенности в содержании общих антоцианов в готовом чае, г/100 г

Сорт/форма	Зеленый чай	Черный чай
с. Колхида	233,6 ± 28,4	435,0 ± 17,3
с. Сочи	191,9 ± 26,4	292,9 ± 19,4
ф. 3823	207,3 ± 19,8	416,3 ± 15,3
ф. 582	190,9 ± 20,3	393,6 ± 16,7
ф. 855	225,9 ± 24,6	354,1 ± 18,2
ф. 2264	235,1 ± 28,6	328,7 ± 17,2
<i>HCP (p ≤ 0,05)</i>	12,4	16,8

Так, наиболее богат антоцианами зеленый чай форм 855 и 2264, однако

а процессе ферментации сырья более активен синтез полимерных форм фенольных соединений у сорта Колхида, форм 3823 и 582. Данные имеют существенный характер. Вариабельность антоцианов в готовом зеленом чае средняя, составляет от 10 до 14 %; в черном чае содержание антоцианов стабильно, коэффициент вариации находится в пределах 4-7 %. Наиболее стабильны формы 3823, 582 и 855.

4.3.3 Изменение в количестве и соотношении катехинового комплекса в чае

Как уже отмечалось ранее, в чае содержится одна из разновидностей кофеина – теин. Особенностью теина является более мягкое действие на организм человека. Так как кофеин присутствует в сочетании с чайным танином, при заваривании он не экстрагируется полностью и напиток действует на организм мягче. При этом, в отличие от кофеина, теин не накапливается в организме. В предыдущей главе мы показали, как на количество кофеина (теина) в чае влияет условия выращивания, в данном разделе отмечены изменения, связанные с условиями переработки сырья в черный и зеленый чай (рисунок 33). Как видно из представленных данных, больше всего кофеина содержится в 3-листных флешах (21,46 мг/г), в зеленом чае его количество вдвое меньше (12,86 мг/г) и еще меньше в черном (7,01 мг/г).

Более низкое содержание кофеина в зеленом чае обусловлено воздействием высоких температур во время фиксации сырья. В то время, как существенное снижение количества кофеина в черном чае связано с процессами окислительного дезаминирования во время ферментации сырья, что приводит к деструкции кофеина.

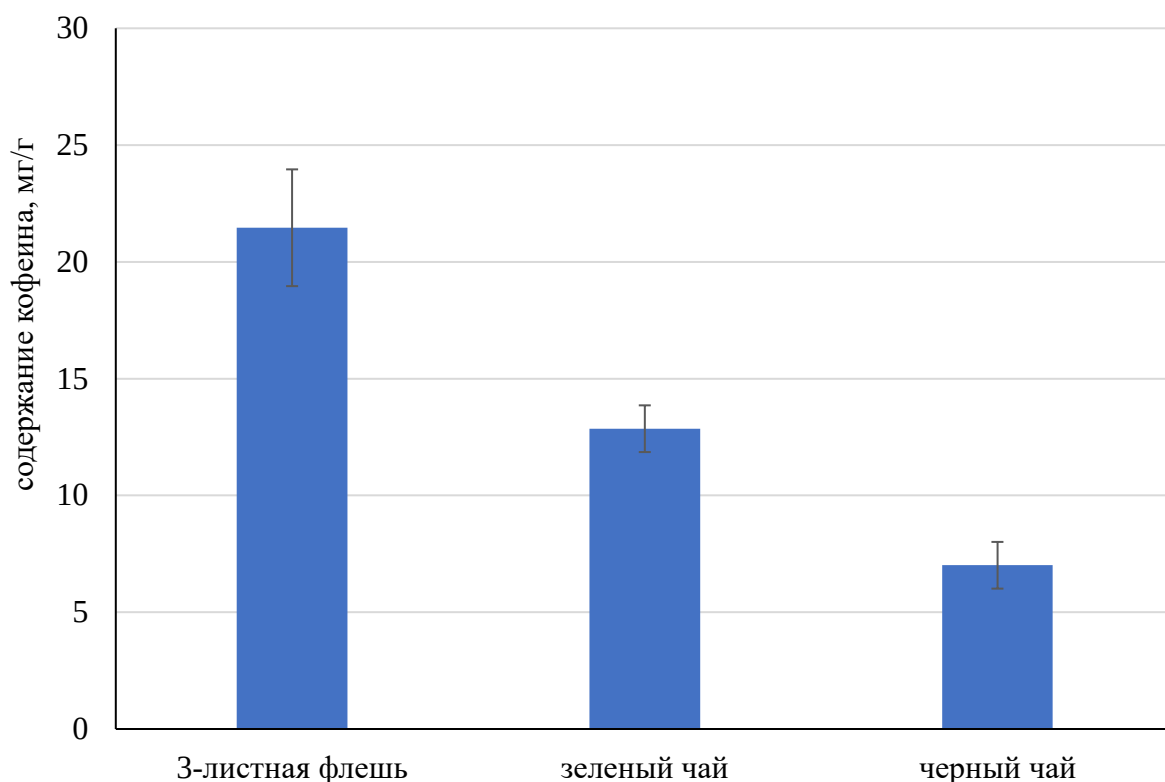


Рисунок 33 – Изменение содержания кофеина в процессе переработки сырья в готовый чай (на примере контрольного сорта Колхида)

Как правило, элитные сорта крепкого черного чая содержат около 5% кофеина. В нашем черном чае, в процентном содержании от 1,20 до 1,40 % данного алкалоида, в зеленом – с средним от 0,61 до 0,83 % в зависимости от срока сбора. Вместе с тем существует мнение, что кофеин не определяет крепость чая [32, 203]. Например, в цейлонском чае кофеина содержится значительно меньше (около 4 %), чем в китайских чаях (до 15 %), органолептически считающихся менее крепкими. Таким образом, чай, производимый из коллекционных сортов и форм ФИЦ СНЦ РАН можно отнести к элитным некрепким сортам чая.

Известно, что чем выше содержание полифенольных соединений в исходном сырье, тем более интенсивно протекают биохимические процессы, и тем большую физиологическую ценность будет иметь готовый продукт [201]. Определение общих полифенолов в ферментированных и не

ферментированных сортах чая выявило различие в их содержании (рисунок 34). Так, наиболее богаты полифенолами фиксированная 3-лиственная флеш и зеленый чай [137, 200]. Это объясняется особенностями процесса получения черного чая, включающего стадию ферментативного окисления, которая приводит к разрушению полифенолов с последующим образованием соединений флавоноидной природы.

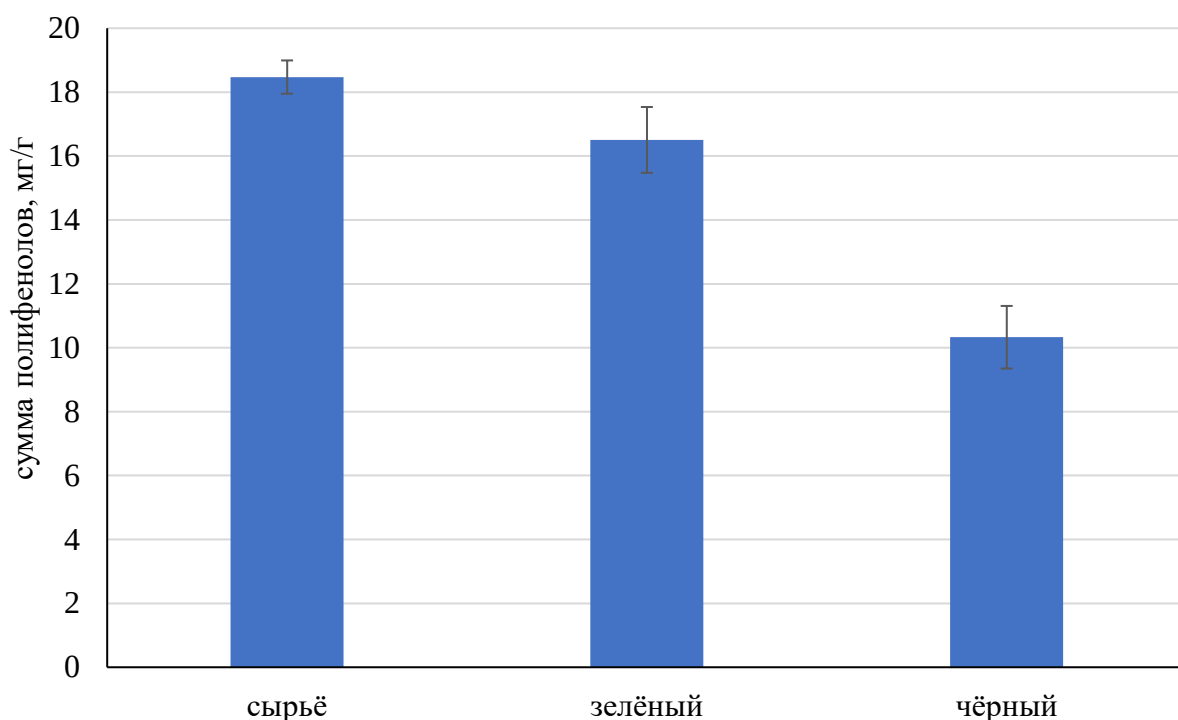
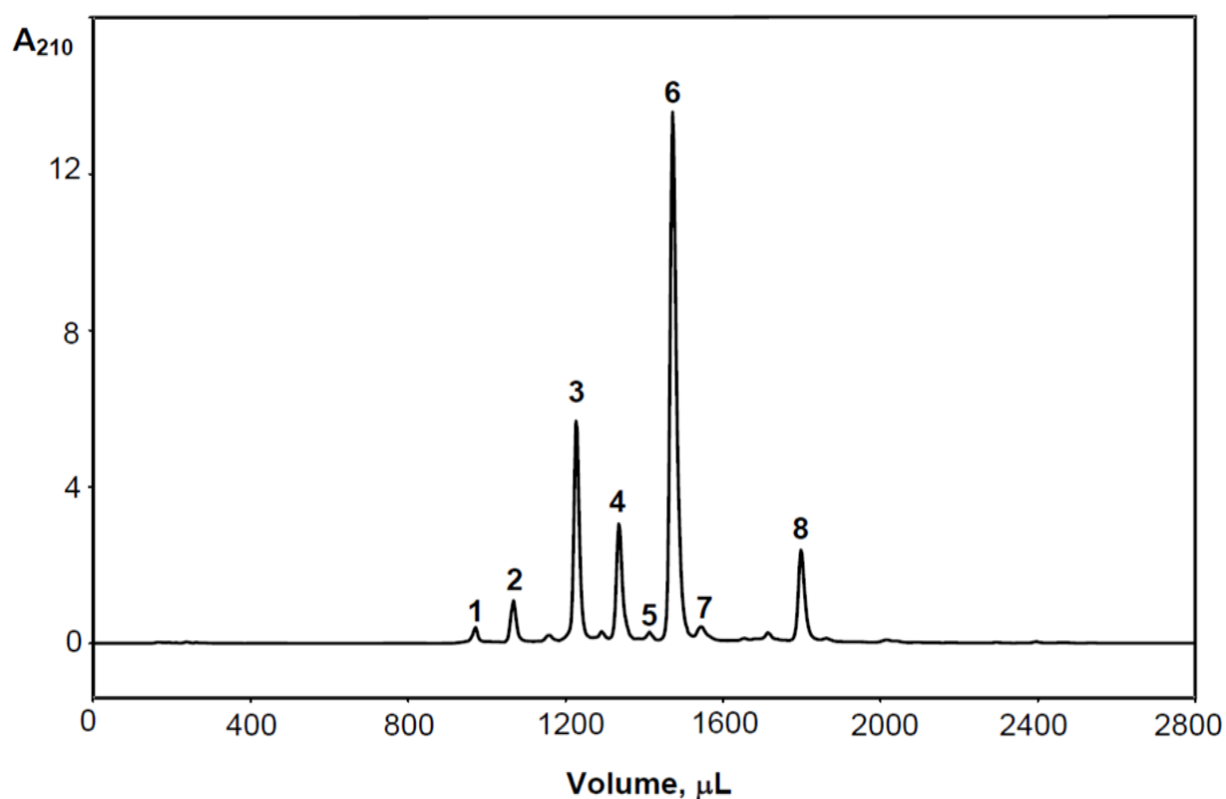


Рисунок 34 – Изменение содержания общих полифенолов в процессе переработки сырья в готовый чай (на примере контрольного сорта Колхида)

Помимо общего содержания полифенолов с точки зрения пищевой значимости представляет интерес и информация о качественном составе катехинового комплекса. В связи с тем, что наиболее богат полифенолами зеленый чай, нами проведен анализ компонентов катехинового комплекса именно в готовом зеленом чае (рисунок 35). Чай содержит четыре основных компонента катехина: ЕС, ЕС, EGC и EGC [1, 3, 8, 36, 37]. Эпигаллокатехин (EGC) – самый сильный антиоксидант из четырёх основных катехинов чая [163, 170].

Исследования сырья показало, что наибольшее количество общих полифенолов содержит 3-листная флешь формы 582, в связи с чем, предварительно нами проведено определение катехинового комплекса именно у этой формы. Так, было отмечено, что в зеленом чае формы 582 идентифицируется 8 компонентов и наибольшее количество приходится на эпигаллокатехин галлат (EGCG), являющийся полифенольным соединением (флавоноидом) класса катехинов. EGCG наряду с эпигаллокатехином (EGC) обладает большой метаболической активностью и универсальностью в плане воздействия на человеческий организм [163, 172, 184].



Легенда к хроматограмме							
1	2	3	4	5	6	7	8
GA	GC	EGC	Caf	EC	EGCG	GCG	ECG

Рисунок 35 – Хроматограмма качественного состава катехинового комплекса экстракта зеленого чая (на примере ф. 582)

По количественному ранжиру все компоненты катехинового комплекса можно распределить следующим образом: *эпигаллокатехин галлат (EGCG) > эпигаллокатехин (EGC) > кофеин (Caf) > эпикатехин галлат (ECG) > галлокатехин (GC) > галлокатехин галлат (GCG) > галловая кислота (GA) > эпикатехин (EC)*.

Дальнейший анализ, выполненный в динамике в чае всех опытных образцов, подтвердил закономерности в содержании компонентов катехинового комплекса (таблица 25).

Таблица 25 – Концентрации полифенолов в зеленом чае, мг/г, n = 3, p = 0,95

Сорт/форма	GA	GC	EGC	Caffein	EC	EGCG	ECG
июль							
с. Колхида	0,24 ±0,01	2,82 ±0,11	26,73 ± 0,60	19,35 ± 0,01	5,27 ± 0,00	75,82 ± 0,08	4,15 ± 0,01
с. Сочи	0,17 ±0,00	2,34 ±0,08	29,30 ±0,07	18,45 ±0,03	6,38 ±0,01	30,47 ±0,08	2,19 ±0,03
ф. 3823	0,21 ±0,01	3,26 ±0,13	39,02 ±0,38	20,42 ±0,00	6,59 ±0,01	57,93 ±0,09	3,63 ±0,00
ф. 582	0,15 ±0,01	2,59 ±0,11	25,26 ±0,03	20,20 ±0,02	4,16 ±0,00	37,73 ±0,04	2,14 ±0,03
ф. 855	0,18 ±0,01	2,98 ±0,10	29,39 ±0,04	21,83 ±0,05	7,58 ±0,00	58,56 ±0,01	4,32 ±0,01
ф. 2264	0,35 ±0,00	2,29 ±0,08	26,01 ±0,04	21,89 ±0,01	4,33 ±0,04	65,36 ±0,04	2,89 ±0,12
август							
с. Сочи	0,13 ±0,01	2,22 ±0,09	31,99 ±0,32	20,79 ±0,02	6,41 ±0,00	30,66 ±0,03	2,62 ±0,04
ф. 3823	0,19 ±0,01	2,18 ±0,06	31,56 ±0,27	17,06 ±0,06	5,89 ±0,01	49,73 ±0,01	2,97 ±0,03
ф. 582	0,49 ±0,01	3,34 ±0,09	29,94 ±0,30	20,80 ±0,26	6,40 ±0,01	36,07 ±0,02	2,54 ±0,01
ф. 855	0,49 ±0,01	2,88 ±0,13	26,65 ±0,15	24,20 ±0,02	4,46 ±0,00	87,11 ±0,03	4,82 ±0,01
ф. 2264	0,36 ±0,01	2,35 ±0,06	21,39 ±0,10	20,84 ±0,04	4,09 ±0,01	52,61 ±0,01	3,09 ±0,01

Более того, анализ выявил более низкую их концентрацию в чае, собранном в августе (таблица 25), относительно тех же сортов, собранных в июле. Это подтверждает наши выводы о наличии корреляции между содержанием биологически активных веществ и временем сбора чая.

4.4 Изменения в составе аминокислотного комплекса в процессе переработки сырья в готовый продукт

При переработке сырья в готовый чай, количество аминокислот падает, что связано с окислительным дезаминированием и преобразованием их в белковые соединения, которые участвуют в образовании армата чая (рисунок 36).

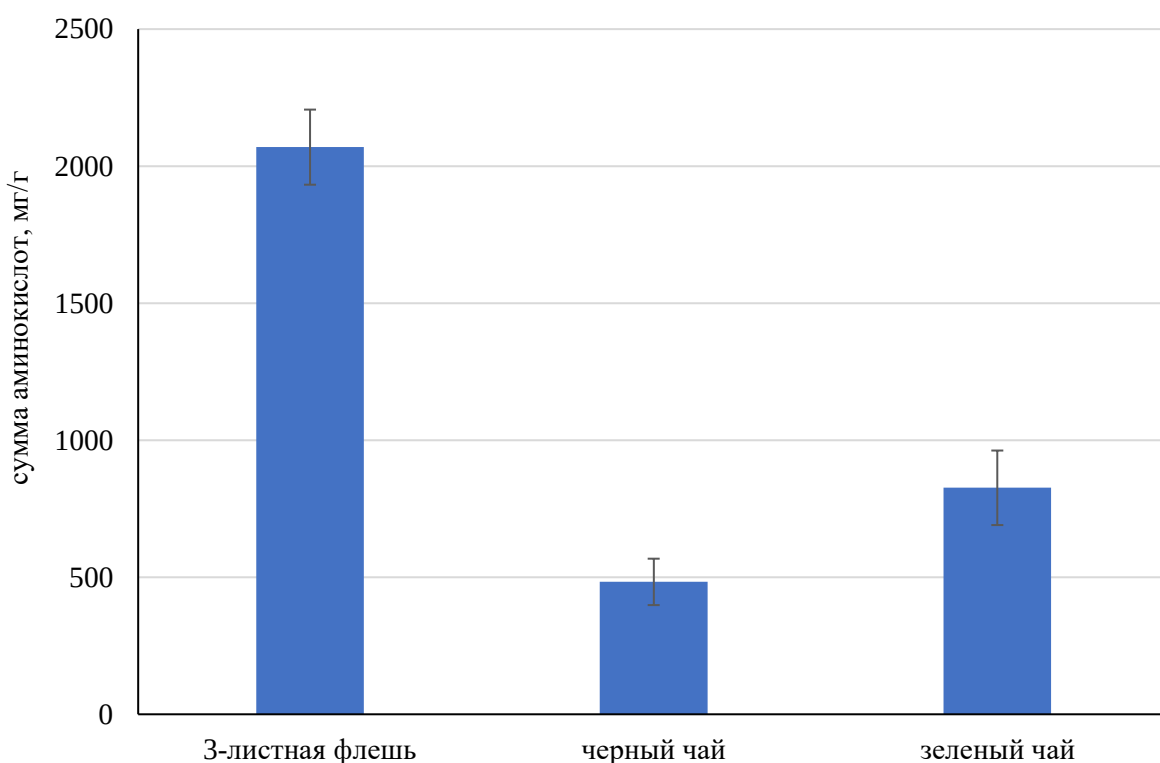


Рисунок 36 – Изменение содержания аминокислот в процессе переработки сырья в готовый чай (на примере контрольного сорта Колхида)

При переработке происходит не только общие изменения – в черном аминокислот несколько меньше, чем в зеленом – что объяснимо, так как именно в процессе ферментации черного чая идут активные процессы окислительного дезаминирования. Но и прослеживаются сортовые различия в метаболических реакциях накопления и трансформации аминокислот (таблица 26).

Таблица 26 – Аминокислотный состав готового чая, в % от суммы аминокислот

АМК	черный чай					
	с. Колхида	с. Сочи	ф. 3823	ф. 582	ф. 855	ф. 2264
аргинин	3,17 ±0,39	2,83 ±0,45	3,34 ±0,18	4,85 ±0,62	2,45 ±0,12	4,78 ±0,05
тироз	0,18 ±0,05	0,09 ±0,00	0,12 ±0,04	0,20 ±0,04	0,16 ±0,08	0,23 ±0,00
б-фен алан	0,13 ±0,05	0,05 ±0,00	0,07 ±0,02	0,20 ±0,04	0,07 ±0,00	0,21 ±0,00
лейцин	2,00 ±0,36	4,77 ±0,35	3,26 ±1,00	3,65 ±0,67	3,00 ±0,70	8,36 ±0,15
метионин	1,66 ±0,42	3,29 ±0,28	7,11 ±1,16	3,21 ±0,07	3,94 ±0,52	8,62 ±0,18
валин	2,93 ±0,67	3,88 ±0,72	4,40 ±0,75	6,70 ±0,80	6,72 ±0,33	3,40 ±0,01
пролин	50,72 ±5,30	63,49 ±1,52	40,89 ±1,39	47,83 ±5,70	47,58 ±1,65	39,43 ±3,71
треонин	4,30 ±0,75	3,94 ±0,71	3,14 ±0,61	5,49 ±0,74	4,49 ±0,29	1,96 ±0,01
серин	18,11 ±1,66	7,67 ±0,48	24,72 ±3,25	4,56 ±0,35	11,52 ±1,71	25,08 ±0,79
а-аланин	4,89 ±0,28	1,73 ±0,06	4,35 ±1,44	5,40 ±0,86	9,28 ±0,78	4,48 ±0,01
глицин	4,17 ±0,92	6,22 ±0,95	7,54 ±2,08	9,75 ±1,36	10,82 ±0,42	2,38 ±0,00
М ±m, в кг/г	483,0 ±84,7	751,5 ±126,4	727,2 ±104,0	515,0 ±206,9	605,5 ±313,3	429,8 ±114,1
V, %	18	17	14	40	52	27
АМК	зеленый чай					
	с. Колхида	с. Сочи	ф. 3823	ф. 582	ф. 855	ф. 2264
аргинин	4,74 ±0,14	2,99 ±0,35	2,88 ±0,04	15,35 ±2,45	8,70 ±0,66	2,81 ±0,67
тироз	0,08 ±0,00	0,10 ±0,00	0,16 ±0,00	0,17 ±0,01	0,11 ±0,00	0,11 ±0,04
б-фен алан	0,10 ±0,02	0,09 ±0,00	0,10 ±0,00	0,10 ±0,00	0,12 ±0,00	0,07 ±0,00
лейцин	1,85 ±0,47	6,91 ±0,88	1,66 ±0,06	3,73 ±0,00	2,32 ±0,06	9,14 ±0,25
метионин	8,11 ±0,56	5,92 ±0,47	3,01 ±0,07	15,32 ±3,70	10,17 ±0,33	5,21 ±0,28
валин	14,43 ±1,01	5,28 ±0,44	11,94 ±2,85	5,92 ±0,03	3,64 ±0,07	12,41 ±1,85
пролин	53,98 ±3,89	68,65 ±3,65	61,88 ±5,18	53,74 ±4,36	48,60 ±2,68	31,09 ±2,07
треонин	1,12 ±0,35	2,12 ±0,03	2,97 ±0,08	2,14 ±0,07	5,25 ±0,20	0,93 ±0,09
серин	14,67 ±2,20	2,99 ±0,02	12,06 ±0,90	4,02 ±0,06	16,06 ±1,97	19,64 ±1,82
а-аланин	3,87 ±0,13	1,91 ±0,04	2,00 ±0,07	1,32 ±0,00	1,82 ±0,03	15,67 ±1,58
глицин	2,01 ±0,07	2,00 ±0,09	1,74 ±0,05	2,30 ±0,04	2,70 ±0,00	2,96 ±0,06
М ±m, кг/г	826,4 ±436,2	1100,1 ±448,9	746,6 ±146,2	737,2 ±206,9	813,4 ±268,0	960,2 ±120,0
V, %	53	41	20	28	33	12

Более богат аминокислотами (АМК) экстракт готового чая сорта Сочи, по черному чаю также выделяется форма 3823, в то время как зеленый чай насыщен аминокислотами у остальных опытных образцов (кроме сорта Сочи) в равной степени. Потеря в составе аминокислот и варьирование аминокислотных компонентов также детерминировано генотипическими особенностями сортов/форм (таблица 26). Так больше всего теряется АМК в процессе ферментации при производстве черного чая у формы 2264 (в 2,2 раза меньше, чем в зеленом чае), в то время как более стабильно содержание у формы 3823 (отличие от зеленого незначительно).

При анализе компонентов аминокислотного состава в течение всего периода исследований (с 2017 по 2020 гг.), обращает на себя внимание тот факт, что аминокислотный состав черного чая формы 3823, а также сортов Сочи и Колхида мало подвержен изменениям ($V = 14-18 \%$), что указывает на стабильный аминокислотный состав данных образцов в годовом разрезе. В то же время у сортов Колхида и Сочи аминокислотный состав зеленого чая по годам изменяется в большей степени ($V = 53-41 \%$), что связано с варьированием содержания АМК ($V = 81-63 \%$) в их сырье (3-листной флеш).

4.5 Содержание второстепенных вторичных метаболитов в чае

Известно, что растения синтезируют и накапливают огромное количество специфических соединений, которые, как принято считать, прямо не участвуют в основном (первичном) обмене веществ. Эти соединения были названы вторичными в противоположность первичным (нуклеиновые кислоты, белки, витамины, гормоны, большая часть углеводов, жиров и др.) [1, 9].

В растении чая комплекс вторичных метаболитов не только обуславливает защиту растения от стрессоров абиотической природы, но и формирует пищевую значимость готового чая. Помимо основных вторичных метаболитов (флавоноиды, полифенолы и т.д.) в формировании качества чая принимают участие и второстепенные соединения.

Углеводы, содержащиеся в чае, в большинстве своем являются нерастворимыми (крахмал, целлюлоза). Но есть часть растворимых в воде углеводов. К ним относятся глюкоза, сахароза, мальтоза, фруктоза [9]. Известно, что углеводы являются необходимыми субстратами для биосинтеза различных классов фенольных соединений [38]. Так, при поступлении глюкозы или сахарозы накопление этих вторичных метаболитов (антоцианов, антрохинонов и других соединений) в клетках растений повышалось [131, 150].

Установлено, что наибольшее количество составляют такие моносахариды, как фруктоза (200,2 мг/л), что значительно (в 2-9 раз) превышает остальные формы сахаридов (рисунок 37).

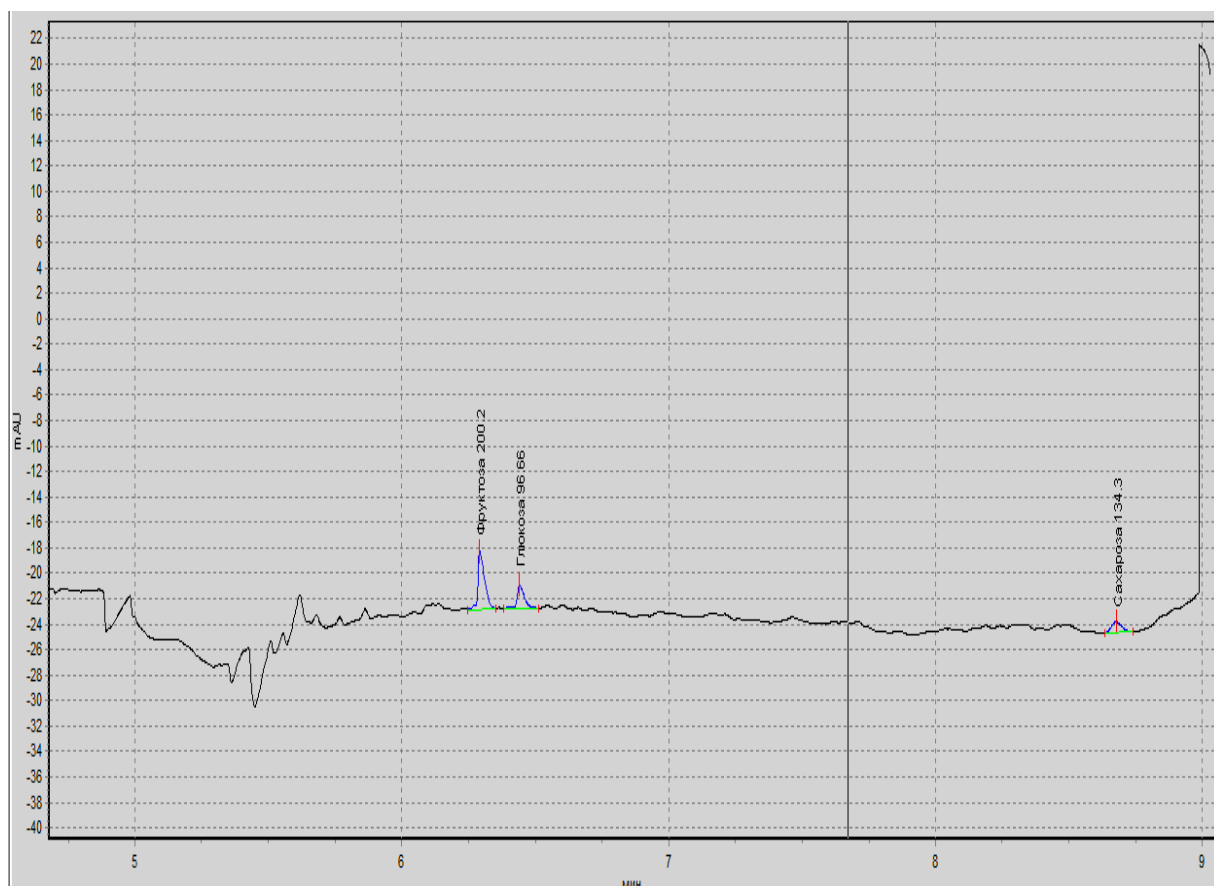


Рисунок 37 – Содержание моно- и дисахаров в готовом черном чае (на примере контрольного сорта Колхида), мг/л

В связи с тем, что существует прямая высокая корреляция между

содержанием сахаридов и танинов, высокие количества моно- и дисахаров является положительным фактором, характеризующим биохимический комплекс чая.

Из органических кислот (около 1%) в чае обнаружены щавелевая, лимонная, яблочная и др. кислоты, которые определяют пищевую ценность чая. На рисунке 38 представлены результаты наших исследований, которые позволили получить данные о содержании ряда органических кислот в 3-листной флешки чая. Из рисунка видно, что преобладающей в составе органических кислот чая является щавелевая (34% от общей суммы кислот), в значительных количествах содержатся винная (28%) и яблочная (24%).

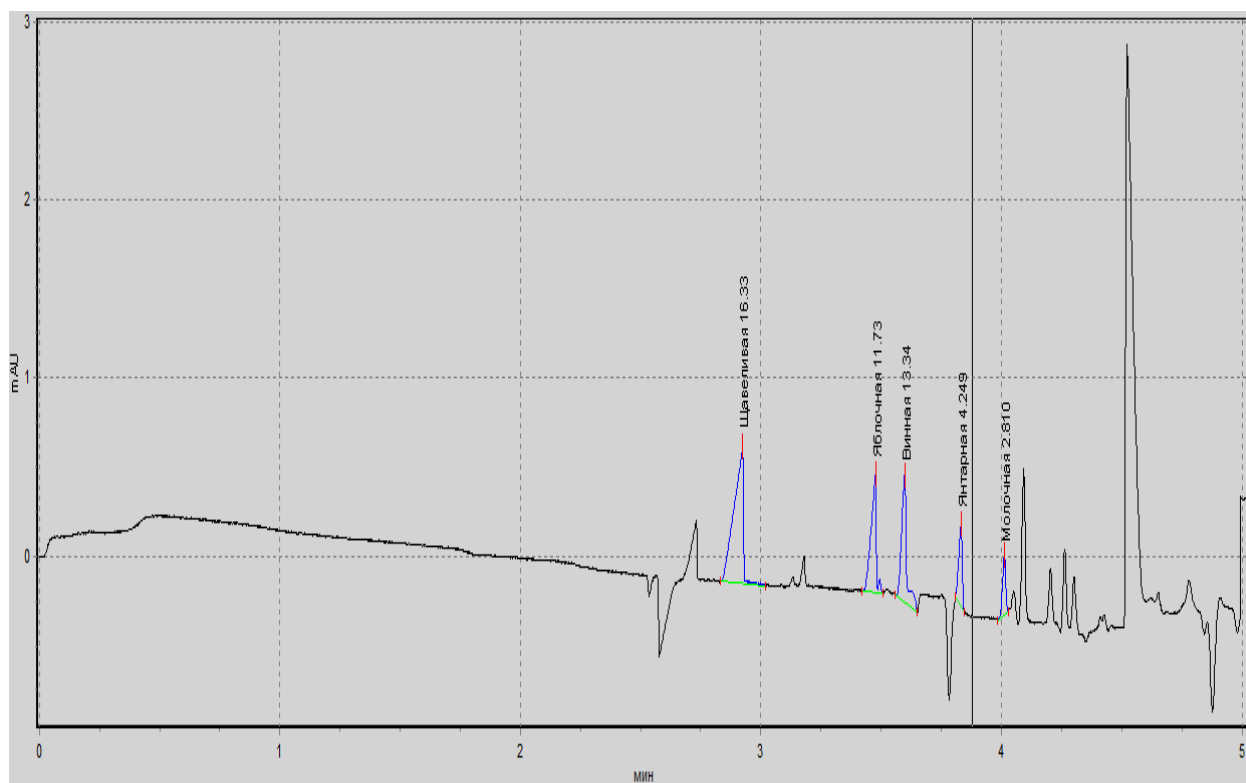


Рисунок 38 – Содержание органических кислот в готовом черном чае (на примере контрольного сорта Колхида), мг/л

Янтарная и молочная кислоты представлены в незначительном количестве (4,24 и 2,01 мг/л, соответственно).

Кроме данных соединений в липофильном комплексе имеются

незаменимые жирные кислоты: линолевая, линоленовая и др. [210, 231]. Анализ готового чая (на примере сорта Колхида) показал, что в зеленом чае присутствует ненасыщенные кислоты линолевая и линоленовая кислоты, а также – метиллинолеат, который является сложным эфиром линоленовой кислоты (рисунок 39). Данный эфир образуется в результате ингибирования процесса окисления и поэтому в черном чае он отсутствует.

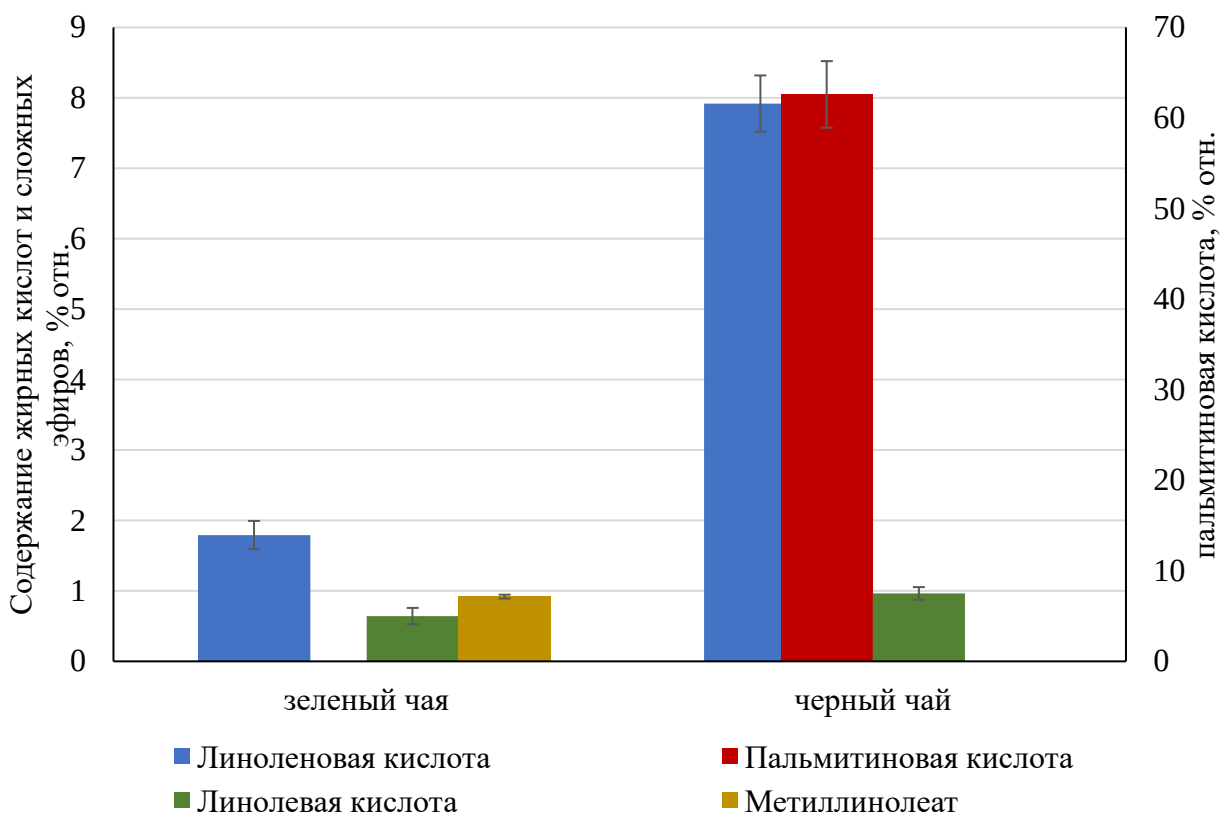


Рисунок 39 – Содержание жирных кислот и сложных эфиров в готовом чае (на примере контрольного сорта Колхида)

В отличие от зеленого чая в черном нами обнаружены две ненасыщенные жирные кислоты (ННЖК): линоленовая, линолевая и незаменимая насыщенная пальмитиновая кислота, содержание которой в 6-7 раз превышает количество ННЖК.

Пальмитиновая кислота, поступая в организм человека, активизирует синтез эластина, коллагена, оказывая стимулирующее действие на биомембраны, в связи с чем ее выявление в чае является значимым моментом.

Содержание в готовом чае ненасыщенных жирных кислот также является положительным фактом, так как в организме человека они являются биохимическими предшественниками физиологически значимых длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) с 20-22 атомами углерода (из семейства омега-3), в свою очередь участвующих в синтезе эндогормонов – эйкозаноидов [205] и докозаноидов [131]. Основная функция этих эндогормонов: защита нервных клеток от повреждения, например от окислительного стресса. Таким образом, чай может рассматриваться также и как источник ННЖК и ПНЖК.

4.6. Влияние на химический состав чая места расположения плантации

К факторам, влияющим на накопление веществ, определяющих органолептические свойства чая, относятся почвенные условия, агротехника, гидротермальные (сочетание температуры и влажности, осадков) и орографические факторы (экспозиция склонов и высота насаждений над уровнем моря) [5, 11, 13, 22, 29, 51, 72 и др.].

В связи с тем, что площади с оптимальными почвенными и микроклиматическими условиями в стране весьма ограничены, отечественные производители чайной продукции не могут удовлетворить повышенный спрос потребителей. Это создает предпосылки для многочисленных способов его фальсификации [107]. В 2017 году принят закон «О развитии чаеводства в Краснодарском крае», который предусматривает увеличение субсидий чаеводам и защищает местный чай от подделок. В настоящий момент называть «Краснодарским» можно только тот чай, в составе которого в большем (не менее 60 %) присутствует лист с местных плантаций, обладающий специфическим для данного региона биохимическим составом [199].

С момента принятия закона ФИЦ СНЦ РАН был уполномочен проводить экспертизы на подлинность чайной продукции с целью ее идентификации путем определения биохимических показателей,

позволяющих оценить качество продукта, а также соблюдение технологий производства и правильность маркировки готовой продукции.

В рамках проводимых экспертиз, нами собран обширный многолетний (2017-2019 гг.) материал, позволивший сделать вывод о несомненном влиянии места размещения плантаций на качественные характеристики готовой продукции [134].

В качестве объектов исследования мы использовали образцы чёрного и зелёного чая местных производителей: АО «Мацестинский чай», ООО «Мацестинская чайная фабрика Константина Туршу», ЗАО «Дагомысчай», ОАО «Хоста чай», ОАО «Солохаульский чай», ООО «Объединение Краснодарский чай» и ЗАО «Шапсугский чай». Для сравнения биохимических компонентов чая, произрастающего и вырабатываемого на территории Краснодарского края с мировыми брендами, мы использовали образцы черного чая, выращенного на плантациях Индии, Цейлона, Китая и Кении (купажирование и упаковка производилось фирмой «OXALIS Tea» на территории Чешской Республики).

С пищевкусовой точки зрения наиболее значимыми веществами, входящими в состав чайного листа, являются полифенолы, а именно, т.н. комплекс дубильных веществ (танины и экстрактивные вещества). Дубильные вещества (танины) представляют собой наиболее подвижные и активные вещества, поэтому они очень сильно изменяются при различных условиях выращивания. Экстрактивные вещества, представляющие собой сумму всех растворимых в горячей воде соединений, также являются одним из важных показателей качества, как зеленого листа, так и готового продукта. Специфический вяжущий, приятно горький вкус напитка и красноватый цвет чайного настоя зависят от экстрактивных веществ.

Нами определено содержание водорастворимых экстрактивных веществ и танина в черном и зеленом чае местных производителей, результаты анализа которых представлены в таблице 27. Как видно из данных таблицы 27, все чаи имели высокие показатели как экстрактивных веществ (в среднем 31,21 %),

так и танина (не менее 8,06 %). Причем, наибольшее содержание экстрактивных веществ отмечено в черном чае производства ЗАО «Дагомысчай» и чае «VIP. Черный чай» от ООО «Мацестинская чайная фабрика Константина Туршу».

Таблица 27 – Качественная характеристика промышленных образцов
Краснодарского чая

Образец	Зеленый чай		Черный чай	
	Танин, %	Экстрактивные вещества, %	Танин, %	Экстрактивные вещества, %
АО «Мацестинский чай»	20,40 ±0,09	34,63 ±0,24	8,16 ±0,10	27,81 ±0,14
ООО «Мацестинская чайная фабрика Константина Туршу»	20,20 ±0,12	35,94 ±0,20	11,13 ±0,07	31,06 ±0,09
ЗАО «Дагомысчай»	21,18 ±0,14	35,91 ±0,39	14,25 ±0,14	34,34 ±0,22
ОАО «Хоста чай»	17,06 ±0,14	33,88 ±0,26	8,06 ±0,14	29,66 ±0,92
ОАО «Солохаульский чай»	15,37 ±0,14	34,25 ±0,35	8,25 ± 0,14	29,56 ±1,06
ООО «Объединение Краснодарский чай»	15,19 ±0,14	33,41 ±3,49	8,06 ±0,14	29,44 ±1,85
ЗАО «Шапсугский чай»	-	-	10,31 ±0,14	36,59 ±0,83

Как известно, именно показатель экстрактивных веществ является на сегодняшний момент основным критерием ГОСТа 32573-2013 на черный чай, в котором прописано, что содержание экстрактивных веществ в черном чае должно находится в пределах 32 %. Требуемые нормативы не включают содержание танина, однако, его количество в качественных черных чаях не

должно быть ниже 8 %, чему полностью соответствуют анализируемые нами образцы [199].

По содержанию танина и экстрактивных веществ зелёный чай также соответствует известным стандартам (таблица 27). Так, содержание экстрактивных веществ в зеленом чае по ГОСТу 32574-2013 должно быть не менее 33 %, а содержание танина, в качественных зеленых чаях не должно быть ниже 12 %.

По полученным нами данным, все чаи производства чайфабрик Краснодарского края по содержанию экстрактивных веществ относятся к чаям высшего качества.

В связи с тем, что фенольные соединения – один из наиболее распространенных и многочисленных классов природных соединений, обладающих биологической активностью (например, они являются активными антиоксидантами), мы исследовали содержание основных классов фенольных соединений в готовом продукте производственных марок чая [69, 75, 199]. Помимо этого, в состав готового продукта входят пигменты: хлорофилл, каротиноиды и флавоноиды. И, если содержание большого количества хлорофиллов в чае – это признак его низкого качества и нарушения в процессе переработки, то флавоноиды чайного листа (теафлавины и теарубигины) влияют на аромат чая, так как при их распаде идет образование ароматических веществ (спиртов и альдегидов).

Проводя исследования на базе лаборатории Университета ветеринарии и фармакологии (Брно, Чехия), мы использовали образцы зеленого и черного чая, выращиваемого на плантации и производимого в АО «Мацестинский чай». Нами отмечено, что содержание полифенолов и флавоноидов (теафлавинов и теарубигинов) в зеленом чае соответственно в 1,85, 1,66 и 2,40 раза выше, чем в черном (таблица 28). Это связано с тем, что при производстве зеленого чая полностью исключают ферментацию, сохраняя практически все полифенольные соединения и пигменты.

Таблица 28 – Содержание фенолов в промышленных образцах
Краснодарского чая

Образец	Общие полифенолы, мг/г	Теафлавины, мг/г	Теарубигины, мг/г
Чай чёрный «Краснодарский» (АО «Мацестинский чай»)	1,62 ±0,02	0,09 ±0,00	0,90 ±0,11
Чай зелёный «Краснодарский» (АО «Мацестинский чай»)	3,00 ±0,02	0,15 ±0,01	2,16 ±0,19

Кроме того, мы сравнили качественные характеристики чая, выращиваемого и производимого на территории Краснодарского края, с чаем, выращиваемым на плантациях Индии, Цейлона, Китая и Кении (рисунок 40). Для сравнения были выбраны наиболее популярные марки черного чая: Дарджилинг Сингбулли (плантация в провинции Сингбулли, расположенная в горных районах Северной Индии на большой высоте (1 100 м над у.м.), считается одним из лучших чаев), Дарджилинг Путтабонг (самая первая высокогорная плантация чая в провинции Путтабонг, основанная в 1852 году), Цейлон Димбула (выращивается в провинции Димбула на высоте 1 400 м над у.м.), Кенийский Broken Orange Рекое (выращивается в Кении на высоте 2 500 тысяч метров над у.м.), Кимун (выращивается на равнинных плантациях в районе аньхуэйских уездов Цимень, Дунчжи, Гуйчи).

Как видно из данных, представленных на рисунке 40, наибольшее количество полифенолов (6,19 мг/г) содержится в чае, выращиваемом в провинции Сингбулли (Индия), наименьшее (1,62 мг/г) – в Краснодарском чае.

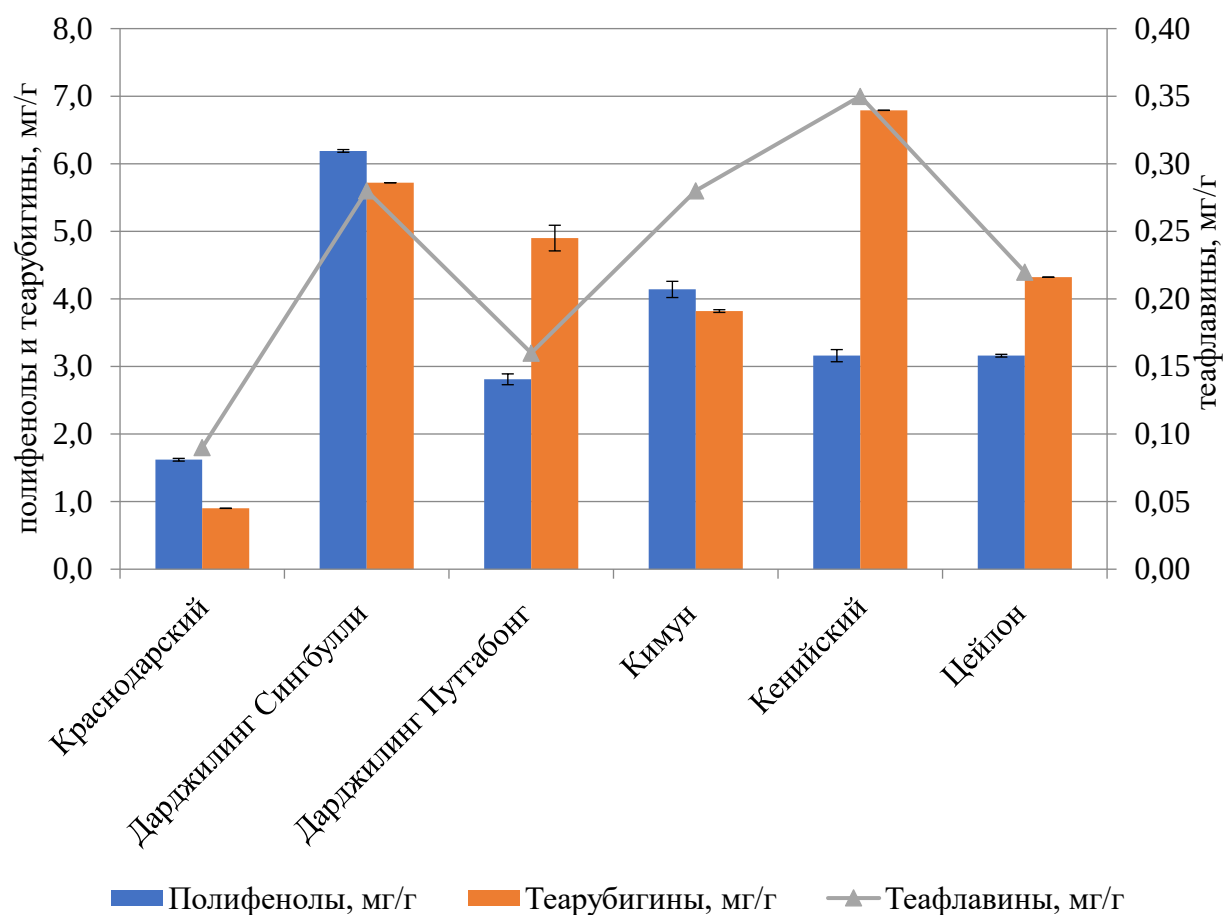


Рисунок 40 – Содержание фенолов в промышленных образцах готового черного чая [69]

Это не случайно, так как почвенно-климатические условия данных регионов, как и разновидность самого растения отличаются. В условиях Краснодарского края на плантациях выращивается, т.н. местная популяция чайного растения, которая относится к крупнолистовой китайской разновидности, в то время как в Индии, на Цейлоне и в Кении – ассамская разновидность.

Содержание пигментов в нашем чае тоже ниже, чем в остальных образцах. Причем, наибольшее количество флавоноидов (как теафлавинов, так и теарубигинов) отмечено в Кенийском чае: 0,35 и 6,79 мг/г соответственно. По содержанию теафлавинов Краснодарский чай (0,09 мг/г) ближе всего к чаям Дарджилинг Путтабонг (0,16 мг/г) и Цейлон Димбула (0,22 мг/г).

При проведении анализа экстракта, обращено внимание на тот факт, что у Краснодарского черного чая настой вследствие меньшего количества

полифенолов менее насыщенный, чем в остальных образцах, и время экстракции нам пришлось несколько увеличивать для достижения оптимальной чувствительности при просмотре на спектрофотометре. Однако, экстракт Краснодарского чая характеризовался более ярким ароматом и более мягким вкусом. Титестерский анализ Краснодарского чая показал, что в отличие от мировых аналогов, чай обладает приятным послевкусием, которое может длиться в течение десяти – пятнадцати минут, в то время как остальные чаи быстро теряют это свойство.

Таким образом, нами показано, что чайные растения, выращенные за пределами Российской Федерации на плантациях, расположенных на высотах выше 1200 м над уровнем моря, обладают отличительными органолептическими характеристиками, характеризуются высоким содержанием соединений фенольной группы, что выделяет их в отдельный вид готового продукта – высокогорный чай.

Чайные растения, выращенные на плантациях Краснодарского края, произрастают на высотах до 600 м над уровнем моря, содержание полифенолов в них ниже, что сказывается на вкусовых (но не ароматических) характеристиках. Чай произведенный из сырья, выращенного в условиях Краснодарского края, соответствуют установленным стандартам по содержанию танина и экстрактивных веществ, относится к чаям высшего качества. В содержании теафлавинов и теарубигинов не уступает мировым брендам (Дарджилинг Путтабонг и Цейлон Димбула). Обладает неповторимым, специфичным вкусом и ароматом, что обусловлено возделыванием культуры на самых северных в мире плантациях [69, 199].

4.7 Общий анализ содержания антиоксидантных компонентов в готовом чае

Обобщив материал исследований по содержанию всех антиоксидантных компонентов в готовом чае, можно сделать следующие выводы: на

биохимический состав готового чая оказывают влияние не только время сбора сырья и условия его переработки (фиксация при высокой температуре, процесс ферментации), но и место размещения плантации (высота над уровнем моря, экспозиция склона и т.д.), а также, генотипические особенности метаболических реакций растений на действие ферментов при окислении биологически активных веществ или температурный фактор.

В связи с чем, более насыщен антиоксидантами готовый чай, собираемый в июле – августе; наиболее ценными с позиции пищевой значимости являются чаи, расположенные на высокогорных плантациях.

По содержанию БАВ зеленый чай традиционно превосходит черный (таблица 29), исключение – черный чай формы 3823. В экстракте черного чая данной формы сохраняется больше каротиноидов, флавоноидов (в основном за счет теафлавинов и антоцианов).

Готовый чай, производимый из опытных коллекционных образцов, превосходит контрольный сорт Колхида по содержанию изученных биологически активных веществ.

В плане сохранения пищевой ценности и получения чая со стабильным содержанием биологически активных веществ и узнаваемыми вкусовыми характеристиками представляет интерес не только содержание тех, или иных антиоксидантов в готовом напитке, сколько их вариабельность в течение периода сбора. Так по содержанию основных антиоксидантов в готовом чае более стабильна форма 855 – она является абсолютным лидером в этом отношении, что может представлять интерес в качестве использования ее как постоянный источник биологически активных веществ. Также стабильность в содержании некоторых антиоксидантов (рутин, флавоноиды, в т.ч. и антоцианы, аминокислоты в черном чае) проявляют формы 3823 и 582.

Таблица 29 – Содержание биологически активных веществ в готовом чае опытных коллекционных образцов *Camellia sinensis*, среднее за период исследований

Сорт/ форма	витамин С, мг/100г	витамин Р, мг/100г	каротиноиды, мг/г	общие полифенолы, мг/г	TFs, мг/г	TRs, мг/г	антоцианы, г/100г	кофеин, мг/г	АМК, мг/г
Зеленый чай									
с. Колхида	9,40	35,08	0,279	16,51	0,04	0,72	233,6	19,18	826,4
с. Сочи	12,69*	33,75	0,265*	15,51	0,04	0,71	191,9*	19,62	1101,1*
ф. 3823	12,03*	37,70*	0,266*	16,35	0,04	0,60*	207,3*	18,74	746,6
ф. 582	13,93*	46,15*	0,249*	18,45*	0,04	0,70*	190,9*	20,50*	737,2
ф. 855	14,45*	38,68*	0,206*	16,20	0,04	0,63*	225,9	23,02*	813,4
ф. 2264	14,01*	41,05*	0,224*	15,08	0,03*	0,53*	235,1	21,37*	960,2*
<i>HCP (p ≤ 0.05)</i>	2,4	1,73	0,007	1,54	0,01	0,02	12,4	1,29	112,2
Черный чай									
с. Колхида	4,84	19,85	0,289	10,33	0,07	1,03	435,0	-	483,0
с. Сочи	6,23	10,40*	0,245*	6,56*	0,07	0,95*	292,9*	-	715,5*
ф. 3823	7,41*	20,70	0,269*	9,38*	0,08	1,08	416,3*	-	727,2*
ф. 582	9,75*	23,20*	0,265*	9,69	0,09*	1,18*	393,6*	-	515,0
ф. 855	6,82*	17,85	0,230*	9,80	0,07	1,10*	354,1*	-	605,5*
ф. 2264	7,19*	18,40	0,277*	7,45*	0,08	1,03	328,7*	-	429,8
<i>HCP (p ≤ 0.05)</i>	1,56	2,43	0,009	0,65	0,02	0,06	16,8	-	101,4

Примечание: * – различие существенно при 95 % значимости; «-» – определение данного показателя не проводили

Таким образом, можно говорить о высокой пищевой значимости коллекционных сортов/форм *Camellia sinensis* и возможности их использования для получения элитных чаев с высоким содержанием основных антиоксидантных веществ: флавоноидов, полифенолов, аминокислот и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Устойчивость растений чая связана с функционированием механизмов, определяемых следующими компонентами антиоксидантной системы: активизацией гваяколпероксидазы, которая детерминирует повышенный синтез флавоноидов и аскорбиновой кислоты; усилением накопления общих полифенолов, антоцианов и кофеина; активизацией синтеза пигментов флавоноидной природы и каротиноидов, увеличением накопления пролина.
2. Значимая положительная корреляция отмечена между содержанием TRs и полифенолов ($r = 0,76$), их синтез определяется количеством осадков ($r = 0,99$); синтез полифенолов определен активностью гваяколпериоксидазы ($r = 0,93$) и количеством осадков ($r = 0,83$); накопление АМК находится под контролем термического фактора ($r = 0,83$). Отрицательная корреляция выявлена между TRs – антоцианами ($r = -0,99$), TRs – АК ($r = -0,74$), TRs – АМК ($r = -0,98$), их синтез ингибируется термическим фактором ($r = -0,70$); антоцианами – общими полифенолами ($r = -0,85$), полифенолами – АМК ($r = -0,88$); синтез аминокислот ингибируется количеством осадков ($r = -0,99$).
3. Июнь – август являются периодами, характеризующимися наиболее высокими содержанием антиоксидантов в 3-листной флеша; сбор сырья в эти месяцы позволит получать продукт Премиум-класса.
4. Формы 582 и 2264 существенно превосходят контрольный сорт по содержанию флавоноидов (0,11 – 0,12 мг/г теафлавинов при 0,10 у сорта Колхиды; 1,53 мг/г теарубигинов во флешах форм 2264 при 1,49 мг/г на контроле; 239,3 – 241,7 г/100г антоцианов, у сорта Колхиды – 218,4 г/100г), общих полифенолов (17,50 мг/г у формы 582 при 16,56 мг/г во флешах сорта Колхиды), аскорбиновой кислоты (226,0 – 249,0 мг/г при 198,2 на контроле) и аминокислот (1904 мг/г во флешах формы 582, при 1871 мг/г АМК у сорта Колхиды), которые являются мощными антиоксидантами, что определяет их устойчивость к стрессорам абиотической природы. Эти формы

представляют несомненную пищевую ценность в качестве сырья для приготовления напитка с повышенным содержанием БАВ и рекомендуются для использования в селекционной работе в качестве источников хозяйственно-ценных признаков.

5. На биохимический состав готового чая оказывают влияние время сбора сырья, условия его переработки, место размещения плантации, а также, генотипические особенности метаболических реакций.
6. Более насыщен антиоксидантами готовый чай, собираемый в июле – августе; наиболее ценными с позиции пищевой значимости являются чаи, расположенные на высокогорных плантациях.
7. По содержанию основных БАВ зеленый чай коллекционных образцов превосходит черный: витамин С – 9,40-14,53 мг/г (4,84-9,75 мг/г); витамин Р – 35,58-46,15 мг/г (19,85-23,20 мг/г); общие полифенолы 158,81-275,45 мг/г; сумма аминокислот составляет 737,2-1101,1 мг/г (483,0-737,2 мг/г).
8. Готовый чай, производимый из опытных коллекционных образцов, представляет большую пищевую ценность, чем чай из сырья контрольного сорта Колхида (витамин С 4,84-9,40 мг/г; витамин Р – 19,85-35,08 мг/г; общие полифенолы – 133,76 мг/г; теарубигины – 1,03 мг/г; сумма аминокислот – 483,0-826,4 мг/г), в связи с более высоким содержанием основных биологически активных веществ (витамин С – 6,23-14,53 мг/г; витамин Р – 20,70-46,15 мг/г; общие полифенолы – 158,81-275,45 мг/г; теарубигины – 1,10-1,18 мг/г; суммарное количество аминокислот составляет 515,0-1101,1 мг/г).
9. Таким образом, содержание компонентов антиоксидантной системы, являющихся механизмами неспецифической защиты растений и источником биологически активных веществ, генетически детерминировано и реализуется в зависимости от комплекса внутренних и внешних условий (гидротермическими факторами, особенностями этапов переработки сырья).

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА

На основании полученных в исследовании результатов рекомендуем использовать 3-листную флешь, собираемую в июле – августе, для получения краснодарских элитных чаев с высоким содержанием основных антиоксидантных веществ.

Учитывая полученными нами данные по содержанию вторичных метаболитов можно рекомендовать сорт Сочи, формы 582 и 2264 в селекционной работе в качестве источников БАВ и источников хозяйственно-ценных признаков.

Учитывая стабильность и высокое содержание аскорбиновой кислоты в 3-листной флешки формы 582 и сорта Колхида рекомендуем использовать данные растения в качестве источника витамина С при приготовлении готового напитка.

Учитывая невысокую вариабельность антиоксидантов в 3-листных флешках и готовом чае формы 855, 582 и 3823 рекомендуем использовать для получения готового чая с выровненными качественными характеристиками без необходимого этапа внутреннего купажирования.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АК – аскорбиновая кислота

АМК – аминокислота

АФК – активные формы кислорода

БАВ – биологически активные вещества

НЖК – насыщенные жирные кислоты

ННЖК – ненасыщенные жирные кислоты

ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты

GPO, ГПО – гваяколпероксидаза

TFs – теафлавины

TRs – теарубигины

GA – галловая кислота

EC – эпикатехин

GC – галлокатехин

EGC – эпигаллокатехин

ECG – эпикатехин-галлат

EGCG – эпигаллокатехин-галлат

Caf – кофеин

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Абдрахимова, Й. Р. Вторичные метаболиты растений: физиологические и биохимические аспекты. Алкалоиды / Й. Р. Абдрахимова. – Казань: Каз. гос. ун-т, 2009. – 40 с.**
2. **Агрохимические методы исследования почв / отв. ред. А. В. Соколов. – М.: Наука, 1975. – 656 с.**
3. **Анисимович, И. П. Параметры антиоксидантной активности соединений: относительная антиоксидантная активность чая / И. П. Анисимович, В. И. Дейнека, Л. А. Дейнека // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2010. – № 9 (80). – Т.11. – С. 104-110**
4. **Аргунова, В. А. Принципы оптимального программирования урожая чая и получения качественной продукции при разработке экологически безопасных систем минерального питания / В. А. Аргунова, П. М. Бушин, Л. М. Малюкова // Субтропическое и декоративное садоводство. – 1994. – Т. 38. – С. 182-190**
5. **Аргунова, В. А. Урожай и качество чая сорта «Колхида» / В. А. Аргунова, З. В. Притула // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1991. – №11. – С. 47 – 50**
6. **Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 505 с.**
7. **Афониная, С. Н. Биохимия компонентов чая и особенности его биологического действия на организм (обзор) / С. Н. Афониная, Е. Н. Лебедева, Н. П. Сетко // Оренбургский медицинский вестник. – 2017. – Т. V. – № 4 (20). – С. 17 – 33.**
8. **Барабой, В. А. Катехины чайного растения: структура, активность, применение / В. А. Барабой // Биотехнология. – 2008. – Т. 1. – № 3. – С. 25-36.**
9. **Баширова, Р. М. Вещества специализированного обмена растений**

- (Классификация. Функции)** / Р. М. Баширова, И. Ю. Усманов, Н. В. Ломаченко. – Уфа: Башкирский университет, 1998. – 160 с.
10. **Белицина Г. Д. Почвоведение. Ч. 1. Почва и почвообразование** / Г. Д. Белицина, В. Д. Васильевская, Л. А. Гришина и др. – М.: Высш. шк., 1988. – 400 с. – ISBN 5-06-001159-3
11. **Белоус, О. Г. Влияние микроэлементов на растения чая и диагностика их устойчивости к стресс-факторам в условиях субтропической зоны России** / О. Г. Белоус, З. В. Притула // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2004. – Т. 39. - №2. – С. 300-310
12. **Белоус, О. Г. Влияние микроэлементов на повышение качества чая** / О. Г. Белоус // Садоводство и виноградарство. – 2006. – № 6. – С. 18 - 20
13. **Белоус, О. Г. Биологические особенности культуры чая в условиях влажных субтропиков России: автореферат дис...д.б.н.** / О. Г. Белоус. – Краснодар: КубГАУ. – 2009. – 52 с.
14. **Белоус, О. Г. Ферментативная активность листьев чая во влажных субтропиках России** / О. Г. Белоус // Субтропическое и декоративное садоводство – 2010. – вып.43. – Т.1. – С. 70- 75
15. **Белоус, О. Г. Изменение активности каталазы в листьях чая в зоне влажных субтропиков России** / О. Г. Белоус // сб. тр. межд. интернет-конференции «Растения и микроорганизмы». – Казань: КФУ. – 2011. – С. 30 - 35
16. **Белоус, О. Г. Активность каталазы в листьях чая в зоне влажных субтропиков России** / О. Г. Белоус. – Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 69 с.
17. **Белоус, О. Г. Механизмы устойчивости растений чая к стрессорам зимнего периода** / О.Г. Белоус, Н.Б. Платонова // Естественные и технические науки. – №10. – 2019. – С. 41-44. – <https://doi.org/10.25633/ETN.2019.10.19>
18. **Беседина, Т. Д. Агроэкологические требования культуры чая в субтропиках России** / Т. Д. Беседина, В. К. Козин // Сб. науч. тр.

- «Биоресурсы, биотехнологии, экологически безопасное развитие агропромышленного комплекса». – Сочи, 2007. – Вып. 40. – С. 232–248.
19. Беседина, Т. Д. Изменение агрохимических свойств бурых лесных почв и желтоземов под плантациями чая и фундука / Т. Д. Беседина // Агрохимия. – 2004. – №9. – С. 39–47.
20. Бокучава, М. А. Биохимия чая и чайного производства / М. А. Бокучава– М.: АН СССР, 1958. – 587 с.
21. Булда, О. В. Участие каротиноидов в реакции семян капусты (*Brassica oleracea* L.) на температурный стрессор / О. В. Булда, Г. Н. Алексейчук // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. – 2010. – № 4. – 23 с.
22. Бушин, П. М. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество чая сорта Колхида в условиях субтропиков России / П. М. Бушин, З. В. Притула, Л. С. Малюкова // Бюллетень ВИУА. – № 114. – 2001. – С.68-69
23. Вальков, В. Ф. Генезис почв Северного Кавказа / В. Ф. Вальков. – Ростона-Дону: Ростовский гос.университет, 1977. – 161 с.
24. Воронцов, В. Е. Биохимия чая / В. Е. Воронцов. – М.: Пищепромиздат, 1946. – 279 с.
25. Гвасалия, М. В. Потенциальные возможности продуктивности сортов чая, созданных нетрадиционными методами селекции / М. В. Гвасалия // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2011. – Т. 44. – С. 82-87
26. Гвасалия, М. В. Спонтанные и индуцированные сорта и формы чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) во влажных субтропиках России и Абхазии, перспективы их размножения и сохранения в культуре *in vitro*: диссерт...канд. биол. наук / М. В. Гвасалия. – Сочи: ФГНУ ВНИИЦиСК. – 2015. – 159 с.
27. Гельдыш, Т. Г. Продукты для повышения адаптивных возможностей организма / Т. Г. Гельдыш // Пищевая промышленность. – 2005. – № 12. – С. 58-59.

28. **ГОСТ 18478-85 «Чайная промышленность. Термины и определения».**
– М: Росстандарт, 1986. – 3 с.
29. **Гочалашвили, М. М. Биологические основы культуры чайного листа**
/ М. М. Гочалашвили. – Тбилиси: Цонда, 1983. – 238 с.
30. **Гудвин, Т. Введение в биохимию растений** / Т. Гудвин, Э. Мерсер. – М.: Мир, 1986. – 312 с.
31. **Джемухадзе, К. М. Физиология чая.** В кн.: Физиология сельскохозяйственных растений / К. М. Джемухадзе. – М.: МГУ ТЕХ, 1970. – С. 450- 616.
32. **Джинджолия, Р. Р. Комплексная переработка чайного листа** / Р. Р. Джинджолия, Т. О. Ревишвили. – М.: ВО Агропромиздат. – 1989. – 116 с.
33. **Донченко, Г. В. Биологическая роль антиоксидантов** / Г. В. Донченко, И. В. Кузьменко, В. Н. Коваленко. // Биохимия. – 1983. – Т.48. – № 6. – С. 998-1005.
34. **Егоров, В. В. Классификация и диагностика почв СССР** / В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова, Н. Н. Розов. – М: Колос, 1977. – 221 с.
35. **Ермаков, А. И. Методы биохимического исследования растений** / А. И. Ермаков, В. В. Арасенович и др. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
36. **Запрометов, М. Н. О механизме биосинтеза катехинов** / М. Н. Запрометов // Биохимия. – 1962. – Т. 27. – № 5. – С. 366.
37. **Запрометов, М. Н. Биохимия катехинов** / М. Н. Запрометов. – М.: Наука, 1964. – 254 с.
38. **Запрометов, М. Н. Основы биохимии фенольных соединений** / М. Н. Запрометов. – Москва: Высш. шк., 1974. – 214 с.
39. **Запрометов, М. Н. Образование фенольных соединений и процесс дифференциации в каллусной культуре чайного растения** / М. Н. Запрометов, Н. В. Загоскина, В. Ю. Стрекова, Г. А. Морозова // Физиология растений. – 1979. – Т. 26. – С. 485.
40. **Запрометов, М. Н., Николаева Т.Н. Активность и субстратная специфичность О-метилтрансферазы чайного растения и полученных**

- из него каллусных тканей / М. Н. Запрометов, Т. Н. Николаева // Физиология растений. – 1990. – Т. 37. – С. 378.
41. Запрометов, М. Н. Специализированные функции фенольных соединений в растениях / М. Н. Запрометов // Физиология растений. – 1993. – Т. 40. – № 6. – С. 921-931.
42. Запрометов, М. Н. Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях / М. Н. Запрометов. – М.: Наука. – 1993. – 119 с.
43. Запрометов, М. Н. Фенольные соединения и их роль в жизни растения / М. Н. Запрометов. – М.: Наука, 1996. – 43 с. – ISBN 5-02-004519-5
44. Зенков, К. Н. Фенольные антиоксиданты / К. Н. Зенков, Н. В. Кандалинцева, В. Э. Ланкин, Е. Б. Меньшикова, А. Е. Просенко. – Новосибирск: Сиб.отд-ние РАМН, 2003. – 328 с.
45. Карпук, В. В. Фармакогнозия / В. В. Карпук. – Минск: БГУ, 2011. – С. 272 - 287.
46. Карцова, Л. А. Определение полифенольных антиоксидантов в образцах зеленого чая. Характеристические хроматографические профили / Л. А. Карцова, В. А. Деев, Е. А. Бессонова, О. Г. Белоус, Н. Б. Платонова // Аналитика и контроль. – 2019. – Т. 23. – № 3. – С. 377-385. – <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.3.010>
47. Качерик, П. Исследование состава полифенолов с выжимки темных сортов винограда – «Melavinin®» как перспективное сырье для фармации и косметологии / П. Качерик, Е. В. Кузнецова // Вісник фармації. – 2012. – № 3(71). – С. 8-12
48. Киселёва, Н. С. Использование новых методов с целью создания исходного материала для селекции чая в Краснодарском крае: автореферат дис. ... канд. биол. наук / Н. С. Киселёва. – Краснодар, 2000. – 24 с.
49. Козин, В. К. Оценка почвенно-экологических условий садовых ценозов субтропиков России / В.К. Козин. – Краснодар, 2005. – 135 с.

50. Колупаев, Ю. Е. **Антиоксидантная система растений: участие в клеточной сигнализации и адаптации к действию стрессоров** / Ю. Е. Колупаев, Ю. В. Карпец, А. И. Обозный // Вісник Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2011. – Вип. 1 (22). – С. 6-34.
51. Корзун, Б. В. **О формировании местного сортимента чая в условиях предгорий республики Адыгея** / Б. В. Корзун, Л. В. Вавилова // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2010. – Т. 43. – №1. – С. 13-18
52. Кравченко, Л. В. **Влияние экстракта зеленого чая и его компонентов на антиоксидантный статус и активность ферментов метаболизма ксенобиотиков у крыс** / Л. В. Кравченко // Вопросы питания – 2011. – № 2. – С. 9-15.
53. Кретович, В. Л. **Биохимия растений** / В. Л. Кретович. – М.: Высшая школа, 1980. – 445 с.
54. Кузнецов, В. В. **Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция** / В. В. Кузнецов, Н. И. Шевякова // Физиология растений. – 1999. – № 46. – С. 321-336.
55. Куркин, В. А. **Фармакогнозия** / В. А. Куркин. – Самара: СамГМУ, 2007. – 1239 с.
56. Лапин, А. А. **К вопросу определения антиоксидантного статуса растений** / А. А. Лапин, В. Н. Зеленков // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: сборник научных трудов. – М.: РАЕН. – 2007. – Вып. 14. – С. 43-52.
57. Литвиненко, А. А. **Природные флавоноиды** / А. А. Литвиненко. – Харьков: ГНЦЛС, 1995. – 56 с.
58. Ловкова, М. Я. **Биосинтез и метаболизм алкалоидов в растениях** / М. Я. Ловкова. – М.: Наука, 1981. – 171 с.
59. Мамедова, М. Г. **Роль пролина в резистентности растений к стрессорам** / М. Г. Мамедова // АМЕА-nın Xəbərləri (biologiya və tibb elmləri). – 2015. – Вып. 70. – №3. – С. 73-77.

60. Маслов, Л. Н. О перспективах применения флавоноидов для профилактики атеросклероза и атеротромбоза / Л. Н. Маслов // Клиническая фармакология и терапия. – 2007. – Т. 16, № 3. – С. 60-67.
61. Мацкевич, В. С., Роль калиевых каналов и НАДФН-оксидаз в регуляции стресс-индуцируемой запрограммированной клеточной гибели в корне высших растений / В. С. Мацкевич, В. В. Самохина, А. А. Чичко, С. Н. Звонарев, Ю. В. Кирисюк, А. И. Соколик, В. В. Демидчик // В сб: Сигнальные системы растений: от рецептора до ответной реакции организма. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2016. – С. 216-217.
62. Мгалоблишвили, Е. К. Чай и медицина / Е. К. Мгалоблишвили, А. Я. Ццунава. – Батуми: Сабчота Аджара, 1975. – 86 с.
63. Меладзе, М. Влияние внешних факторов на химический состав селекционных сортов чая / М. Меладзе // Аграрная наука. – 2004. – С. 19-20.
64. Мелкадзе, Р. Г. Липофильный комплекс чайного листа / Р. Г. Мелкадзе, В. Г. Хведелидзе // Химия растительного сырья. – 2008. – № 4. – С. 133-135.
65. Методические указания по технологии возделывания чая в субтропической зоне Краснодарского края / под ред. к.с.-х.н. Т. П. Алексеевой – Сочи, 1977. – 80 с.
66. Мосияш, А. С. Агроклиматическая характеристика субтропических районов Краснодарского края / А. С. Мосияш // Докл. Сочинского отдела геогр. о-ва СССР. – Л., 1971. – Вып. 2. – С. 80– 94.
67. Носов, А. М. Вторичный метаболизм. В кн.: Физиология растений / А. М. Носов – М.: Академия, 2005. – 640 с
68. Писарев, Д. И. Химическое изучение биологически активных полифенолов некоторых сортов рябины обыкновенной *Sorbus aucuparia* / Д. И. Писарев, О. О. Новиков, В. Н. Сорокопудов, М. А. Халикова, Е. Т. Жиликова, О. В. Огнева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. – 2010 – № 22 (93). – С. 123 - 130.

69. **Платонова, Н. Б. Сравнительный анализ биохимических компонентов чая** / Н. Б. Платонова, О. Г. Белоус, М. Остадалова // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2017. – вып. 61. – С. 180 – 189.
70. **Платонова, Н. Б. Динамика активности фермента пероксидазы как элемента антиоксидантной защиты чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze)** / Н. Б. Платонова, О. Г. Белоус // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2019. – Вып. 68. – С. 197-201.
71. **Платонова, Н. Б. Активность пероксидазы в листьях чая под влиянием ряда факторов** / Н. Б. Платонова, А. А. Платонов, О. Г. Белоус // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – Т. 73. – С. 149-155. – <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2020-73-149-154>
72. **Платонова, Н. Б. Влияние гидротермических условий на содержание флавоноидов в листьях чая** / Н.Б. Платонова, О.Г. Белоус // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – Вып. 72. – С. 116 – 123 – <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2020-72-116-123>
73. **Платонова, Н. Б. Влияние онтогенетических и климатических факторов на содержание кофеина в чае** / Н. Б. Платонова, В. Н. Бехтерев, О. Г. Белоус // Вестник ВГУ. Серия: Биология. Химия. Медицина. – 2020. – № 4. – С. 28-34
74. **Платонова, Н. Б. Вторичные метаболиты листьев чая и их участие в защите от экологических стрессоров** / Н. Б. Платонова, О. Г. Белоус // Садоводство и виноградарство. – 2020. – №4. – С.12-17. – <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2020-4-12-17>
75. **Платонова, Н. Б. Закономерности варьирования некоторых антиоксидантов в чае, произрастающем во влажных субтропиках России** / Н. Б. Платонова, К. В. Клемешова, А. А. Платонов, О. Г. Белоус // Плодоводство и ягодоводство России. – 2020. – Т. 63. – №1. – С. 103-109. – <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-63-103-109>
76. **Платонова, Н. Б. Общее содержание антоцианов в 3-листных флешах и изменение** / Н. Б. Платонова, О. Г. Белоус // Субтропическое и

- декоративное садоводство. – 2020. – Т. 75. – С. 74-81. – <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2020-75-74-67>
77. **Платонова, Н. Б. Роль отдельных компонентов антиоксидантной системы чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) в адаптации к стрессорам абиотической природы / Н. Б. Платонова // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2021. – Т. 77. – С. 131-141. – <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-77-131-141>**
78. **Племенков, В. В. Химия изопреноидов / В. В. Племенков. – Барнаул: Изд-во ун-та, 2007. – 322 с.**
79. **Плешков, Б. П. Практикум по биохимии растений / Б. П. Плешков. – М.: Агропромиздат, 1985. – 255 с.**
80. **Полесская, О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода / О. Г. Полесская. – М.: КДУ, 2007. – 137 с.**
81. **Потапович, А. И. Сравнительное исследование антиоксидантных цитопротекторной активности флавоноидов // А. И. Потапович, В. А. Костюк / Биохимия. – 2003. - Т. 68. – № 5. – С. 632-638.**
82. **Починок, Х. Н. Методы биохимического анализа растений / Х. Н. Починков. - Киев: Наукова думка, 1976. – 334 с.**
83. **Практикум по агрохимии / под ред. акад. РАСХН В. Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с**
84. **Практикум по физиологии растений / под ред. И. И. Гунара. – М.: Колос, 1976. – 310 с.**
85. **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 // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2009. – Т. 42. – №2. – С. 86-103**
86. **Притула, З. В. Влияние мезоудобрений (Са, Mg) на содержание кофеина в чайном растении в условиях влажных субтропиков России / З. В. Притула, В. Н. Бехтерев, Л. С. Малюкова // Субтропическое и**

- декоративное садоводство. – 2015. – Т. 54. – С. 185-192
87. **Прокопенко, И. А. Зависимость урожайности и качества чайной продукции от способов сбора листа и площади листосборной поверхности / И. А. Прокопенко, М. Т. Туов // Субтропическое и декоративное садоводство. – 1994. – Т. 38. – С. 161-173**
88. **Прокопенко, И. А. Оценка сроков проведения полутяжелой омолаживающей подрезки чайных плантаций / И. А. Прокопенко, З. В. Притула // Субтропическое и декоративное садоводство. – 1989. – Т. 36. – С. 37-45**
89. **Пруидзе, В. Н. Окислительно-восстановительные ферменты чайного растения и их роль в биотехнологии / В. Н. Пруидзе. - Тбилиси: Мецниереба, 1987. – 186 с.**
90. **Пшеничная, Т. В. Селекция чая в условиях Гойтха и её особенности / Т. В. Пшеничная, М. Т. Туов // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2010. – Т.43. – №1. – С. 18-20**
91. **Пятыгин, С. С. Стресс у растений: физиологический подход / С. С. Пятыгин // Журнал общей биологии. – 2008. – Т. 69. – № 4. – С. 294–298**
92. **Радюкина, Н. Л. Экзогенный пролин модифицирует экспрессию генов при UVB облучении / Н. Л. Радюкина, А. В. Шашукова, С. С. Макарова, В. В. Кузнецов // Физиология растений. – 2011. – Т. 58. – С. 49-57.**
93. **Радюкина, Н. Л. Функционирование компонентов антиоксидантной системы дикорастущих видов растений при кратковременном действии стрессоров: автореферат дис...докт. биол. наук / Н. Л. Радюкина – Москва.: ИФР, 2015. – 49 с.**
94. **Рогинский, В. А. Фенольные антиоксиданты: реакционная способность и эффективность / В. А. Рогинский. – М.: Наука, 1988. – 247 с.**
95. **Рогожин, В. В. Биохимия растений / В. В. Рогожин. – СПб.: Гиорд, 2012. – 427 с.**
96. **Розанов, Б. Г. Почвенный покров земного шара / Б. Г. Розанов. – М.:**

Изд-во МГУ, 1977. – 248 с.

97. **Романова, Н. Г. Биологическая и биохимическая оценка различных видов лекарственного растительного сырья для создания функциональных напитков:** дис...канд. с.-х. наук / Н. Г. Романова. – М.: МСХА, 2008. – 125 с.
98. **Рындин, А. В. Физиологические особенности растений чая в различных почвенно-климатических условиях** / А. В. Рындин, О. Г. Белоус // Вестник РАСХН. – 2008. – №3. – С. 49-51
99. **Сапиев, А. М. Перспективные направления технологий производства субтропических культур в России:** автореферат дис...канд. с.-х. наук / А. М. Сапиев. – Краснодар: КуГАУ, 1996. – 25 с.
100. **Селянинов, Г. Т. Перспективы субтропического хозяйства СССР в связи с природными условиями** / Г.Т. Селянинов. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 195 с.
101. **Тараховский, Ю. С. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина** / Ю. С. Тараховский, Ю. А. Ким, Б. С. Абдрасилов, Е. Н. Музафаров. – Пушкино: Synchrobook, 2013. – 310 с. – ISBN 978-5-91874-043-9
102. **Тахмазян, Н. А. Перспективы производства высококачественного черного байхового чая в России** / Н. А. Тахмазян, В. А. Молчанова, З. В. Притула, В. Г. Пилипенко // Субтропическое и декоративное садоводство. – 1994. – Т. 38. – С. 173-181
103. **Тодоров, И. Н. Стресс, старение и их биохимическая коррекция** / И. Н. Тодоров, Г. И. Тодоров. – Москва: Наука, 2003. – 479 с.
104. **Троянская, А. И. Морфология, экология и урожайность селекционных сортов чая в субтропиках России** / А. И. Троянская, З. В. Притула, И. А. Прокопенко // Научн. тр. ВНИИЦиСК. – 1982. – вып.29. – С. 13 - 27
105. **Туов, М. Т. Пути повышения производства и качества Краснодарского чая** / М. Т. Туов, З. В. Притула // Субтропические культуры. – 1983. – №4. – С. 19-22.

106. **Туов, М. Т. Новые перспективные клоны чая в субтропиках России /** М. Т. Туов, И. А. Прокопенко // Субтропическое и декоративное садоводство. – 1994. – Т. 38. – С. 153-160
107. **Федеральный закон от 2 января 2000 г. N 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов»** (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/12117866/> (дата обращения 12.05.2020 г.)
108. **Хведелидзе, В. Г. Новые аспекты биохимии и фармакологии чая /** В. Г. Хведелидзе, Т. Н. Гвинианидзе // Пиво и напитки. – 2004. – № 5. – С. 56 – 57
109. **Хелдт, Г. В. Биохимия растений /** Г. В. Хелдт. – М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2011. – 471 с.
110. **Холодова, В. П. Адаптация к высоким концентрациям солей меди и цинка растений хрустальной травки и возможность их использования в целях фиторемедиации /** В. П. Холодова, К. С. Волков, В. В. Кузнецов // Физиология растений. – 2005. – Т. 52. – С. 848-858.
111. **Хочолава, И. А. Технология чая /** И. А. Хочолава. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 303 с.
112. **Чупахина, Г. Н. Система аскорбиновой кислоты растений: монография /** Г. Н. Чупахина – Калининград: Калинингр. ун-т., 1997. – 120 с. – ISBN 5-88874-063-2.
113. **Чхаидзе, Г. И. Чаеводство /** Г. И. Чхаидзе, А. Д. Микеладзе. - М.: Агропромиздат, 1991. – 206 с.
114. **Шевякова, Н. И. Влияние АБК на содержание пролина, полиаминов и цитокининов в растениях хрустальной травки при солевом стрессе /** Н. И. Шевякова, Л. И. Мусатенко, Л. А. Стеценко // Физиология растений. – 2013. – № 60(6). – С. 784. – <http://dx.doi.org/10.7868/S0015330313060122>
115. **Шлык, А. А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев. В кн.: Биохимические методы в физиологии растений /** А. А. Шлык. – М.: Наука, 1971. – С. 154 – 170.

116. **Яшин, Я. И. Хроматография чая** / Я. И. Яшин, А. Я. Яшин, Н. И. Черноусова // Наука и жизнь. – 2005. – №3. – С. 50-53.
117. **Яшин, Я. И. Чай. Химический состав чая и его влияние на здоровье человека** / Я. И. Яшин, А. Я. Яшин. – М.: Транс Лит, 2010. – 159 с.
118. **Abogadallah, G. M. Antioxidative defense under salt stress** / G. M. Abogadallah // Plant Signaling and Behavior. – 2010. – Vol.5. – pp. 369-374.
119. **Ahmad, I. Exogenous application of ascorbic acid, salicylic acid and hydrogen peroxide improves the productivity of hybrid maize at low temperature stress** / I. Ahmad, Sh. Maqsood, A. Basra, A. Wahid, A. Wahid // International Journal of Agriculture and Biology. – 2015. – Vol.16(4). – pp.1560-8530
120. **Ahmad, R. S. Preventive role of green tea catechins from obesity and related disorders especially hypercholesterolemia and hyperglycemia** / Ahmad et al. // Journal of Translational Medicine. – 2015. – Vol.13. – pp. 79 – DOI 10.1186/s12967-015-0436-x.
121. **Akram, N. A. Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance** / N. A. Akram, F. Shafiq, M. Ashraf // Front. Plant Sci. – 2017. – Vol. 8. – pp. 613.
122. **Amit, K.S. Synthesis of PLGA nanoparticles of tea polyphenols and their strong in vivo protective effect against chemically induced DNA damage** / K.S. Amit, B. Priyanka, S. Madhulika, M. Sanjay, K. Pradeep, S. Yogeshwer, C. G. Kailash // International Journal of Nanomedicine. – 2013. – Vol.8. – pp. 1451–1462.
123. **AOAC International. Quality assurance check list for small laboratories.** – 2009. – Vol.16(11). – p. 13.
124. **Apranta, D. Tea and cardiovascular disease** / D. Apranta, A.V. Joseph // Pharmacological Research. – 2011. – Vol. 64. – pp. 136– 145.
125. **Ashihara, H. Metabolism of caffeine and related purine alkaloids in leaves of tea (*Camellia sinensis* L.)** / H. Ashihara, F. M. Gillies, A. Crozier // Plant Cell Physiol. – 1997. – Vol.38(4). – pp. 413-419

126. **Ashihara, H. Caffeine and related purine alkaloids: Biosynthesis, catabolism, function and genetic engineering** / H. Ashihara, H. Sano, A. Crozier // *Phytochemistry*. – 2008. – Vol. 69. – pp. 841–856.
127. **Astill, C. Factors affecting the caffeine and polyphenol contents of black and green tea infusions** / C. Astill, R. M. Birch, C. Dacombe, G. P. Humphrey, T. P. Martin // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2001. – Vol.49(11). – pp. 5040-5047
128. **Atkin, O. K. The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance** / O. K. Atkin, D. Macherel // *Annals of Botany*. – 2009. – Vol. 103(4). – pp. 581-597.
129. **Balentine, D. A. The chemistry of tea flavonoids** / D. A. Balentine, S. A. Wiseman, L. C. M. Bouwens // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 1997. – Vol. 37(8). – pp. 693-704.
130. **Baxter, A. ROS as key players in plant stress signaling** / A. Baxter, R. Mittler, N. Suzuki // *Journal of experimental botany*. – 2014. – Vol. 65. – pp. 1229-1240.
131. **Bazan, N. G. Cellular and molecular events mediated by docosahexaenoic acid-derived neuroprotection D1 signaling in photoreceptor cell survival and brain protection** / N. G. Bazan // *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. – 2009. – Vol. 81. – pp. 205-211.
132. **Belous, O. G. Amino acids structure of tea in subtropics of Russia** / O. G. Belous // *Nauka i studia*. – 2012. – №10 (55). – pp.10 – 15
133. **Belous, O. G. Biochemical parameters of tea in the subtropics of Russia** / O. G. Belous // *Sbornic prednasek a posteru: The conference «Food Hygiene and Technology»*, University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences, Brno. – 2012 – pp.57 – 61
134. **Belous, O. Influence of altitude tea plantations above sea level on the chemical composition of tea** / O. Belous, N. Platonova // *Sciences of Europe*. – 2017 – Vol. 1. – No 22 (22). – PP. 3-6.
135. **Belous, O. Physiological foundations of sustainability *Camellia sinensis***

- (L.) O. Kuntze and *Corylus pontica* C. Koch. in the conditions of humid subtropics of Russia** / O. Belous, N. Platonova // American Journal of Plant Sciences. – Vol.09 – No.09. – 2018. – p. 1771-1780. – <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.99129>
136. **Belous, O. Content of antioxidants in tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) grown in the subtropics of Russia** / O. Belous, N. Platonova // Book of Abstracts of the 13th International Scientific Conference «Biotechnology and Quality of Raw Materials and Foodstuffs». – Nitra, Slovak Republic. – 2018. – p. 24
137. **Belous, O. Tannin-and-catechin tea complex of new selection forms grown in humid subtropics of Russia** / O. Belous, N. Platonova // Annual Congress on Plant Science & Biosecurity (ACPB-2019), London, UK. – 2019 – P. 51
138. **Belous, O. Content of vitamins C and Ruthin in Krasnodar tea** / O. Belous, N. Platonova // Green Reports. – 2020. – T. 1. – №2. – p. 1-4. – <https://doi.org/10.36686/Ariviyal.GR.2020.01.02.007>
139. **Belous, O. Biologically active substances of *Camellia sinensis* in a humid subtropical climate of Russia** / O. Belous, N. Platonova // Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences. – vol. 15. – 2021. – p. 360-368. – <https://doi.org/10.5219/1440>
140. **Bodewes, Th. C. F. Antioxidative properties of flavonoids** / Th. C. F. Bodewes, J. Luttikhoud, M. F. M. van Stijn, M. Visser, K. van Norren, M. A. R. Vermeulen, P. A. M. van Leeuwen. // Current Organic Chemistry. – 2011. – Vol.15(15). – pp. 72-82
141. **Bohn, S. K. Effects of tea and coffee on cardiovascular disease risk** / S.K. Bohn, N.C Ward, J.M Hodgson, K.D. Croft // Food Funct. – 2012. – Vol. 3. – P. 575.
142. **Bradford, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding** / M.M. Bradford // Analytical biochemistry. – 1976. – Vol. 72. – pp. 248-254.
143. **Bravo, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance** / L. Bravo // Nutrition reviews. – 1998. – Vol. 56. – pp.

317-333.

144. **Chatterjee, S. L-Theanine: A prospective natural medicine** / S. Chatterjee, S. K. Bandyopadhyay // Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res. – 2016. – Vol.41(2). – pp. 95-103.
145. **Cheyrier, V. Polyphenols in foods are more complex than often thought** / V. Cheyrier // Am. J. Clin. Nutr. – 2005. – Vol.81. – pp. 223-229.
146. **Chiu, F. L. HPLC analysis of naturally occurring methylated catechins, 3- and 4-methyl-epigallocatechin gallate, in various fresh tea leaves and commercial teas and their potent inhibitory effects on inducible nitric oxide synthase in macrophages** / F. L. Chiu, J. K. Lin // J Agric Food Chem. – 2005. – Vol.53. – pp. 7035–42.
147. **Christiane, J. D. A review of latest research findings on the health promotion properties of tea** / J. D. Christiane, R. F. Edward // Journal of Nutritional Biochemistry. – 2001. – Vol. 12. – pp. 404–421.
148. **Chung, S. Y. Effects of tea consumption on nutrition and health** / S. Y. Chung, M. L. Janelle // J. Nutr. – 2000. – Vol. 130. – pp. 2409–2412.
149. **Collin, H. Secondary product formation in plant tissue cultures** / H. Collin // Plant Growth Regulation. – 2001. – Vol.34. – pp. 119–134
150. **Dai, Z. W. Long-term in vitro culture of grape berries and its application to assess the effects of sugar supply on anthocyanin accumulation** / Z. W. Dai, M. Meddar, C. Renaud, I. Merlin, G. Hibert, S. Delrot, E. Gomes // Journal of Experimental Botany. – 2014. – Vol. 65. – No. 16. – pp. 4665–4677. – doi:10.1093/jxb/ert489
151. **Dalluge, J. J. Determination of tea catechins** / J. J. Dalluge, B. C. Nelson // J Chromatograph A. – 2000. – Vol.881. – pp. 411–24.
152. **de O, A. Inhibition of herpes simplex virus type 1 with the modified green tea polyphenol palmitoyl-epigallocatechingallate** / A. de O et al. // Food and Chemical Toxicology. – 2013. – Vol. 52. – pp. 207–215.
153. **Del Rio, D. HPLC-msn analysis of phenolic compounds and purine alkaloids in green and black tea** / D. Del Rio, et al. // J Agric Food Chem. –

2004. – Vol. 52. – pp. 2807–15.
154. **Durazzo, A. Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health** / A. Durazzo, M. Lucarini, E. B. Souto, C. Cicala, E. Caiazzo, A. A. Izzo, A. Santini // *Phytotherapy Research*. – 2019. – Vol. 33. – pp. 2221-2243.
 155. **Edge, R. Singlet oxygen and free radical reactions of retinoids and carotenoids – a review** / R. Edge, T. G. Truscott // *Antioxidants*. – 2018. – Vol.7. – pp. 1-16
 156. **Finger, A. In vitro studies on the effect of polyphenol oxidase and peroxidase in the formation of black tea constituents** / A. Finger // *J Sci Food Agric*. – 1994. – Vol.66. – pp. 293–305.
 157. **Foyer, C. H. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling** / C. H. Foyer, G. Noctor // *New Phytology*. – 2000. – Vol. 146. – pp. 359-388.
 158. **Fui-Seung, Ch. Tea polyphenols and alkaloids content using soxhlet and direct extraction methods** / Ch. Fui-Seung, Ch. Khim-Phin, M. Atong, K. W. Nyet // *World Journal of Agricultural Sciences*. – 2013. – Vol. 9(3). – pp. 266-270
 159. **Gechev, T. S. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death** / T. S. Gechev, F. Van Breusegem, J. M. Stone, I. Denev, Ch. Laloi // *BioEssays*. – Vol. 28. – pp. 1091–1101.
 160. **Graham, H. N. Green tea composition, consumption, and polyphenol chemistry** / H. N. Graham // *Prev. Med.* – 1992. – Vol.21. – № 3. – pp.334-350.
 161. **Gramza, A. Tea extracts as free radical scavengers** / A. Gramza, K. Pawlak-Lemanska, J. Korczak, E. Wasowicz, M. Rudzinska // *Polish J. Environ. Studies*. – 2005. – Vol. 14. – pp. 861-867.
 162. **Grove, K. A. Laboratory, epidemiological, and human intervention studies show that tea (*Camellia sinensis*) may be useful in the prevention of obesity** / K. A. Grove, J. D. Lambert // *J Nutr*. – 2010. – Vol.140. – pp. 446–53.
 163. **Guang-Jian, D. Epigallocatechin gallate (EGCG) is the most effective**

- cancer chemopreventive polyphenol in green tea** / D. Guang-Jian // *Nutrients*. – 2012. – Vol. 4. – pp. 1679-1691
164. **Guillarme, D. High throughput qualitative analysis of polyphenols in tea samples by ultra-high pressure liquid chromatography coupled to UV and mass spectrometry detectors** / D. Guillarme, C. Casetta, C. Bicchi, J. L. Veuthe. // *J Chromatogr A*. – 2010. – Vol.1217. – pp. 6882–90.
165. **Han, L.-K. Anti-obesity effects in rodents of dietary tea saponin, a lipase inhibitor** / L.-K. Han // *Int journal of Obesity*. – 2001. – Vol.25. - pp.1459-1464.
166. **Harbowy, M. E. Tea chemistry** / M. E. Harbowy, D. A. Balentine // *Crit Rev Plant Sci*. – 1997. – Vol.16. – pp. 415–80.
167. **Hashimoto, F. N. Tannins and related compounds LXIX. Isolation and structure elucidation of b,b-linked bioflavonoids, tea sinensins d-g- and oolong-theanine from oolong tea** / F. N. Hashimoto, G. I. Nishioka // *Chem Pharm Bull*. – 1988. – Vol. 36. – pp. 1676–84.
168. **Haslam, E. Thoughts on thearubigins** / E. Haslam // *Phytochemistry*. – 2003. – Vol. 64. – pp. 61–73.
169. **Higdon, J. V. Tea catechins and polyphenols: health effects, metabolism, and antioxidant functions** / J. V. Higdon, B. Frei // *Crit Rev Food Sci Nutr*. – 2003. – Vol.43. – pp. 89–143.
170. **Ho, Y. Determination of (+)-catechin in plasma by high-performance liquid chromatography using fluorescence detection** / Y. Ho, Y. L. Lee, K. Y. Hsu // *J Chromatogram B Biomed Appl*. – 1995. – Vol.66. – pp. 383–389.
171. **Hodgson, J. M. Tea flavonoids and cardiovascular disease** / J. M. Hodgson // *Asia Pac J Clin Nutr*. – 2008. – Vol.17(S1). – pp. 288-290.
172. **Hu, B. Efficient procedure for isolating methylated catechins from green tea and effective simultaneous analysis of ten catechins, three purine alkaloids, and gallic acid in tea by high-performance liquid chromatography with diode array detection** / B. Hu, L. Wang, B. Zhou, X. Zhang, Y. Sun, H. Ye, et al. // *J ChromatogrA* 2009;1216: 3223–31.
173. **Ikeda, H. Mechanism of interaction between risperidone and tea catechin**

- in fluence of presence of galloyl group in catechin on insoluble complex formation with risperidone** / H. Ikeda, H. Moriwaki, T. Matsubara, M. Yukawa, Y. Iwase, E. Yukawa // *Yakugaku Zasshi*. – 2012. – Vol. 132(1). – pp.145-53.
174. **Jain, A. Tea and human health: The dark shadows** / A. Jain, C. Manghani, S. Kohli, D. Nigam, V. Rani // *Toxicology Letters*. – 2013. – Vol.220(1). – pp. 82–87.
175. **Jian-Min, Y. Tea and cancer prevention: Epidemiological studies** / Y. Jian-Min, S. Canlan, M.B. Lesley // *Pharmacological Research*. – 2011. – Vol. 64. – pp. 123-135.
176. **Karori, S. M. Antioxidant capacity of different types of tea products** / S. M. Karori, F. N. Wachira, J. K. Wanyoko, R. M. Ngure // *Afr J Biotech*. – 2007. – Vol.19. – pp. 2287-2296.
177. **Kenji, Miura. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by tea extract** / Miura Kenji, Tada Yasuomi // *Frontiers in Plant Science. Physiology*. – 2014. – Vol. 5(4). – pp. 4. – DOI: 10.3389/fpls.2014.00004
178. **Khokhar, S. Total phenol, catechin, and caffeine contents of teas commonly consumed in the United Kingdom** / S. Khokhar, S. G Magnusdottir. // *J Agric Food Chem*. – 2002. – Vol.50. – pp. 565–70.
179. **Konnov, N. A. Comparative analysis of Ruthin content in tea of different climatic zones** / N.A. Konnov, N.B. Platonova, O.G. Belous // *Current achievements and trends in ornamental and medicinal plants research. jubilee scientific conference 9 may 2019 devoted to the 40th anniversary of the institute of ornamental and medic-inal plants (Sofia, Bulgaria)*. – 2019. – P. 33
180. **Kossel, A. Uber die chemische Zusammensetzung der Zelle. Bois-Reymond's Arch** / A. Kossel // *Arch Anat Physiol Physiol*. – 1891.– Vol. 8. – pp. 181–186.
181. **Kuhnert, N. Mass spectrometric characterization of black tea thearubigins leading to an oxidative cascade hypothesis for thearubigin formation** / N. Kuhnert, J. W. Drynan, J. Obuchowicz, M. N. Clifford, M. Witt // *Rapid Commun Mass Spectrom*. – 2010. – Vol.24. – pp. 3387–404.

182. **Kumar, N. Green tea polyphenols in the prevention of colon cancer** / N. Kumar, D. Shibata, J. Helm, D. Coppola, M. Malafa // *Front. Biosci.* – 2007. – Vol.12. – pp. 2309–2315.
183. **Kuznetsov, VI. V. Polyamines and stress tolerance of plants** / VI. V. Kuznetsov, N. I. Shevyakova // *Plant Stress.* – 2007. – Vol.1. – pp. 50-71.
184. **Legeay, S. Epigallocatechin gallate: a review of its beneficial properties to prevent metabolic syndrome** / S. Legeay // *Nutrients.* – 2015. – Vol.7. – pp. 5443-5468
185. **Leong, L. K. Theaflavins in black tea and catechins in green tea are equally effective antioxidants** / L. K. Leong, Y. Su, R. Chen, Z. Zhang, Y. Huang, Z.-Y. Chen // *J. Nutr.* –2001. – Vol. 131. – pp. 2248-2251.
186. **Li, Y. Reaction of the black tea pigment theaflavin during enzymatic oxidation of tea catechins** / Y. Li, A. Shibahara, Y. Matsuo, T. Tanaka, I. Kouno // *J. Nat. Prod.* – 2010. – Vol.73. – № 1. – pp. 33-39.
187. **Lin, L. Z. New phenolic components and chromatographic profiles of green and fermented teas** / L. Z. Lin, P. Chen, J. M. Harnly // *J Agric Food Chem.* – 2008. – Vol.56. – pp. 8130–8140.
188. **Mahanta, P. K. Changes of polyphenol oxidase and peroxidase activities and pigment composition of some manufactured black teas (*Camellia sinensis* L.)** / P. K. Mahanta, S. K. Boruah, H. K. Boruah, J. N. Kalita // *J Agric Food Chem.* – 1993. – Vol.41. – pp. 272-276.
189. **Mak, J. C. Potential role of green tea catechins in various disease therapies: Progress and promise** / J. C. Mak // *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* – 2012. – Vol. 39. – pp. 265-273.
190. **Mancini, E. Green tea effects on cognition, mood and human brain function: A systematic review** / E. Mancini // *Phytomedicine.* –2017. – 34. – P. 26-37.
191. **Maulana, T. Tea leaves extracted as anti-malaria based on molecular docking PLANTS** / T. Maulana, P. Hari // *Procedia Environmental Sciences.* – 2013. – Vol.17. – pp. 188 – 194.

192. **Menet, M. C. Analysis of theaflavins and thearubigins from black tea extract by maldi-tof mass spectrometry** / M. C. Menet, S. Sang, C. S. Yang, C. T. Ho, R. T. Rosen // *J Agric Food Chem.* – 2004. – Vol.52. – pp. 2455–61.
193. **Mu, W. An overview of biological production of L-theanine** / W. Mu // *Biotechnology Advances.* – 2015. – Vol. 33. – pp. 335–34270.
194. **Munns, R. Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley** / R. Munns, H. M. Rawson // *Aust. J. Plant Phisiol.* – 2009. – Vol.26. – P. 459.
195. **Nakagawa, K. Chemiluminescence-high-performance liquid chromatographic determination of tea catechin (–)-epigallocatechin 3-gallate, at picomole levels in rat and human plasma** / K. Nakagawa, T. Miyazawa // *Anal Biochem.* – 1997. – Vol.248. – pp. 41-49.
196. **Neilson, A. P. High-throughput analysis of catechins and theaflavins by high performance liquid chromatography with diode array detection** / A. P. Neilson, R. J. Green, K. V. Wood, M. G. Ferruzzi // *J Chromatogr A.* – 2006. – Vol.1132. – pp. 132–40.
197. **Ollila, F. Characterization of flavonoid–biomembrane interactions** / F. Ollila, K. Halling, P. Vuorela, H. Vuorela, J. P. Slotte // *Archives of Biochemistry and Biophysics.* – 2002. – Vol. 399. – No. 1. – pp. 103-108.
198. **Peterson, J. Major flavonoids in dry tea** / J. Peterson, J. Dwyera, S. Bhagwat, D. Haytowitz, J. Holden, A. L. Eldridge, G. Beecherd, J. Aladesanmi // *Journal of Food Composition and Analysis.* – 2005. – Vol. 18. – pp. 487–501.
199. **Platonova, N. Changes in the biochemical composition of tea in the recycling process** / N. Platonova, O. Belous // *Sbornik prednasek a posteru. Conference “Food Hygiene and Technology”.* – Brno – 2019. – P. 41-46.
200. **Platonova, N. The composition and content of phenolic compounds in tea, grown in humid subtropics of Russia** / N. Platonova, A. Astanin, S. Sedykh, L. Samarina, O. Belous // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.* – vol. 13. – 2019. – no. 1. – pp. 32-37. – doi: <https://doi.org/10.5219/990>
201. **Poulter, J. Antioxidants in tea** / J. Poulter // *BNF Nutr. Bull.* – 1998. – Vol.

23. –pp. 203-210.
202. **Saeed, M. Green tea (*Camellia sinensis*) and L-theanine: Medicinal values and beneficial applications in humans – A comprehensive review** / M. Saeed // Biomedicine & Pharmacotherapy. – 2017. – Vol.95. – pp.1260–1275.
203. **Sajilata, M. G. Tea polyphenols as nutraceuticals** / M. G. Sajilata, R. P. Bajaj, R. S. Singhal // Comprehens Rev Food Sci and Food Saf. – 2008. – Vol. 7. – pp. 229-254.
204. **Sang, S. Enzymatic synthesis of tea theaflavin derivatives and their anti-inflammatory and cytotoxic activities** / S. Sang, J. D. Lambert, S. Tian, J. Hong, Z. Hou, J. H. Ryu, et al. // Bioorg Med Chem. – 2004. – Vol.12. – pp. 459–67.
205. **Sang, S. New dibenzo-tropolone derivatives characterized from black tea using LC/MS/MS** / S. Sang, S. Tian, R. E. Stark, C. S. Yang, C. T. Ho // Bioorg Med Chem. – 2004. – Vol.12. – pp. 3009-3017.
206. **Sang, S. Stability of tea polyphenol (–)-epigallocatechin3-gallate and formation of dimers and epimers under common experimental conditions** // S. Sang, M. J. Lee, Z. Hou, C. T. Ho, C. S. Yang / J Agric Food Chem. – 2005. – Vol. 53. – pp. 9478–84.
207. **Sang, S. Structural identification of novel glucoside and glucuronide metabolites of (–)-epigallocatechin-3-gallate in mouse urine using liquid chromatography/electrospray ionization tandem mass spectrometry** / S. Sang, C. S. Yang // Rapid Commun Mass Spectrom. – 2008. – Vol.22. – pp. 3693-3699.
208. **Sang, S. The a-dibenzo-tropolone a, a new type pigment from enzymatic oxidation of (–)-epicatechin and (–)-epigallocatechin gallate and characterized from black tea using LC/MS/MS** / S. Sang, S. Y Tian, X. F. Meng, R. E. Star, R. T. Rosen, C. S. Yang, et al.// Tetrahedron Lett. – 2002. – Vol.43. – pp. 7129–33.
209. **Sang, S. The chemistry and biotransformation of tea constituents** / S. Sang // Pharmacological Research. – 2011. – Vol.64. – pp. 87– 99.
210. **SanGiovanni, J. P. The role of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty**

- acids in health and disease of the retina** / J. P. SanGiovanni, E. Y. Chew // Progress in Retinal and Eye Research. – 2005. – Vol. 24. – pp. 87-138.
211. **Senderson, G. W. The chemistry of tea and tea manufacturing // Structural and functional aspect of Phytochemistry** / G. W. Senderson. – 1972.– Vol. 5. – pp. 247-316.
212. **Sharma, E. L-theanine: Astounding sui generis integrant in tea** / E. Sharma, R. Joshi, A. Gulati // Food Chemistry. – 2017. – Vol. 242. – pp. 601-610. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.09.046
213. **Sharma, V. A thought on the biological activities of black tea** / V. Sharma, L. J. Rao // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. – 2009. – Vol.49. – № 5. – pp.379-404.
214. **Sharma, V. K. Health benefits of tea consumption** / V. K. Sharma, A. Bhattacharya, A. Kumar, H. K. Sharma // Tropical Journal of Pharmaceutical Research. – 2007. – Vol. 6(3). – pp. 785-792.
215. **Shengmin, S. The chemistry and biotransformation of tea constituents** / S. Shengmin, D. L. Joshua, H. Chi-Tang, S. Y. Chung // Pharmacological Research. – 2011. – Vol. 64. – pp. 87-99.
216. **Subramanian, N. Role of polyphenol oxidase and peroxidase in the generation of black tea theaflavins** / N. Subramanian, P. Venkatesh, S. Ganguli, V. P. Sinkar // J Agric Food Chem. – 1999. – Vol. 47. – pp. 2571–2578.
217. **Susanne, M. H. Bioavailability and antioxidant activity of tea flavanols after consumption of green tea, black tea, or a green tea extract supplement** / M. H. Susanne, N. Yantao, H. L. Nicolas, D. T. Gail, R. M. Rosario, W. Hejing, L. W. G. Vay, H. David // Am J Clin Nutr. – 2004. – Vol.80. – pp. 1558-64.
218. **Tanaka, T. A novel black tea pigment and two new oxidation products of epigallocatechin-3-O-gallate** / T. Tanaka, Y. Matsuo, I. Kouno // J. Agric. Food Chem. – 2005. – Vol.53. – № 19. – pp. 7571-7578.
219. **Tanaka, T. Accumulation of epigallocatechin quinone dimers during tea fermentation and formation of *Tea sinensins*** / T. Tanaka, C. Mine, S. Watarumi, T. Fujioka, K. Mihashi, Y. J. Zhang, I. Kouno // J. Nat. Prod. – 2002. – Vol.65. – № 11. – pp.1582-1587.

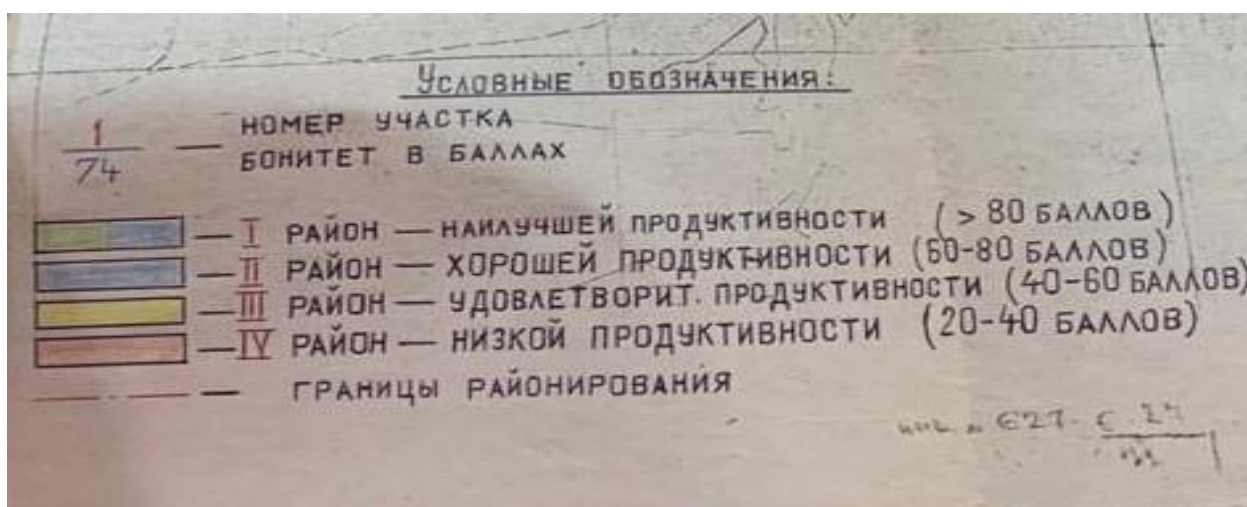
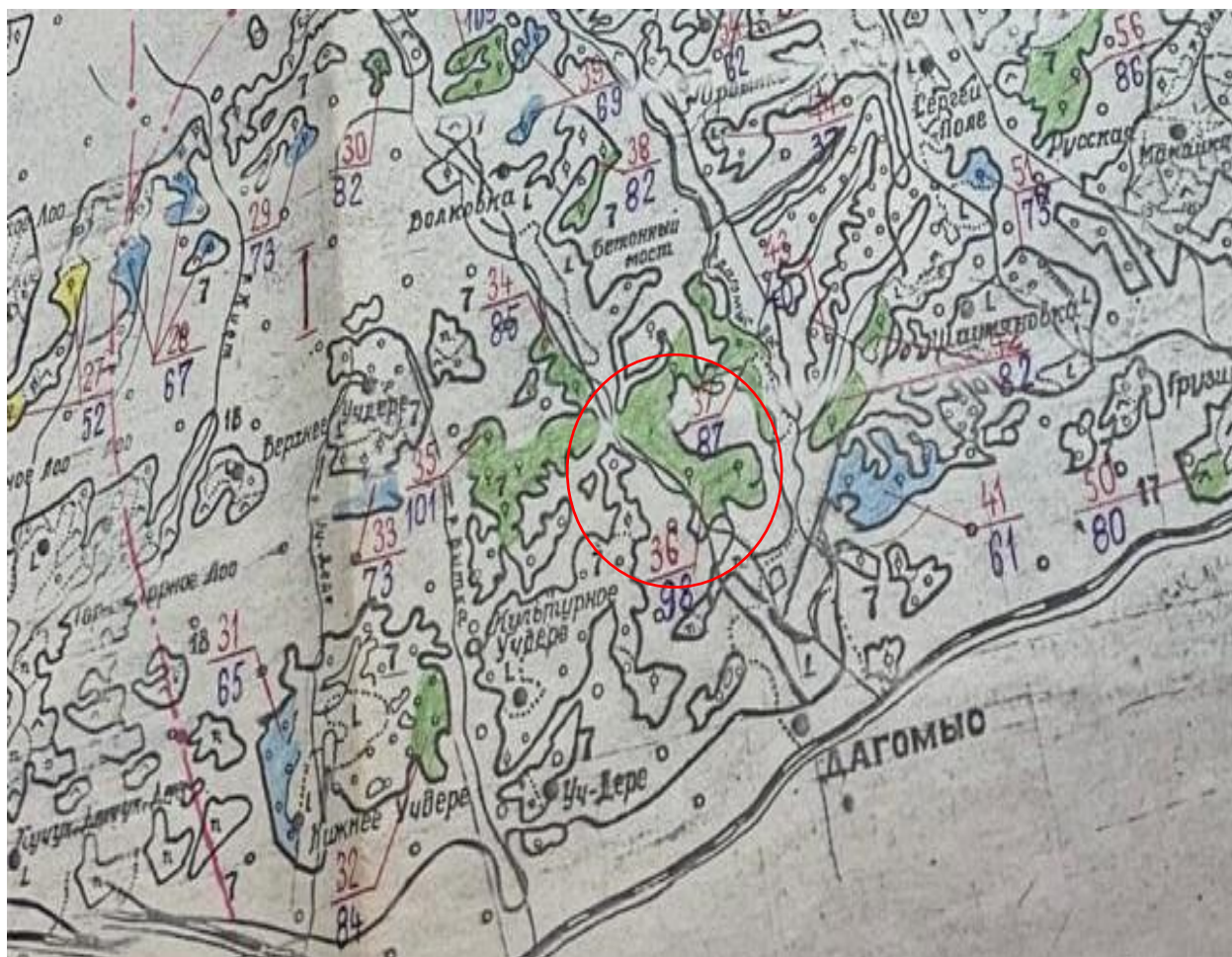
220. **Tanaka, T. Chemical studies on plant polyphenols and formation of black tea polyphenols** / T. Tanaka // Yakugaku Zasshi. – 2008. – Vol.128. – № 8. – pp. 1119-1131
221. **Tanaka, T. Chemistry of secondary produced during processing of tea and selected foods** / T. Tanaka, Y. Matsuo, I. Kouno // Int. J. Mol. Sci. – 2009. – Vol.11, № 1. – pp.14-40.
222. **Tanaka, T. Synthesis of theaflavin from epicatechin and epigallocatechin by plant homogenates and role of epicatechin quinone in the synthesis and degradation of theaflavin** / T. Tanaka, C. Mine, K. Inoue, M. Matsuda, I. Kouno // J. Agric. Food Chem. – 2002. – Vol.50. - № 7. – pp.2142-2148.
223. **Tanaka, T. Two types of oxidative dimerization of the black tea polyphenol theaflavin** / T. Tanaka, K. Inoue, Y. Betsumiya, C. Mine, I. Kouno // J. Agric. Food Chem. – 2001. – Vol.49. – № 12. – pp. 5785-5789.
224. **Tariq, A. L. Phytochemical analysis of Camellia sinensis leaves** / A. L. Tariq, A. L. Reyaz // Int. J. Drug Dev. & Res. –2012. – Vol.4(4). – pp. 311-316.
225. **The Plant List.** [Electronic resource]: <http://www.theplantlist.org/> (02.04.2019)
226. **Tsung O. Cheng. All teas are not created equal. The Chinese green tea and cardiovascular health** / Tsung O. Cheng // International Journal of Cardiology. –2006. – Vol.108. – pp. 301-308.
227. **Unno, T. Analysis of tea catechins in human plasma by high-performance liquid chromatography with solid-phase extraction** / T. Unno, Y.M. Sagesaka, T. Kakuda // J Agric Food Chem. – 2005. – Vol.53. – pp.9885-9889.
228. **van Acker, S. A. A quantum chemical explanation of the antioxidant activity of flavonoids** / S.A. van Acker, M. J. De Groot, D. J. van den Berg // Chemistry Resource Toxicology – 1996. – Vol. 9. – pp. 1305-1312.
229. **Veitch, N. C. Flavonoids and their glycosides, including anthocyanins** / N. C. Veitch, R. J. Grayer // Natural product reports. – 2011. – Vol. 28. – pp. 1626-1695.
230. **Verbruggen, N. Proline accumulation in plants: a review** / N. Verbruggen,

- C. Hermans // Amino Acids. – 2008. – Vol. 35. – pp. 753-759
231. **Wang, R. S. A. Niacin, thiamin, iron and protein status of humans as affected by the consumption of tea (*Camellia sinensis*) infusions** / R. S. A. Wang, C. Kies // Plant Foods for Human Nutrition. – 1991. – Vol.41. – pp. 337-353.
232. **Williamson, G. The role of polyphenols in modern nutrition** / G. Williamson // Nutrition Bulletin. – 2017. – Vol.42. – pp. 226–235
233. **Winkel-Shirley, B. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress** / B. Winkel-Shirley // Current Opinion in Plant Biology. – 2002. – Vol.5. – pp. 218-223
234. **Wright, L. P. Biochemical analysis for identification of quality in black tea (*Camellia sinensis*): Thesis of Philosophies Doctor (Biochemistry)** / L. P. Wright. – Pretoria: University of Pretoria. – 2002. – 216 p.
235. **Wu, C. H. Linoleic and α -linolenic fatty acids affect biomass and secondary metabolite production and nutritive properties of *Panax ginseng* adventitious roots cultured in bioreactors** / C. H. Wu, E. V. Popova, E. J. Hahn, K. Y. Paek // Biochem Eng J. – 2009. – Vol. 47. – pp. 109-115
236. **Xiaohong, L. In vitro anti-angiogenic effects of tea saponin and tea aglucone on human umbilical vein endothelial cells** / L. Xiaohong // Journal of Food and Nutrition Research. – 2015. – Vol. 3. – No. 3. – pp. 206-212.
237. **Yang, C. S. Cancer prevention by tea: animal studies, molecular mechanisms and human relevance** / C. S. Yang, X. Wang, G. Lu, S. C. Picinich // Nat Rev Cancer. – 2009. – Vol.9. – pp. 429–39.
238. **Yi, L. Antidepressant-like effects of tea polyphenols on mouse model of chronic unpredictable mild stress** / L. Yi, J. Genguang, G. Lingshan, S. Lingyan, F. Xiaobin, L. Nuo, et al. // Pharmacology, Biochemistry and Behavior. – 2013. – Vol. 104. – pp. 27–32.
239. **Ying, Z. Lipophilized epigallocatechingallate (EGCG) derivatives as novel antioxidants** / Z. Ying, S. Fereidoon // J. Agric. Food Chem. – 2011. – Vol.59(12). – pp. 6526–6533.

240. **Zaprometov, M. N. Proanthocyanidins and catechins** / M. N. Zaprometov // Cell Culture and Somatic Cell Genetics of Plants. – 1988.– Vol.5. – P.7
241. **Zhang, L. Association between chemistry and taste of tea: A review** / L. Zhang, Q.-Q. Cao, D. Granato, Y.-Q. Xu, Ch.-T. Ho // Trends in Food Science & Technology. – 2020. – Vol. 101. – p. 139-149. – DOI: 10.1016/j.tifs.2020.05.015

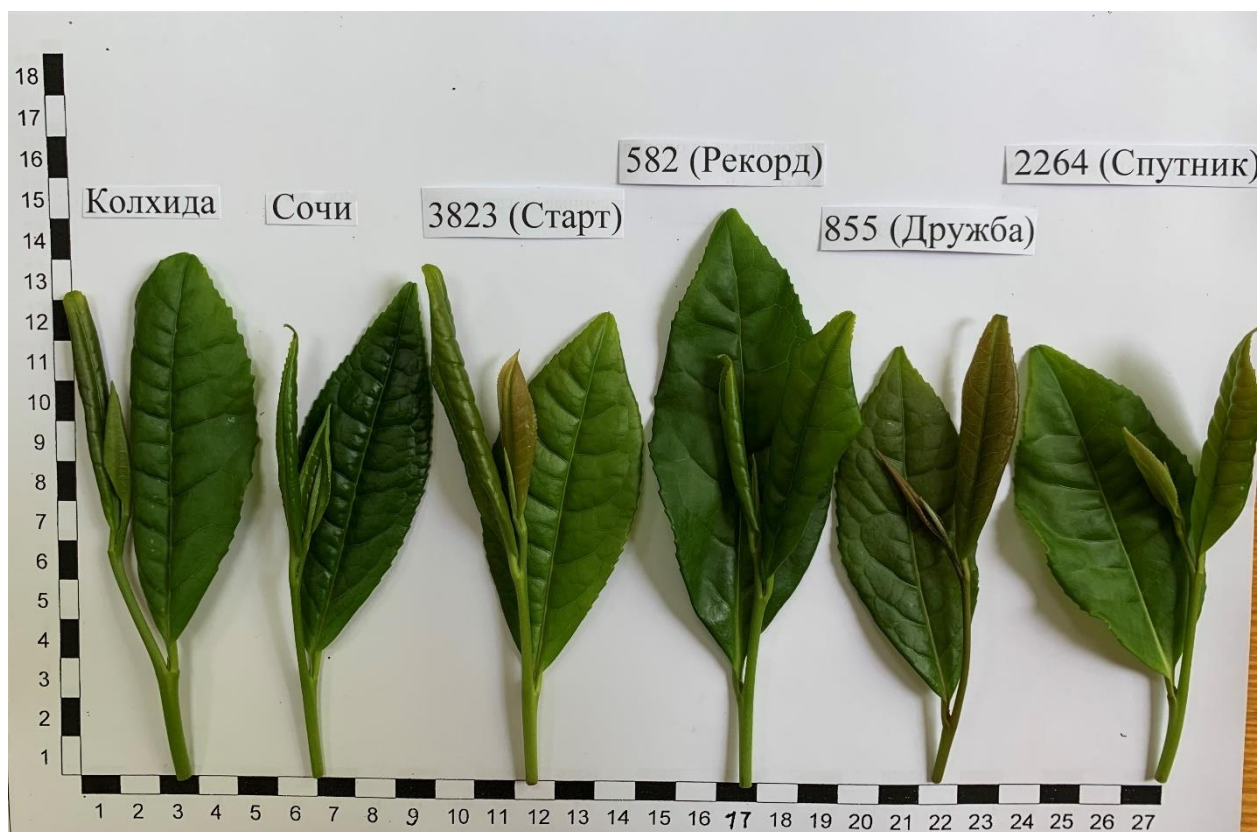
ПРИЛОЖЕНИЯ

Схема агроэкологического районирования зоны выращивания чая с
указанием бонитета, М 1:50 000

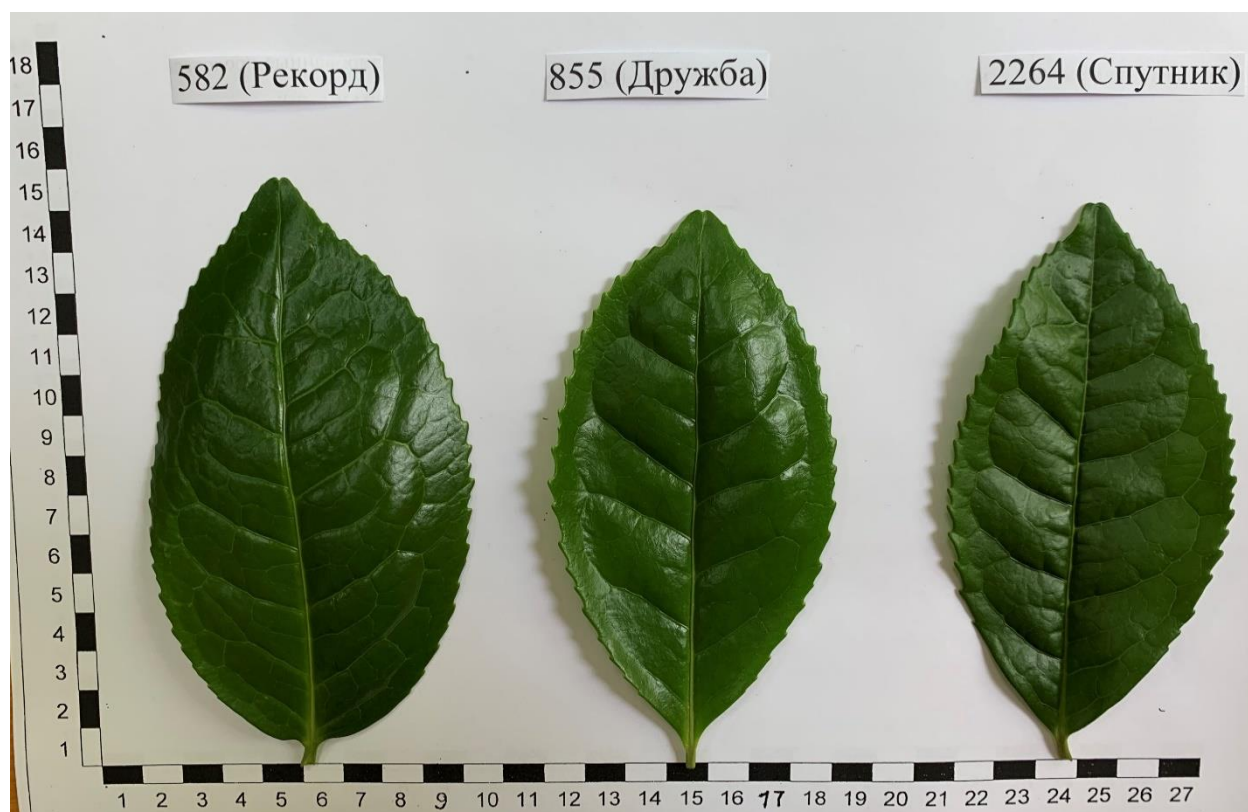
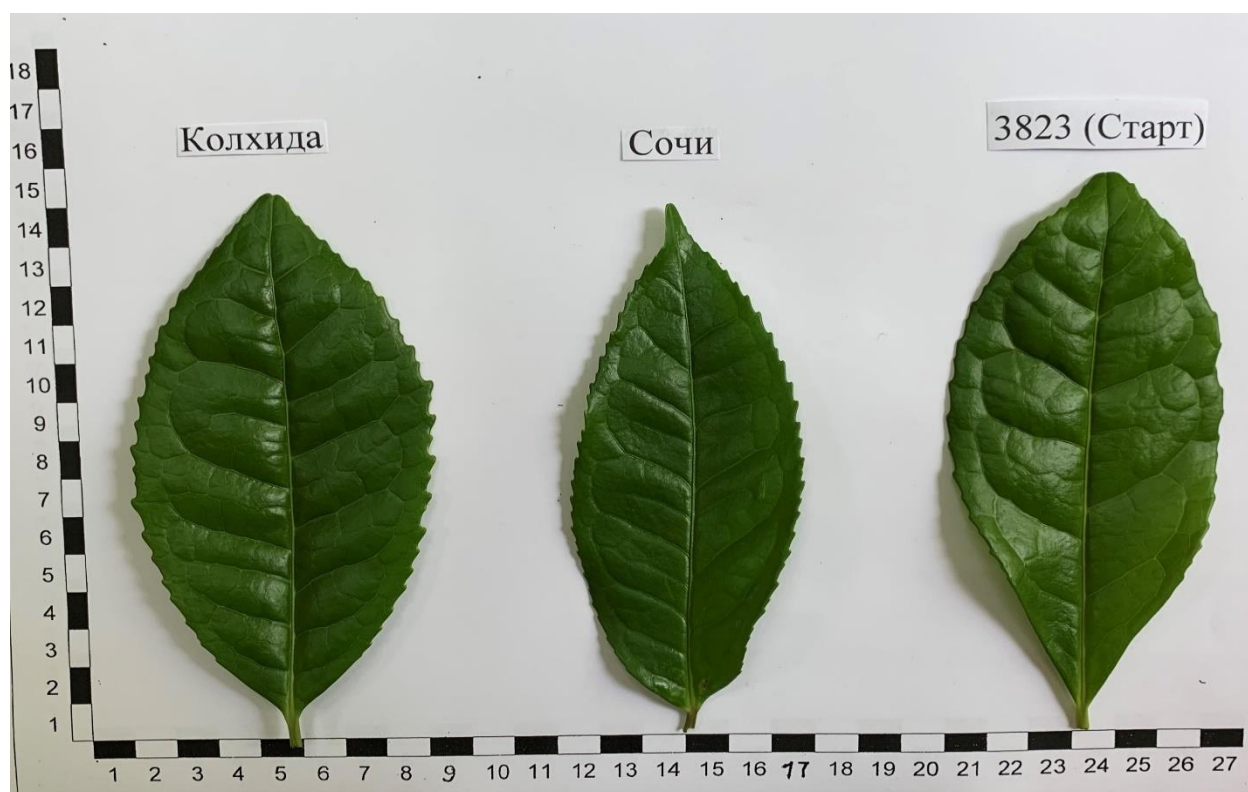


Примечание: красным контуром обозначен опытно-коллекционный участок в п. Уч-Дере

3-листная флешь исследуемых сортов и форм чая



Листовые пластинки исследуемых сортов и форм чая



Общая схема коллекционного участка в п. Уч-Дере

ряд	Сорта, клоны, формы чая	ряд	Д О Р О Г А (Закладка плантации на участке Уч-Дере в ЗАО «Дагомысчай» 1984 – 85 – 86 -88 гг.)									
1	Грузинский № 15 (50 шт.)	1	с о р т К О Л Х И Д А (З А Щ И Т Н Ы Й Р Я Д)									
2	№ 7979 Гойтх – (40 шт.)	2	с о р т К О Л Х И Д А (З А Щ И Т Н Ы Й Р Я Д)									
3	клон Кубанский (Тахмазян Н.А.)	3	сорт Колхида	V повторностей	сорт Сочи (Туов)	III повторности	№ 2264 (Керкадзе)	I повторность				
4	клон Кубанский	4	№ 855 (Керкадзе)		клон Кубанский		№ 3823 (Керкадзе)					
5	клон Кубанский	5	сорт Сочи (Туов)		№ 582 (Керкадзе)		сорт Колхида		клон Кубанский (38 шт.)			
6	клон Кубанский	6	клон Кубанский		№ 2264 (Керкадзе)		№ 855 (Керкадзе)		клон Кубанский (47 шт.)			
7	клон Кубанский	7	№ 582 (Керкадзе)		№ 3823 (Керкадзе)		сорт Сочи (Туов)		клон Кубанский (49 шт.)			
8	клон Кубанский	8	№ 2264 (Керкадзе)		сорт Колхида		клон Кубанский					
9	клон Кубанский	9	№ 3823 (Керкадзе)	VI повторностей	№ 855 (Керкадзе)	IV повторности	№ 582 (Керкадзе)	II повторности				
10	клон Кубанский	10	сорт Сочи (Туов)		№ 2264 (Керкадзе)		сорт Колхида					
11	клон Кубанский	11	клон Кубанский		№ 3823 (Керкадзе)		№ 855 (Керкадзе)					
12	клон Кубанский	12	№ 582 (Керкадзе)		сорт Колхида		сорт Сочи (Туов)					
13	№ 121 (Чаква)	13	№ 2264 (Керкадзе)		№ 855 (Керкадзе)		клон Кубанский					
14	№ 121 (Чаква)	14	№ 3823 (Керкадзе)		сорт Сочи (Туов)		№ 582 (Керкадзе)					
15	№ 19 (Чаква)	15	сорт Колхида	клон Кубанский	№ 2264 (Керкадзе)							
16	№ 35 (Чаква)	16	№ 855 (Керкадзе)		№ 582 (Керкадзе)		№ 3823 (Керкадзе)					
17	№ 36 (Чаква)	17	с о р т К О Л Х И Д А (З А Щ И Т Н Ы Й Р Я Д)									
18	№ 50 (Чаква)	18	с о р т К О Л Х И Д А (З А Щ И Т Н Ы Й Р Я Д)									
19	№ 52 (Чаква)	19	№ 5 0 1 (К е р к а д з е)									
20	№ 53 (Чаква)	20	№ 5 0 2 (К е р к а д з е) закладка осень 1986 г.									
21	№ 55 (Чаква)	21	№ 6 1 9 (К е р к а д з е) закладка весна 1985 г.									
22	№ 56 (Чаква)	22	№ 2 2 6 4 (К е р к а д з е)									
23	№ 57 (Чаква)	23	клон Кубанский (закладка весна 1985 – 1986 гг.)									
24	№ 62 (Чаква)	24	№ 5 8 2 (К е р к а д з е) закладка весна 1985 г.									
25	№ 69 (Чаква)	25	№ 5 8 2 (К е р к а д з е)									
26	№ 121 (Чаква)	26	№ 582 (Керкадзе) –86 шт. закладка весной 1986 г.									
27	№ 125 (Чаква)	27	№ 551 (50 шт.)(Керкадзе)	№ 1877 (50 шт.) (Керкадзе)	№ 1292 (50 шт.) (Керкадзе)							
28	№ 157 (Чаква)	28	№ 316 (50 шт.)(Керкадзе)	№ 1385 (50 шт.) (Керкадзе)	№ 3986 (50 шт.) (Керкадзе)							
29	№ 212 (Чаква)	29	№ 837 (50 шт.)(Керкадзе)	№ 536 (50 шт.) (Керкадзе)	№ 3509 (50 шт.) (Керкадзе)							
30	сорт Колхида (Чаква)	30	№ 4605 (50 шт.)(Керкадзе)	№ 1102 (50 шт.) (Керкадзе)	№ 3180 (50 шт.) (Керкадзе)							
31	сорт Колхида (Чаква)	31	№ 2697 (120 шт.)(Керкадзе)		№ 321 (85 шт.) (Керкадзе)							
32	клон Кубанский	32	№ 658 (93 шт.), весна 1988 г.		№1326 (60 шт.) (Керкадзе)							
33	клон Кубанский	33	№ 1405 (60 шт.)(Керкадзе)	№ 1484 (60 шт.) (Керкадзе)	№ 1476 (60 шт.) (Керкадзе)							
34	клон Кубанский	34	сорт Каратум (Туов)									
35	клон Кубанский	35	сорт Каратум (Туов)									
36	клон Кубанский	36	сорт Каратум (Туов)									
37	клон Кубанский	37	сорт Каратум (Туов) осень 1990									

Акт внедрения результатов исследований

УТВЕРЖДАЮ
Индивидуальный предприниматель
«ИП Бехтер А.В.»

 А.В. Бехтер

«06» сентября 2021 г

АКТ

внедрения результатов выполнения НИР «Закономерности формирования
компонентов антиоксидантной системы чая, произрастающего на плантациях
Краснодарского края» в производство

Результаты диссертационной работы Платоновой Н.Б. были
использованы при подборе купажных смесей. В частности, использованы
рекомендации по подбору конкретных сортов чая для производства черного и
зеленого напитка с высоким содержанием биологически активных веществ,
что повышает его пищевую значимость.

Технолог

06.09.2021 г.



 Е.В. Бехтер

Акт внедрения результатов исследований

УТВЕРЖДАЮ
Глава крестьянского
(фермерского) хозяйства г. Сочи
Е. В. Матчак
« 31 » июля 2021 г.

АКТ

внедрения результатов выполнения НИР «Закономерности формирования
компонентов антиоксидантной системы чая, произрастающего на плантациях
Краснодарского края» в производство

Результаты диссертационной работы Платоновой Н.Б. были
использованы при производстве готовых чаев. В частности, использованы
рекомендации по подбору сортов чая, характеризующихся высоким и
стабильным содержанием биологически активных веществ, что позволяет
исключить процесс купажирования.

Директор по связям с общественностью



В. В. Кудинов

31.08.2021 г.