

Наталья Евгеньевна Куликова¹✉, Антонина Григорьевна Чернобровина²

^{1,2}Российский биотехнологический университет («РОСБИОТЕХ»), Москва, Россия

¹nataliyakulikova67@mail.ru

²ag_61@list.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ ФИКСАЦИИ ЧАЙНОГО ЛИСТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕЛЕННОГО БАЙХОВОГО ЧАЯ МЕТОДАМИ ГОРЯЧЕГО ВОЗДУХА И ИНФРАКРАСНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Цель исследования – определение закономерностей процессов фиксации чайного листа для производства зеленого байхового чая методами горячего воздуха и инфракрасного облучения. Задачи: изучить кинетику и установить эффективные режимы фиксации чайного листа методами горячего воздуха и инфракрасного облучения – ключевого этапа в производстве зеленого чая; построить и проанализировать кривые сушки, температурные кривые и кривые скорости сушки, кривые инактивации ферментов; провести сравнительный анализ качества полуфабрикатов чая, полученных разными методами фиксации (пропаривание, ИК-облучение, горячий воздух), по органолептическим и физико-химическим показателям. Объект исследований – сырье для производства зеленого байхового чая – «Лист чайный (сортовой механизированного сбора)» с содержанием огрубевшей и грубой фракции (ОГ-фракции) до 20 %, произведенного в Краснодарском крае. Методы фиксации: горячим воздухом с использованием сушильной камеры КС-15; инфракрасным (ИК) облучением на лабораторной установке в условиях открытой и закрытой камеры. Использовался режим двустороннего непрерывного облучения в течение 120–150 с, мощность ламп 500 Вт, расстояние от ламп до поверхности слоя 150 мм, толщина слоя листа 25–30 мм, интенсивность облучения 0,4–0,6 кВт/м². Для оценки качества фиксированного чайного листа и полуфабрикатов использовался комплекс органолептических и физико-химических методов. Для горячего воздуха: экспериментально обоснованы технологические параметры (температура 178–184 °С, длительность 210–240 с), обеспечивающие подсушивание листа до влажности 60–64 % и его эффективную фиксацию, преимущества перед прокаливанием по качеству продукции и энергоэффективности. Для ИК-облучения показано, что метод, особенно в закрытой камере, обеспечивает быстрый нагрев листа (до 96 °С) и наиболее полную инактивацию ферментов. Полуфабрикат имел наивысшие дегустационные оценки и лучшие физико-химические показатели (экстрактивные вещества: 39,8 против 37,2 %; фенольные соединения: 18,7 против 16,4 %). ИК-фиксация по всем качественным показателям превосходит традиционное пропаривание. Выявлены комплементарные преимущества режимов в открытой (энергоэффективность) и закрытой (высшее качество) камерах.

Ключевые слова: фиксация чайного листа, пропаривание, ИК-облучение, горячий воздух, зеленый байховый чай

Для цитирования: Куликова Н.Е., Чернобровина А.Г. Исследование закономерностей процессов фиксации чайного листа для производства зеленого байхового чая методами горячего воздуха и инфракрасного облучения // Вестник КрасГАУ. 2026. № 5. С. 273–289. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-273-289.

Natalia Evgenievna Kulikova¹, Antonina Grigoryevna Chernobrovina²

^{1,2}Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

¹nataliyakulikova67@mail.ru

²ag_61@list.ru

STUDY OF PROCESSES REGULARITIES OF TEA LEAF FIXATION FOR GREEN LEAF TEA PRODUCTION USING HOT AIR AND INFRARED IRRADIATION METHODS

The aim of the study is to determine the patterns of tea leaf fixation processes for green leaf tea production using hot air and infrared irradiation methods. Objectives: to study the kinetics and establish effective modes of tea leaf fixation using hot air and infrared irradiation methods, which is a key stage in green tea production; to construct and analyze drying curves, temperature curves and drying rate curves, enzyme inactivation curves; to conduct a comparative analysis of the quality of semi-finished tea products obtained using different fixation methods (steaming, IR irradiation, hot air), according to organoleptic and physicochemical indicators. The object of the study is raw material for the production of green leaf tea – "Tea leaf (varietal mechanized harvesting)" with a coarse and rough fraction (COF) content of up to 20 %, produced in the Krasnodar Region. Fixation methods: hot air using a KS-15 drying chamber; infrared (IR) irradiation in a laboratory setup in open and closed chamber conditions. A two-sided continuous irradiation mode was used for 120–150 s, with a lamp power of 500 W, a distance from the lamps to the layer surface of 150 mm, a leaf layer thickness of 25–30 mm, and an irradiation intensity of 0.4–0.6 kW/m². A combination of organoleptic and physicochemical methods was used to assess the quality of fixed tea leaves and semi-finished products. For hot air, the process parameters (temperature 178–184 °C, duration 210–240 s) were experimentally substantiated. These parameters ensure leaf drying to 60–64 % moisture content and its effective fixation, offering advantages over calcination in terms of product quality and energy efficiency. For IR irradiation, it was shown that this method, especially in a closed chamber, ensures rapid leaf heating (up to 96 °C) and the most complete enzyme inactivation. The semi-finished product had the highest tasting scores and better physicochemical properties (extractive substances: 39.8 vs. 37.2 %; phenolic compounds: 18.7 vs. 16.4 %). IR fixation outperformed traditional steaming in all quality parameters. Complementary advantages were revealed between open (energy efficiency) and closed (highest quality) chamber modes.

Keywords: tea leaf fixation, steaming, IR irradiation, hot air, green leaf tea

For citation: Kulikova NE, Chernobrovina AG. Study of processes regularities of tea leaf fixation for green leaf tea production using hot air and infrared irradiation methods. *Bulletin of KSAU*. 2026;(5):273-289. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-273-289.

Введение. В настоящее время чай занимает важное место как ежедневный продукт потребления для большинства населения [1, 2]. Чай отечественного производства удовлетворяет потребности населения нашей страны лишь на 50–60 % и ежегодный импорт готового чая составляет свыше 120 тысяч тонн. До 90-х гг. XX в. основными поставщиками чая были Азербайджан и Грузия [3, 4]. В настоящее время основные чайные плантации находятся в Краснодарском крае, поэтому для максимального удовлетворения потребностей населения данным продуктом необходимо не только увеличение площадей для выращивания чая, но и повышение его качества с целью обеспечения конкурентной способности с импортным сырьем за счет применения физико-химических способов обработки в технологическом процессе производства готовой продукции [5].

В последнее время значительной интенсификации технологических процессов пищевых производств и повышения качества готовой продукции достигают путем использования со-

временных электрофизических методов для тепловой обработки перерабатываемого сырья [6–10]. В этом направлении наиболее прогрессивным и эффективным является использование метода тепловой обработки инфракрасным облучением (ИК-облучение), как отдельно, так и в сочетании с традиционными методами [11–13].

ИК-излучение отличается от других видов электромагнитных колебаний частотой, длиной волны и скоростью распространения, а также при нагревании материалов ИК-лучами явления тепло- и массообмена развиваются как внутри материала, так и вне его – в рабочей камере аппарата [13, 14]. Это позволяет значительно повысить качество готовой продукции и срок ее хранения, снизить удельные расходы энергии, улучшить санитарно-гигиенические условия работы, уменьшить габариты аппаратов, механизировать и автоматизировать процессы, что свидетельствует о целесообразности и перспективности применения ИК-облучения при производстве чая [15–18].

Одним из основных видов чайной продукции является зеленый байховый чай, занимающий по объему производства второе место после черного байхового чая. Его выпуск составляет 20–30 % от общего количества вырабатываемого чая. В силу своего химического состава и полезного воздействия на организм человека зеленый чай является более стимулирующим, лечебным и освежающим напитком по сравнению с черным и другими видами чая [19]. Зеленый чай содержит значительное количество катехинов, таких как EGCG (галлат эпигаллокатехина), витаминов (групп В, С, К), а также минералов, пигментов (каротиноидов) и множества других ценных веществ, растворимых фенольных соединений, в больших количествах, чем черный чай [20, 21]. Эти компоненты определяют вкус, аромат, цвет и полезные свойства зеленого чая, включая его антиоксидантное действие. Стимулирующее действие объясняется наличием кофеина и других алкалоидов [22–24].

Цель технологии производства зеленого чая заключается в получении готового продукта из нежных чайных флешей, обладающего специфическими свойствами, за счет сохранения и улучшения ценных качеств исходного сырья посредством термической обработки и предотвращения окислительных процессов [25, 26]. На первой стадии производства в результате инактивации окислительных ферментов (ОВ-ферментов) сохраняются ценные свойства чайного листа. При этом термическое воздействие приводит к значительным количественным и качественным изменениям химического состава сырья, формируя новые специфические вкусовые и ароматические характеристики зеленого байхового чая [24, 27, 28].

Производство зеленого и черного чая осуществляется из одного и того же сырья, однако отличается методами переработки. В производстве черного чая основное внимание уделяется ферментативным процессам, тогда как в технологии зеленого чая эти процессы должны быть исключены благодаря воздействию высокой температуры [9, 27, 29]. Производственный процесс зеленого байхового чая включает следующие этапы: фиксация, подсушка, выдержка, скручивание, разрушение комьев, сушка чайного листа и сортирование полуфабрикатов. Зеленый байховый чай вырабатывается по следующей технологической схеме: фиксация, подсушка, выдержка, скручивание, разрушение комьев,

сушка чайного листа и сортирование полуфабрикатов [5, 29, 30].

В производстве зеленого чая фиксация листа является первым и основным технологическим процессом, целью которого является инактивация ОВ-ферментов, сохранение ценных в биологическом отношении веществ, удаление запаха свежей зелени и придание листу необходимой эластичности для нормального проведения последующего процесса скручивания. Процесс фиксации может осуществляться различными методами, включая обжаривание, пропаривание, обработку горячим воздухом, бланширование и пароводяную обработку. Правильное выполнение процесса фиксации напрямую влияет на эффективность дальнейших технологических операций и в конечном счете на качество готового продукта [12, 29, 31].

Цель исследований – изучение закономерностей процессов фиксации чайного листа методами горячего воздуха и инфракрасного облучения для определения эффективных технологических режимов, обеспечивающих инактивацию окислительных ферментов и повышение качества зеленого байхового чая. Исследование направлено на замену устаревших методов (пропаривание, прокаливание) на более прогрессивные и управляемые, что позволяет не только улучшить качество, но и получить фундаментальные данные о кинетике процессов тепло- и массообмена в чайном листе.

Задачи: исследовать кинетику процесса фиксации чайного листа горячим воздухом (построить и проанализировать кривые сушки, температурные кривые и кривые скорости сушки) и установить его рациональные технологические параметры; исследовать кинетику процесса фиксации чайного листа инфракрасным облучением в открытой и закрытой камерах (построить и проанализировать кривые сушки, температурные кривые, кривые скорости сушки и кривые инактивации ферментов); провести сравнительный анализ качества полуфабрикатов чая, полученных разными методами фиксации (пропаривание, ИК-облучение, горячий воздух), по органолептическим и физико-химическим показателям; оценить влияние методов фиксации на изменение химического состава чайного листа (содержание фенольных соединений, катехинов, кофеина, аминокислот, экстрактивных веществ, хлорофилла).

Объекты и методы. Исследования проводились на сырье для производства зеленого байхового чая – «Лист чайный (сортовой механизированного сбора)», с содержанием огрубевшей и грубой фракции (ОГ-фракции) до 20 %, произведенного в Краснодарском крае. Однородную партию листа делили на три равные части: одну часть (контроль) фиксировали пропариванием при температуре 95–110 °С в течение 5–10 мин, вторую и третью части чайной массы (опыт) – горячим воздухом и инфракрасным (ИК) излучением.

Методы фиксации. Фиксация горячим воздухом с использованием сушильной камеры КС-15. Исследовались режимы в диапазонах: температура 178–190 °С, скорость воздуха 0,60–0,65 м/с, влагосодержание воздуха 300–340 г/кг, толщина слоя чайного листа 20–30 мм, продолжительность процесса 210–240 с. Фиксация инфракрасным (ИК) облучением на лабораторной установке. Использовался режим двустороннего непрерывного облучения в течение 120–150 с, мощность ламп 500 Вт, расстояние от ламп до поверхности слоя 150 мм, толщина слоя листа 25–30 мм, интенсивность облучения 0,4–0,6 кВт/м². Процесс проводился в условиях открытой и закрытой камеры.

Методы анализа. Для оценки качества фиксированного чайного листа и полуфабрикатов использовался комплекс органолептических и физико-химических методов. Органолептическая оценка проводилась по пяти показателям (внешний вид, цвет настоя, аромат, вкус, цвет разваренного листа) в соответствии с ГОСТ 1937-90 с присвоением баллов по десятибалльной шкале. Определение массовой доли влаги проводили по ГОСТ 1936-85. Содержание водорастворимых экстрактивных веществ определяли по ГОСТ 28551-90. Активность ключевых окислительных ферментов определяли спектрофотометрическими методами. Активность полифенолоксидазы (РРО) определяли по скорости окисления катехола, измеряя увеличение оптической плотности при 420 нм [32]. Активность пероксидазы (РОД) определяли по скорости окисления гваякола в присутствии перекиси водорода, измеряя увеличение оптической плотности тетрагваякола при 470 нм [33]. Указанные методы являются общепринятыми для оценки эффективности инактивации ферментов при тепловой обработке растительного сырья. Определение биохимического состава проводили

современными методами: содержание фенольных соединений – методом Фолина-Чокальтеу [34, 35]; сумму катехинов – методом с ванилиновым реактивом [36, 37]; кофеин – методом ВЭЖХ [38, 39]; сумму свободных аминокислот – методом с нингидрином [40]; хлорофиллы – экстракцией 80 %-м ацетоном с последующим спектрофотометрическим измерением [41].

Результаты и их обсуждение. Характер протекания процесса фиксации чайного листа наиболее полно описывается кривыми сушки, температурными кривыми, кривыми скорости сушки и кривыми инактивации ОВ-ферментов (графическая зависимость между активностью ОВ-ферментов и продолжительностью процесса фиксации листа), которые строятся на основе экспериментальных данных.

Показателями оценки качества фиксируемого листа являются степень инактивации ОВ-ферментов, остаточная влажность и равномерность подсушки флешей. Целью подсушки чайного листа является не только удаление излишней влаги, но и достижение наибольшей равномерности подсушки отдельных элементов флешей для нормального проведения последующих технологических процессов скручивания и сушки. В противном случае при неравномерности подсушки и недостаточной эластичности в процессе скручивания происходят чрезмерная ломка и крошение самых нежных частей флешей, вызывающие ухудшение качества готовой продукции [29, 30, 42, 43].

Закономерности процессов фиксации чайного листа горячим воздухом. Метод фиксации чайного листа горячим воздухом позволяет одновременно осуществлять инактивацию ОВ-ферментов и подсушку листа до технологической нормы 60–64 % [13, 14, 16]. Для внедрения этого метода производства зеленого байхового чая изучена кинетика процесса и установлены режимы, обеспечивающие наибольшую эффективность процесса фиксации листа горячим воздухом [15].

Кинетика этого процесса характеризуется кривыми сушки (рис.1), температурными кривыми (рис. 1) и кривыми скорости сушки листов (рис. 2), которые построены на основе экспериментальных данных при режимах фиксации: температура 180 °С, скорость 0,62 м/с и влагосодержание воздуха 310 г/кг, толщина слоя чайного листа 20 мм.

Кривая сушки показывает, что в начале процесса влажность увеличивается до первой критической точки В за счет конденсации водяных паров из продуваемого воздуха. После этого влажность листа уменьшается по кривой ВС с выпуклостью вверх, переходящей в прямую СД, а затем – в кривую с выпуклостью вниз ДЕ.

Температурные кривые (рис. 1) дают возможность выбрать наилучший режим процесса фиксации, так как степень инактивации ОВ-ферментов зависит от температуры листа и длительности воздействия этой температуры.

Температурные кривые показывают интенсивность повышения температуры до первой критической точки В.

Кривые скорости сушки показывают, что в начале процесса скорость подсушки отрицательна. После первой критической точки В скорость подсушки повышается до максимального значения в точке С. Начиная со второй критической точки С скорость сушки постоянна до третьей критической точки Д, а затем постепенно уменьшается (рис. 2).

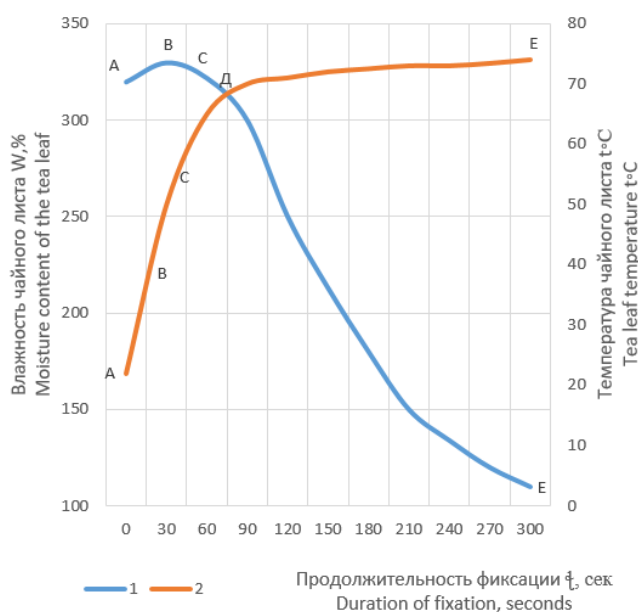


Рис. 1. Кривая сушки (1) и температурная кривая (2) при фиксации чайного листа горячим воздухом
Drying curve (1) and temperature curve (2) during the fixation of tealeaves with hot air

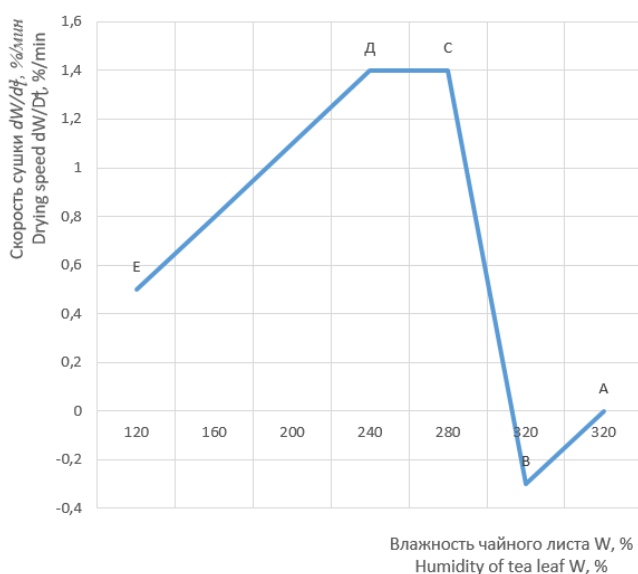


Рис. 2. Кривая скорости сушки при фиксации чайного листа горячим воздухом
Drying rate curve during the fixation of tealeaves with hot air

На основе современного анализа рассмотренных выше экспериментальных кривых весь процесс фиксации листа горячим воздухом условно можно разделить на четыре периода: период конденсации – АВ; период возрастающей скорости подсушки – ВС; период постоянной скорости подсушки – СД и период убывающей скорости подсушки – ДЕ.

Период конденсации характеризуется возрастанием температуры и влажности чайного листа. Конденсация паров на поверхности листьев осуществляется с целью интенсивного повышения их температуры, что происходит за счет выделенной теплоты фазового превращения.

В процессе фиксации конденсация паров воды из паровоздушной смеси на поверхности листьев начинается только с того момента, когда влагосодержание воздуха достигнет в результате испарения влаги определенного значения, при котором парциальное давление водяного пара у поверхности листа будет равно давлению насыщенного пара при температуре поверхности тела. С увеличением температуры листа интенсивность конденсации пара из воздуха постепенно падает и становится равной нулю в точке В, соответствующей равенству парциальных давлений паров на поверхности листа и в паровоздушной смеси.

В период конденсации АВ все тепло, переданное листу, расходуется только на его нагрев. Интенсивность нагревания листа зависит от скорости конденсации паров и разности температур между потоком паровоздушной смеси и поверхностью чайного листа. Скорость конденсации паров зависит от параметров паровоздушной смеси и начальной температуры листа.

Анализ экспериментальных кривых (см. рис 1, 2) показывает, что в период возрастающей скорости подсушки ВС скорость сушки быстро достигает максимального значения (1,44 %/с), а температура возрастает до 68 °С. В начале этого периода разность парциальных давлений паров между поверхностью листа и паровоздушной смеси и, следовательно, скорость сушки равны нулю. С увеличением температуры листа увеличивается парциальное давление водяного пара непосредственно у поверхности листа, что и вызывает повышение потенциала сушки. Количество тепла, передаваемое листу за счет разности температур между потоком воздуха и чайным листом, идет на прогрев листа и испарение влаги. При увеличении потенциала сушки скорость ее постепенно

повышается, а интенсивность нагрева листа понижается. Рассматриваемый период продолжается до второй критической точки С, соответствующей моменту достижения максимальной скорости сушки.

Период постоянной скорости подсушки характеризуется неизменной стабильной скоростью удаления влаги и постепенным ростом температуры листовой пластины. Такое повышение температуры объясняется особенностями морфологии чайного листа: испарение влаги осуществляется преимущественно через устьица, которые находятся только на нижней поверхности листа. Из-за этого фактическая площадь испарения оказывается меньше общей площади теплоотдачи, что и приводит к нагреву листа на данном этапе сушки. В этот период происходит удаление свободной влаги, и давление пара у поверхности листьев не зависит от их влажности и равно давлению пара над чистой водой, испаряющейся при тех же условиях. Скорость сушки в основном зависит от параметров вынужденного потока паровоздушной смеси. Этот период продолжается до третьей критической точки Д, при которой содержание влаги в листе становится ниже его гигроскопического влагосодержания.

В период убывающей скорости подсушки ДЕ температура листа постепенно возрастает, а скорость сушки убывает. Скорость сушки в этот период зависит от факторов влагопроводности и теплоотдачи листа. Влагопроводность зависит от характера связи влаги с листом и от его структуры, обуславливающий механизм перемещения влаги. Давление пара у поверхности листа зависит от влажности и температуры его поверхности. Влажность на поверхности листа зависит от скорости перемещения влаги внутри листа. Повышение температуры листа в этот период объясняется тем, что при уменьшении скорости сушки снижается количество тепла, расходуемого на испарение влаги. Период убывающей скорости подсушки продолжается не до равновесной влажности, а до необходимой технологической нормы (60–64 %).

Таким образом, процесс фиксации листа горячим воздухом отличается от процесса сушки тем, что в первом и во втором периодах процесса фиксации созданы такие режимы тепло- и массообмена, которые обеспечивают нагревание листа до температуры, необходимой для инактивации ОВ-ферментов.

Задача установления эффективного режима процесса фиксации чайного листа горячим воздухом заключается в том, чтобы, учитывая свойства чайного листа и особенности механизма этого процесса, выбрать такой режим, при котором фиксируемый лист имел бы наилучшие технологические свойства и процесс протекал наиболее эффективно. При выборе рациональных параметров режима фиксации решающими являются обеспечение максимальной инактивации ОВ-ферментов и доведение остаточной влажности листа до технологической нормы (60–64 %).

Проведенными нами исследовательскими работами было изучено влияние основных факторов на интенсивность процесса фиксации листа горячим воздухом и установлены технологические режимы этого процесса: температура воздуха 178–184 °С; влагосодержание воздуха 300–340 г/кг, скорость воздуха 0,60–0,65 м/с, толщина слоя чайной массы 20–30 мм и продолжительность процесса фиксации 210–240 с.

Метод фиксации листа горячим воздухом имеет преимущества перед методом прокали-

вания при переработке чайного листа, имеющего 75–78 % влажности [44]. При этом повышается качество готовой продукции, увеличивается выход листовых чаев на 5–7 %, сокращается удельный расход топлива почти в два раза и электроэнергии на 23 %.

Таким образом, по всем показателям метод фиксации листа горячим воздухом имеет значительные преимущества перед методом прокаливания при переработке чайного листа.

Закономерности процесса фиксации чайного листа инфракрасным облучением (ИК-облучение). Для обоснования режимов тепловой обработки необходимо иметь четкое представление о кинетике фиксации чайного листа ИК-облучения. Общие закономерности процесса фиксации вытекают из природы инфракрасного излучения и собственных свойств перерабатываемого листа [44, 45].

На основе экспериментальных данных построены кривая сушки (рис. 3), температурные кривые (рис. 4), кривая скорости сушки (рис. 5) и кривые инактивации ОВ-ферментов (рис. 6).

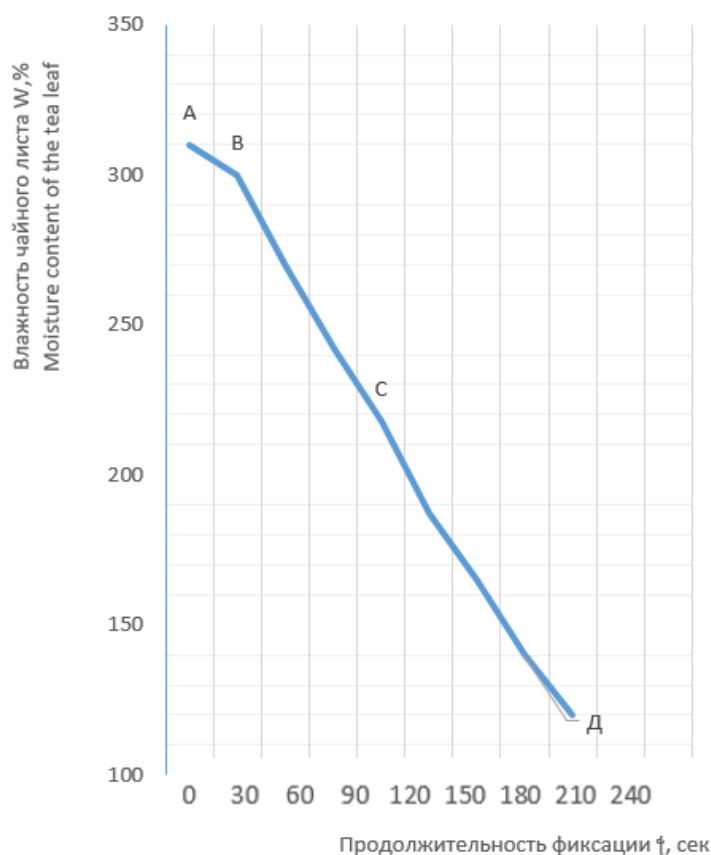


Рис. 3. Характерная кривая сушки при фиксации чайного листа инфракрасным излучением
Characteristic drying curve during tea leaf fixation by infrared radiation

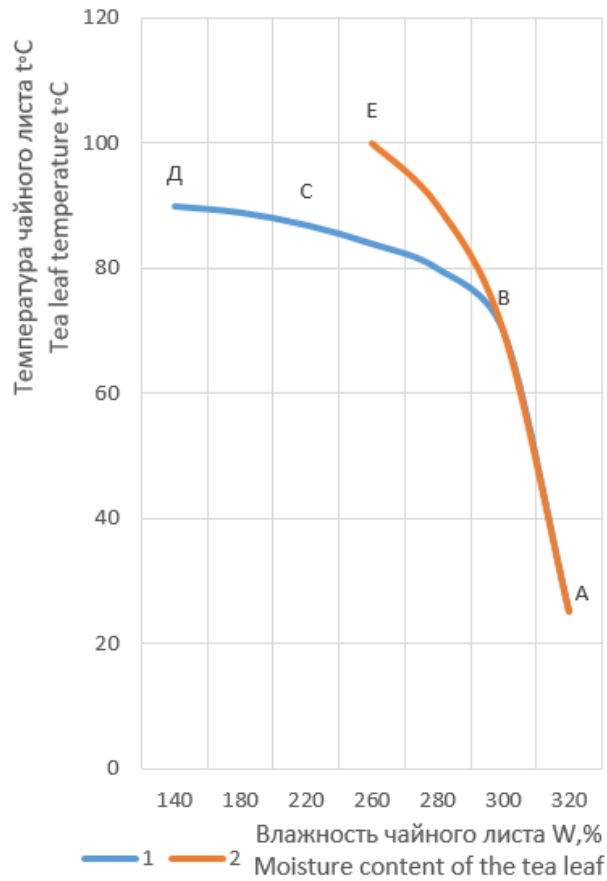


Рис. 4. Температурные кривые при фиксации чайного листа инфракрасным излучением:
 1 – в открытой камере; 2 – в закрытой камере
 Temperature curves during tea leaf fixation by infrared radiation:
 1 – in an open chamber; 2 – in a closed chamber

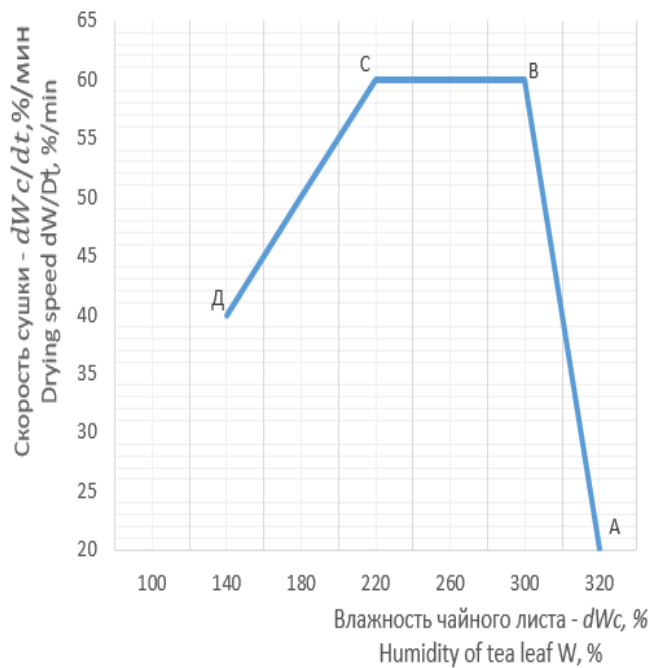


Рис. 5. Кривая скорости сушки при фиксации чайного листа инфракрасным излучением
 Drying rate curve during tea leaf fixation by infrared radiation

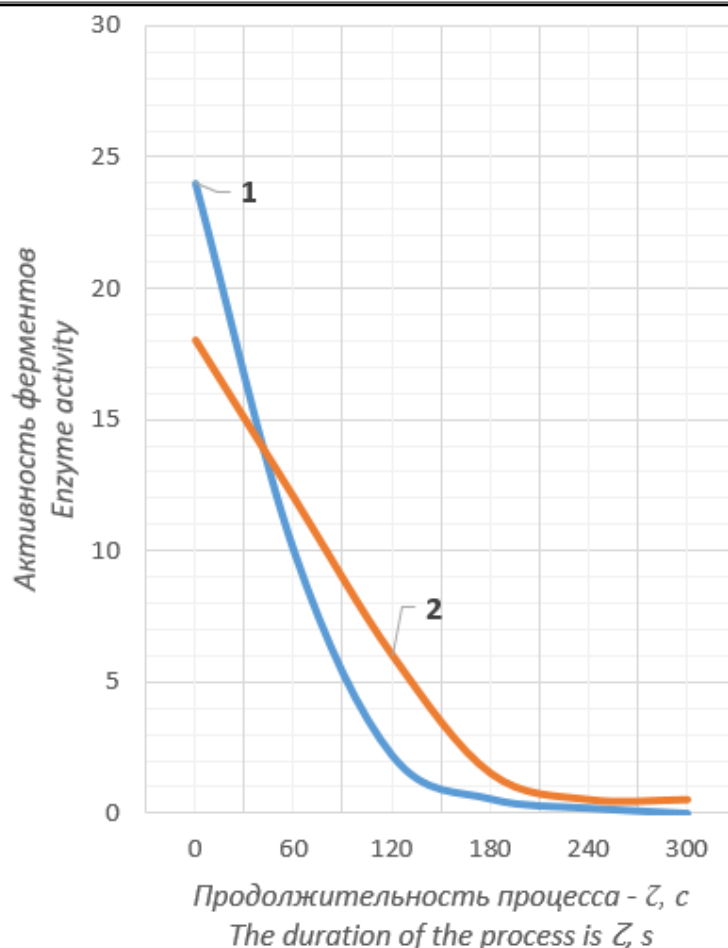


Рис. 6. Кривые инактивации окислительно-восстановительных ферментов при фиксации чайного листа инфракрасным излучением: 1 – фенолоксидаза (ΔE на 1 мг белка за 1 мин $\cdot 10^3$); 2 – пероксидаза (мкмоль тетрагваякола на 1 мг белка за 1 мин)

Inactivation curves of redox enzymes during tea leaf fixation by infrared radiation:

1 – phenol oxidase (1 mg protein per 1 min $\cdot 10^3$);

2 – peroxidase (micromoles of tetragvayacol per 1 mg protein per 1 min)

Совместный анализ экспериментальных кривых позволяет разделить условно весь процесс фиксации на три периода: возрастающей скорости подсушки – АВ; постоянной скорости подсушки – ВС и убывающей скорости подсушки – СД.

В период возрастающей скорости подсушки за время 30 с влажность листа снижается от начальной до 30–40 %, а скорость сушки достигает максимального значения (60 %/мин). За этот период температура листа интенсивно возрастает до 70 °С.

В период постоянной скорости подсушки скорость сушки листа – величина постоянная и не зависит от влажности листа, а температура листа возрастает до 78 °С.

В период убывающей скорости подсушки скорость сушки постепенно уменьшается до 45 %/мин, температуры листа повышается до

91 °С и лист подсушивается до необходимой технологической нормы (60–64 %).

В закрытой фиксационной камере создается насыщенная паровоздушная среда, образуемая за счет испарения влаги листа. В результате этого большая часть ИК-энергии расходуется на нагрев листа и быстрое повышение его температуры до 96 °С (рис. 4), что вызывает более интенсивную и полную инактивацию ферментов. Под воздействием ИК-облучения лист интенсивно нагревается, вызывая инактивацию ОВ-ферментов (рис. 6). Так, например, фенолоксидаза почти полностью инактивируется за 120 с, а пероксидаза – за 180 с.

Сравнительный анализ качественных показателей полуфабрикатов, полученных фиксацией чайного листа методом пропаривания и ИК-облучением, представлен в таблице 1.

Характеристика полуфабрикатов зеленого байхового чая
Characteristics of semi-finished products of green baich tea

Способ фиксации	Органолептическая (дегустационная) оценка, баллы				Экстрактивные вещества, %	Фенольные соединения, %
	Аромат	Вкус	Цвет настоя	Разваренный лист в баллах		
Пропаривание (контроль)	2,75	2,75	Светло-желтый	2,5	37,2±0,1	16,4±0,2
ИК-облучение в открытой камере (опыт)	3,0	3,0	Светло-янтарный	2,75	38,4±0,1	17,6±0,1
ИК-облучение в закрытой камере (опыт)	3,25	3,25	Светло-янтарный	3,0	39,8±0,1	18,7±0,1

Качественные показатели полуфабрикатов, полученных способом фиксации ИК-лучами в насыщенной паровоздушной среде, превышают показатели полуфабрикатов, получаемых из листа, фиксированного в открытой камере ИК-облучением и методом пропаривания (см. табл. 1). Вместе с тем способы фиксации листа в открытой и закрытой камерах одновременно имеют достоинства и недостатки. Так, например, при фиксации в открытой камере инактивация ОВ-ферментов и подсушка листа происходят одновременно и совмещаются в одном процессе, уменьшается расход энергии, но при этом снижается интенсивность нагрева листа и, соответственно, степень инактивации ОВ-ферментов, что отрицательно влияет на качество продукции.

При фиксации в закрытой фиксации камере в насыщенной паровоздушной среде про-

исходит полная инактивация ОВ-ферментов, обуславливающая улучшение качества готовой продукции, но фиксируемый лист требует дополнительного процесса подсушки. Отсюда вытекает целесообразность объединения достоинств обоих вариантов способов фиксации чайного листа в одной чаефиксационной камере.

Фиксация исходного сырья ИК-облучением и пропариванием вызывает определенные химические и физические изменения листа, обуславливающие образование новых вкусовых и ароматических свойств, характерных для зеленого чая (табл. 2). В связи с изменением фенольных соединений исчезают горький вкус и травянистый запах. В результате частичного разрушения хлорофилла свежий лист теряет свой зеленый цвет и приобретает оливковый оттенок.

Химический состав сырья и полуфабрикатов зеленого байхового чая,
полученных методами пропаривания и фиксации ИК-облучением
Chemical composition of raw materials and semi-finished products of green baich tea
obtained by steaming and fixation by IR irradiation

Показатель	Чайный лист (сырье)	Пропаривание		ИК-облучение	
		Пропаренный лист	Полуфабрикат	Фиксированный лист	Полуфабрикат
Фенольные соединения, %	21,8±0,10	21,0±0,11	16,4±0,2	18,4±0,20	18,7±0,22
Сумма катехинов, мг/г	143,7±1,00	131,4±1,20	118,3±1,10	135,2±1,0	124,6±1,0
Кофеин, %	2,45±0,10	2,34±0,13	2,31±0,20	2,40±0,15	2,38±0,25
Сумма свободных аминокислот, %	1,28±0,10	1,42±0,20	1,69±0,10	1,76±0,12	1,79±0,15
Экстрактивные вещества, %	41,7 ±0,20	41,2±0,11	36,8±0,12	41,4±0,20	39,8±0,20
Хлорофилл, %	5,3±0,20	3,1±0,21	2,8±0,16	2,4±0,11	2,0±0,08

На основании экспериментальных данных, представленных в таблице 2, можно заключить, что химический состав полуфабрикатов по всем показателям, полученных методом инфракрасного облучения, значительно превосходит химический состав полуфабрикатов, полученных методом пропаривания. Так, например, содержание экстрактивных веществ выше на 3 %, фенольных соединений на 2,3 %, сумма катехинов – 6,3 мг/г, кофеина – 0,04 % и др. Это объясняется большой инактивацией ОВ-ферментов и равномерной подсушкой чайного листа, а также специфическим воздействием ИК-лучей на чайную массу, обуславливающим повышение качества чая.

Заключение. В ходе проведенного исследования были последовательно решены все поставленные задачи, что позволило получить следующие основные результаты.

Исследована кинетика процесса фиксации чайного листа горячим воздухом и установлены его рациональные технологические параметры. На основе анализа экспериментальных кривых сушки, температурных кривых и кривых скорости сушки определено, что процесс фиксации горячим воздухом протекает в четыре характерных периода (конденсации, возрастающей, постоянной и убывающей скорости подсушки). Установлены режимы, обеспечивающие эффективную инактивацию окислительных ферментов и подсушивание листа до требуемой влажности 60–64 %: температура воздуха 178–184 °С, скорость воздуха 0,60–0,65 м/с, влагосодержание воздуха 300–340 г/кг, продолжительность процесса 210–240 с. При данных режимах метод демонстрирует преимущества перед традиционным прокаливанием, повышая качество продукции, увеличивая выход листовых чаев на 5–7 % и значительно снижая удельные энергозатраты.

Изучена кинетика процесса фиксации чайного листа инфракрасным (ИК) облучением в открытой и закрытой камерах. Построены и проанализированы кинетические кривые, показавшие, что процесс фиксации ИК-излучением протекает в три периода (возрастающей, постоянной и убывающей скорости подсушки). Установлено, что ИК-фиксация в закрытой камере, где создается насыщенная паровоздушная среда, обеспечивает наиболее быстрый и интенсивный нагрев листа до 96 °С, что приводит к практически полной инактивации ключевых окислительных ферментов: полифенолоксидазы (РРО) – за

120 с, пероксидазы (РОD) – за 180 с. В открытой камере нагрев менее интенсивен, но метод более энергоэффективен.

Проведен сравнительный анализ качества полуфабрикатов, полученных разными методами фиксации (пропаривание, ИК-облучение, горячий воздух). Органолептическая и физико-химическая оценка подтвердила явное превосходство ИК-метода, особенно в закрытой камере. Полуфабрикат после ИК-фиксации в закрытой камере получил наивысшие дегустационные оценки (аромат – 3,25, вкус – 3,25 балла из 4) и показал лучшие физико-химические показатели: содержание экстрактивных веществ – 39,8 % (против 37,2 % при пропаривании), фенольных соединений – 18,7 % (против 16,4 %). Качество продукции после фиксации горячим воздухом также оказалось выше, чем при традиционном пропаривании.

Оценено влияние методов фиксации на изменение химического состава чайного листа. Установлено, что ИК-фиксация в закрытой камере обеспечивает наилучшее сохранение ценных биологически активных компонентов по сравнению с пропариванием. В полученном полуфабрикате зафиксировано более высокое содержание суммы катехинов (124,6 против 118,3 мг/г), кофеина (2,38 против 2,31 %), свободных аминокислот (1,79 против 1,69 %) при более контролируемом снижении содержания хлорофилла. Это свидетельствует о меньших потерях ценных веществ и более селективном воздействии ИК-излучения.

Определены преимущества и недостатки разных режимов ИК-обработки. Фиксация в открытой камере энергоэффективна, но дает меньшую степень инактивации ферментов. Фиксация в закрытой камере обеспечивает высочайшее качество, но требует дополнительной подсушки. Наилучшим решением является разработка комбинированной установки, объединяющей достоинства обоих методов.

Применение ИК-облучения, в особенности в комбинированном режиме, является высокоперспективным направлением для модернизации технологии производства зеленого чая. Это позволяет существенно повысить качество готовой продукции за счет лучшего сохранения биохимического состава сырья, что усилит конкурентоспособность отечественного чая на рынке.

Практическая значимость исследования. Проведенные исследования подтверждают пер-

спективность использования инфракрасного облучения, особенно в режиме закрытой камеры, в качестве эффективного метода фиксации чайного листа при производстве зеленого байхового чая. Экспериментально обоснованы технологические параметры процессов обработки чайного листа горячим воздухом и ИК-излучением, при которых достигается максимальная эффективность фиксации в исследованном диапазоне режимов. Полученные данные создают технологическую основу для модернизации производства.

В качестве эффективного решения для промышленного внедрения предлагается технологическая схема комбинированной фиксации чайного листа, реализующая двухстадийный процесс: первая стадия – в закрытой камере для быстрой инактивации ферментов, вторая – в открытой камере для энергоэффективной подсушки листа до требуемой влажности.

Применение данных технологий на предприятиях чайной промышленности, в первую очередь в Краснодарском крае как основном регионе-производителе отечественного чая, позволит:

- существенно повысить качество готовой продукции (вкус, аромат, сохранность полезных веществ), усиливая ее конкурентоспособность на фоне импортных аналогов;

- снизить энергозатраты на ключевом технологическом этапе;

- создать основу для импортозамещения на рынке чая за счет производства высококачественного отечественного зеленого чая.

Таким образом, работа имеет выраженную практическую направленность и вносит значимый вклад в развитие ресурсосберегающих и качественно ориентированных технологий в пищевой промышленности России.

Список источников

1. Гемега Х.В. Характеристика рынка чая на основе анализа потребителей. В сб.: VI Всероссийская молодежная научно-практическая конференция (с международным участием) «Анализ состояния и перспективы развития экономики России». Иваново, 30 апреля 2022 года. Иваново, 2022. С. 16–18. EDN: HUNVRN.
2. Платонова Н.Б., Белоус О.Г. Краткая история интродукции и развития чаеводства в России // *Sciences of Europe*. 2016. № 2-2. С. 91–95. EDN: WSWXGN.
3. Николаева М.А., Карташова Л.В. Рынок чая и кофе: состояние и перспективы развития // *Товаровед продовольственных товаров*. 2018. № 3. С. 63–70. EDN: YVGNZU.
4. Исанбулатова Е.С. Экспортный потенциал России на мировом рынке чая // *Стратегии бизнеса*. 2022. Т. 10, № 3. С. 57–59. DOI: 10.17747/2311-7184-2022-3-57-59.
5. Лисиненко И.В., Лисиненко И.Н. Способ обработки зеленого чая. Патент на изобретение. RU 2689694 C1. 28.05.2019. Бюл. № 16. EDN: RLOBKW.
6. Бурак Л.Ч. Современные методы обработки пищевых продуктов. Критический обзор // *The Scientific Heritage*. 2024. № 130. С. 45–59. DOI: 10.5281/zeNdo.10632041.
7. Manyatsi T.S., Mamba N., Nxumalo S.P., et al. Effects of infrared heating as an emerging thermal technology on physicochemical properties of foods // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 63, N. 24. P. 6840–6859. DOI: 10.1080/10408398.2022.2043820.
8. Zhou C., Wang D., Chen J., et al. Ultrasound, infrared and its assisted technology, a promising tool in physical food processing: A review of recent developments // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 63, N. 11. P. 1587–1611. DOI: 10.1080/10408398.2021.1966379.
9. Fayaz U., Dar A.H., Shivashankar C. Applications of infrared processing in the food industry. In: Gavahian A., editor. *Emerging Thermal Processes in the Food Industry*. Woodhead Publishing; 2023. P. 63–92. DOI: 10.1016/B978-0-12-822107-5.00003-9.
10. Puneet K., Chakraborty S.K., Lalita. Infrared radiation: Principles and applications in food processing. In: *Thermal Food Engineering Operations*. 2022. P. 349–373. DOI: 10.1002/9781119776437.ch12.
11. Бурак Л.Ч., Завалей А.П. Эффективность комбинированного воздействия ультразвука и микроволн при обработке пищевых продуктов. Обзор // *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54, № 1. С. 342–357. DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2-2510.
12. Онипченко К.И., Баранова З.А. Производство зеленого чая с применением паровой фиксации интенсивного скручивания листа. В сб.: II Международная научно-практическая конференция в

- рамках международного научно-практического форума, посвященного Дню Хлеба и соли «Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции». Саратов, 24–25 марта 2021 года. Саратов, 2021. С. 541–547. EDN: LBUUFU.
13. Филатов В.В. Современные процессы, аппараты и технологии для переработки зерна и круп при инфракрасном энергоподводе // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2010. № 10. С. 19–24. EDN: NCONMP.
 14. Левинский В.Н., Попов В.М., Афонькина В.А., и др. Применение инфракрасного излучения в технологическом процессе обработки чайного сбора из иван-чая. В сб.: IX Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы энергетики АПК». Саратов, 15–16 апреля 2018 года. Саратов, 2018. С. 91–93. EDN: VSWYZQ.
 15. Tyagi L., Gupta N., Sood M., et al. Infrared heating in food processing: An overview // *International Journal of Chemical Studies (IJCS)*. 2020. Vol. 8, N 3. P. 327–336. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i3e.9248.
 16. Lee E.H. A review on applications of infrared heating for food processing in comparison to other industries. In: *Innovative Food Processing Technologies: A Comprehensive Review*. Elsevier. 2020. Vol. 2. P. 431–455.
 17. Yadav G., Gupta N., Sood M., et al. Infrared heating and its application in food processing // *The Pharma Innovation Journal*. 2020. Vol. 9, N. 2. P. 142–151.
 18. Anumudu C.K., Onyeaka H., Ekwueme C.T., et al. Advances in the application of infrared in food processing for improved food quality and microbial inactivation // *Foods*. 2024. Vol. 13, N 24. Art. 4001. DOI: 10.3390/foods13244001.
 19. Fakayode O.A., Ojoawo O.O., Zhou M., et al. Revolutionizing food processing with infrared heating: New approaches to quality and efficiency // *Food Physics*. 2024. Art. 100046. DOI: 10.1016/j.foodp.2024.100046.
 20. McKay D.L., Blumberg J.B. The Role of Tea in Human Health: An Update // *Journal of the American College of Nutrition*. 2002. Vol. 21, N 1. P. 1–13. DOI: 10.1080/07315724.2002.10719187.
 21. Creed J.H., Peeri N.C., Anic G.M., et al. A prospective study of coffee and tea consumption and the risk of glioma in the UK Biobank // *European Journal of Cancer*. 2020. Vol. 129. P. 123–131. DOI: 10.1016/j.ejca.2020.01.012.
 22. Musial C., Kuban-Jankowska A., Gorska-Ponikowska M. Beneficial properties of green tea catechins // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21, N 5. Art. 1744. DOI: 10.3390/ijms21051744.
 23. Nain C.W., Lee S.J., Lee J., et al. The catechins profile of green tea extracts affects the antioxidant activity and degradation of catechins in DHA-rich oil // *Antioxidants*. 2022. Vol. 11, N 9. Art. 1844. DOI: 10.3390/antiox11091844.
 24. Radeva-Ilieva M., Stoeva S., Hvarchanova N., et al. Green Tea: Current Knowledge and Issues // *Foods*. 2025. Vol. 14, N 5. Art. 745. DOI: 10.3390/foods14050745.
 25. Мирхошимова Х.М., Зияева Ш.Т. Биологические и химические свойства чая. In: *The XV International Science Conference “Trends in the development of practice and science”, 28–31 Dec 2021, Oslo, Norway*. 2021. P. 201.
 26. Проняева Т.В., Распопов С.А., Ляшев А.Ю. Биохимические компоненты чая и их свойства. В сб.: I научно-теоретическая онлайн-конференция с международным участием «Чай в историческом, культурном, медицинском аспекте». Курск, 2020. С. 421–423. EDN: ATFBZC.
 27. Платонова Н.Б., Белоус О.Г. Биохимический состав чая и его изменения под влиянием различных факторов // *Техника и технология пищевых производств*. 2020. № 3. С. 404–414. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-3-404-414.
 28. Воронцов П.А., Дзик Л.Р., Землякова Е.С. Исследования черного чая разных торговых марок и оценка его качества // *Вестник молодежной науки*. 2021. № 5. С. 12. DOI: 10.46845/2541-8254-2021-5(32)-14-14.
 29. Nguyen T.T.L., Minh T.L., Do D.Q., et al. Optimization of alcohol extraction and spraydrying conditions for efficient processing and quality evaluation of instant tea powder from lotus and green tea leaves // *Pharmacia*. 2022. Vol. 69, N 3. P. 621–630. DOI: 10.3897/pharmacia.69.e84650.

30. Wei Y., Pang Y., Ma P., et al. Green preparation, safety control and intelligent processing of high-quality tea extract // *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2024 Vol. 64. N 31. P. 11468–11492. DOI: 10.1080/10408398.2023.2239348.
31. Wang Y., Kan Z., Thompson H. J., et al. Impact of Six Typical Processing Methods on the Chemical Composition of Tea Leaves Using a Single *Camellia sinensis* Cultivar, Longjing 43 // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019. Vol. 67, N 19. P. 5423–5436. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b05140.
32. Никерова К.М., Тихонова И.В., Галибина Н.А. и др. Ферменты антиоксидантной системы – индикаторы разных сценариев ксиллогенеза: в раннем онтогенезе и во взрослом состоянии (на примере *Betula pendula* Roth) // *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2018. № 6. С. 68–80. DOI: 10.17076/eb787.
33. Zhu Y., Zhang L., Wang X., et al. Simultaneous monitoring of polyphenol oxidase and peroxidase in tea processing using a lab-made microfluidic paper-based analytical device // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2022. Vol. 369. Art. 132301.
34. Unachukwu U.J., Ahmed S., Kavalier A., et al. White and Green Teas (*Camellia sinensis* var. *sinensis*): Variation in Phenolic, Methylxanthine, and Antioxidant Profiles // *Journal of Food Science*. 2019. Vol. 75, N. 6. P. C541–C548. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01705.x.
35. Васильева А.Н., Татарченко И.И., Славянский А.А., и др. Влияние фенольных соединений на антиоксидантную активность чая // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2022. Т. 73, № 2. С. 75–79. DOI: 10.33979/2219-8466-2022-73-2-75-79.
36. Валиулина Д.Ф., Макарова Н.В., Будылин Д.В. Сравнительный анализ химического состава и антиоксидантных свойств разных видов чая как исходного сырья для производства чайных экстрактов // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2018. Т. 80, № 2. С. 249–255. DOI: 10.21448/ijsm.1014894.
37. Fernandez P.L., Martin M.J., Gonzalez A.G., et al. HPLC determination of catechins and caffeine in tea. Differentiation of green, black and instant teas // *Analyst*. 2000. Vol. 125, N 3. P. 421–425. DOI: 10.1039/A909219F.
38. Zhao J., Li Y., Xu M., et al. Simultaneous Determination of Caffeine and Nine Catechins in Tea by Ultra-Performance Liquid Chromatography Coupled with Photodiode Array Detector // *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 2020. Vol. 2020. P. 1–9. DOI: 10.1155/2020/8871982.
39. Гуцаева К.С., Цюпко Т.Г., Воронова О.Б., и др. Определение кофеина, катехинов и галловой кислоты в черном чае различного происхождения // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2021. Т. 87, № 9. С. 12–19. DOI: 10.26896/1028-6861-2021-87-9-12-19.
40. Alcázar A., Ballesteros O., Jurado J.M., et al. Differentiation of green, white, black, Oolong, and Pu-erh teas according to their free amino acids content // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017. Vol. 55, N 15. P. 5960–5965. DOI: 10.1021/jf070601a.
41. Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy // *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001. Vol. 30, N. 1. P. F4.3.1–F4.3.8. DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01.
42. Patel S. Uniformity in Tea Drying Processes // *Tea Research Journal*. 2021. Vol. 19, N 2. P. 160–175. DOI: 10.1016/j.electacta.2019.03.135.
43. Delfiya D.S.A., Prashob K., Murali S., et al. Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review // *Journal of Food Process Engineering*. 2022. Vol. 45, N 6. Art. e13810. DOI: 10.1111/jfpe.13810.
44. El-Mesery H.S., Alshaer W.G., Abomohra A.E.F., et al. A novel infrared drying technique for processing of apple slices: Drying characteristics and quality attributes // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2023. Vol. 52. Art. 103676. DOI: 10.1016/j.csite.2023.103676.
45. Guldiken B., Toydemir G., Boyacioglu D., et al. Impacts of infrared heating and tempering on the chemical composition, morphological, functional properties of navy bean and chickpea flours // *European Food Research and Technology*. 2022. Vol. 248, N 3. P. 767–781. DOI: 10.1007/s00217-021-03918-4.

References

1. Gemega KhV. Charakteristika rynka chaya na osnove analiza potrebitelej. In: VI Vserossijskaya molodezhnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya (s mezhdunarodnym uchastiem) "Analiz sostoyaniya i perspektivy razvitiya e`konomiki Rossii". 30 Apr 2022. Ivanovo, 2022. P. 16–18. (In Russ.). EDN: HUNVRN.
2. Platonova NB, Belous OG. Brief history of introduction and development of tea growing in Russia. *Sciences of Europe*. 2016;2-2(2):91-95. (In Russ.). EDN: WSWXGN.
3. Nikolaeva MA, Kartashova LV. Rynok Chaya i kofe: sostoyanie i perspektivy razvitiya. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov*. 2018;3:63-70. (In Russ.). EDN: YVGNZU.
4. Isanbulatova ES. Russia's export potential in the global tea market. *Business Strategies*. 2022;10(3):57-59. (In Russ.). DOI: 10.17747/2311-7184-2022-3-57-59.
5. Lisinenko IV, Lisinenko IN. Green tea processing method. Patent. RU 2689694 C1. 28.05.2019, Bul. 16. (In Russ.). EDN: RLOBKW.
6. Burak LCh. Modern methods of food processing. Critical review. *The Scientific Heritage*. 2024;130:45-59. (In Russ.). DOI: 10.5281/zeNdo.10632041.
7. Manyatsi TS, Mamba N, Nxumalo SP, et al. Effects of infrared heating as an emerging thermal technology on physicochemical properties of foods. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2023;63(24):6840-6859. DOI: 10.1080/10408398.2022.2043820.
8. Zhou C, Wang D, Chen J, et al. Ultrasound, infrared and its assisted technology, a promising tool in physical food processing: A review of recent developments. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2023;63(11):1587-1611. DOI: 10.1080/10408398.2021.1966379.
9. Fayaz U, Dar AH, Shivashankar C. Applications of infrared processing in the food industry. In: Gavahian A, editor. *Emerging thermal processes in the food industry*. Woodhead Publishing; 2023. P. 63–92. DOI: 10.1016/B978-0-12-822107-5.00003-9.
10. Puneet K, Chakraborty SK, Lalita. Infrared radiation: Principles and applications in food processing. In: *Thermal food engineering operations*. 2022. P. 349–373. DOI: 10.1002/9781119776437.ch12.
11. Burak LCh, Zavaley AP. Combined ultrasound and microwave food processing: efficiency review. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(2):342-357. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2-2510.
12. Onipchenko KI, Baranova ZA. Production of green tea with the use of steam fixation intensive twisting of the leaf. In: II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya v ramkah mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma, posvyaschennogo Dnyu Hleba i soli "Pischevye tehnologii buduschego: innovacii v proizvodstve i pererabotke sel'skohozyajstvennoj produkcii". 24–25 Mar 2021. Saratov; 2021. P. 541–547. (In Russ.). EDN: LBUUFU.
13. Filatov VV. The new concept of technological maintenance of processing of grain and groats on the basis of new physical methods of a supply of heat is developed. *Storage and Processing of Farm Products*. 2010;(10):19-24. (In Russ.). EDN: NCONMP.
14. Levinskii VN, Popov VM, Afon'kina VA, et al. Primenenie infrakrasnogo izlucheniya v texnologicheskom processe obrabotki chajnogo sbora iz ivan-chaya. In: IX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Aktual'ny'e problemy e`nergetiki APK". 15–16 Apr 2018. Saratov; 2018. P. 91–93. (In Russ.). EDN: VSWYZQ.
15. Tyagi L, Gupta N, Sood M, et al. Infrared heating in food processing: An overview. *Int J Chem Stud*. 2020;8(3):327-336. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i3e.9248.
16. Lee EH. A review on applications of infrared heating for food processing in comparison to other industries. In: *Innovative Food Processing Technologies: A Comprehensive Review*. Elsevier; 2020;2:431-455.
17. Yadav G, Gupta N, Sood M, et al. Infrared heating and its application in food processing. *Pharma In Nov J*. 2020;9(2):142-151.
18. Anumudu CK, Onyeaka H, Ekwueme CT, et al. Advances in the application of infrared in food processing for improved food quality and microbial inactivation. *Foods*. 2024;13(24):4001. DOI: 10.3390/foods13244001.

19. Fakayode OA, Ojoawo OO, Zhou M, et al. Revolutionizing food processing with infrared heating: New approaches to quality and efficiency. *Food Physics*. 2024;100046. DOI: 10.1016/j.foodp.2024.100046.
20. McKay DL, Blumberg JB. The Role of Tea in Human Health: An Update. *Journal of the American College of Nutrition*. 2002;21(1):1-13. DOI: 10.1080/07315724.2002.10719187.
21. Creed JH, Peeri NC, Anic GM, et al. A prospective study of coffee and tea consumption and the risk of glioma in the UK Biobank. *Eur J Cancer*. 2020;129:123-131. DOI: 10.1016/j.ejca.2020.01.012.
22. Musial C, Kuban-Jankowska A, Gorska-Ponikowska M. Beneficial properties of green tea catechins. *Int J Mol Sci*. 2020;21(5):1744. DOI: 10.3390/ijms21051744.
23. Nain CW, Lee SJ, Lee J, et al. The catechins profile of green tea extracts affects the antioxidant activity and degradation of catechins in DHA-rich oil. *Antioxidants*. 2022;11(9):1844. DOI: 10.3390/antiox11091844.
24. Radeva-Ilieva M, Stoeva S, Hvarchanova N, et al. Green Tea: Current Knowledge and Issues. *Foods*. 2025;14(5):745. DOI: 10.3390/foods14050745.
25. Mirkhoshimova KhM, Ziyaeva ShT. Biologicheskie i khimicheskie svoistva chaya. In: *The XV International Science Conference "Trends in the development of practice and science"*. 28–31 Dec 2021. Oslo, Norway; 2021. P. 201. (In Russ.).
26. Pronyaeva TV, Raspopov SA, Lyashev AYu. Biokhimicheskie komponenty Chaya i ikh svoistva. In: *I nauchno-teoreticheskaya onlajn-konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem «Chaj v istoricheskom, kul'turnom, medicinskom aspekte»*. Kursk; 2020. P. 421–423. (In Russ.). EDN: ATFBZC.
27. Platonova NB, Belous OG. Biochemical composition of tea and its changes under different factors. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;3:404-414. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-3-404-414. (In Russ.).
28. Vorontsov PA, Dzik LR, Zemlyakova ES. Issledovaniya chernogo chaya raznykh torgovykh marok i otsenka ego kachestva. *Vestnik molodezhnoj nauki*. 2021;5:12. DOI: 10.46845/2541-8254-2021-5(32)-14-14. (In Russ.).
29. Nguyen TTL, Minh TL, Do DQ, et al. Optimization of alcohol extraction and spraydrying conditions for efficient processing and quality evaluation of instant tea powder from lotus and green tea leaves. *Pharmacia*. 2022;69(3):621-630.
30. Wei Y, Pang Y, Ma P, et al. Green preparation, safety control and intelligent processing of high-quality tea extract. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2024;64(31):11468-11492. DOI: 10.1080/10408398.2023.2239348.
31. Wang Y, Kan Z, Thompson HJ, et al. Impact of six typical processing methods on the chemical composition of tea leaves using a single camellia sinensis cultivar, longjing 43. *J Agric Food Chem*. 2019;67(19):5423-5436. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b05140.
32. Nikerova KM, Galibina NA, Moshchenskaya YuL, et al. The antioxidant enzymes – indicators of different xylogenesis scenarios: in early ontogeny and in adult plants (example of *Betula pendula* Roth). *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2018;(6):68-80. (In Russ.). DOI: 10.17076/eb787.
33. Zhu Y, Zhang L, Wang X, et al. Simultaneous monitoring of polyphenol oxidase and peroxidase in tea processing using a lab-made microfluidic paper-based analytical device. *Sens Actuators B Chem*. 2022;369:132301.
34. Unachukwu UJ, Ahmed S, Kavalier A, et al. White and green teas (*Camellia sinensis* var. *sinensis*): variation in phenolic, methylxanthine, and antioxidant profiles. *J Food Sci*. 2010;75(6):C541-C548. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01705.x.
35. Vasil'eva AN, Tatarchenko II, Slavianskii AA, et al. Influence of phenolic compounds on tea's antioxidant activity. *Technology and merchandising of the innovative foodstuff*. 2022;73(2):75-79. DOI: 10.33979/2219-8466-2022-73-2-75-79. (In Russ.).
36. Valiulina DF, Makarova NV, Budylin DV. Sravnitel'nyj analiz himicheskogo sostava i antioksidantnyh svojstv raznyh vidov chaya kak ishodnogo syr'ya dlya proizvodstva chajnyh e'kstraktov. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018;80(2):249-255. (In Russ.). DOI: 10.21448/ijsm.1014894.

37. Fernandez PL, Martin MJ, Gonzalez AG, et al. HPLC determination of catechins and caffeine in tea. Differentiation of green, black and instant teas. *Analyst*. 2000;125(3):421-425. DOI: 10.1039/A909219F.
38. Zhao J, Li Y, Xu M, et al. Simultaneous Determination of Caffeine and Nine Catechins in Tea by Ultra-Performance Liquid Chromatography Coupled with Photodiode Array Detector. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 2020;2020:1-9. DOI: 10.1155/2020/8871982.
39. Gushchaeva KS, Tsyupko TG, Voronova OB, et al. Determination of caffeine, catechins and gallic acid in black tea of various geographical origin. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2021;87(9):12-19. (In Russ.). DOI: 10.26896/1028-6861-2021-87-9-12-19.
40. Alcázar A, Ballesteros O, Jurado JM, et al. Differentiation of green, white, black, Oolong, and Pu-erh teas according to their free amino acids content. *J Agric Food Chem*. 2007;55(15):5960-5965. DOI: 10.1021/jf070601a.
41. Lichtenthaler HK, Buschmann C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001;30(1):F4.3.1-F4.3.8. DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01.
42. Patel S. Uniformity in Tea Drying Processes. *Tea Res J*. 2021;19(2):160-175. DOI: 10.1016/j.electacta.2019.03.135.
43. Delfiya DSA, Prashob K, Murali S, et al. Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. *J Food Process Eng*. 2022;45(6):e13810. DOI: 10.1111/jfpe.13810.
44. El-Mesery HS, Alshaer WG, Abomohra AEF, et al. A Novel infrared drying technique for processing of apple slices: Drying characteristics and quality attributes. *Case Stud Therm Eng*. 2023;52:103676. DOI: 10.1016/j.csite.2023.103676.
45. Guldiken B, Toydemir G, Boyacioglu D, et al. Impacts of infrared heating and tempering on the chemical composition, morphological, functional properties of navy bean and chickpea flours. *Eur Food Res Technol*. 2022;248(3):767-781. DOI: 10.1007/s00217-021-03918-4.

Статья принята к публикации 23.03.2026 / The article accepted for publication 23.03.2026.

Информация об авторах:

Наталья Евгеньевна Куликова, доцент кафедры химии, технологии полимеров и упаковочных решений, кандидат технических наук

Антонина Григорьевна Чернобровина, доцент кафедры химии, технологии полимеров и упаковочных решений, кандидат технических наук

Information about the authors:

Natalia Evgenyevna Kulikova, Associate Professor at the Department of Chemistry, Polymer Technology, and Packaging Solutions, Candidate of Technical Sciences

Antonina Grigoryevna Chernobrovina, Associate Professor at the Department of Chemistry, Polymer Technology, and Packaging Solutions, Candidate of Technical Sciences

