

Юлия Юрьевна Печникова^{1✉}, Лариса Валентиновна Зайцева², Денис Юрьевич Сотченко³,
Марина Николаевна Костюченко⁴, Хачатур Александрович Балуйан⁵

^{1,2,3,4,5}НИИ хлебопекарной промышленности, Москва, Россия

¹yu.pechnikova@gosniihp.ru

²l.zaitceva@gosniihp.ru

³d.sotchenko@gosniihp.ru

⁴m.kostyuchenko@gosniihp.ru

⁵kh.baluyan@gosniihp.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ЦВЕТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЫПЕЧКИ РЖАНО-ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА

Цель исследований – определение изменений цветовых характеристик корки и мякиша ржано-пшеничного хлеба при различной продолжительности выпечки изделия в электрической подовой печи. Объекты исследований – образцы хлеба, приготовленного двухфазным способом (на густой ржаной закваске) из смеси муки ржаной хлебопекарной обдирной и муки пшеничной хлебопекарной первого сорта по рецептуре хлеба дарницкого с различной продолжительностью выпечки (15, 20, 25, 30, 35 и 40 мин). Готовым изделиям через 18–20 ч после выпечки давали органолептическую оценку по следующим дескрипторам: цвет корки, цвет мякиша, запах хлеба, запах мякиша, вкус, состояние мякиша. Определение цветовых характеристик корки и мякиша хлеба инструментальным методом проводили при помощи колориметра Chroma meter CR-410 (Konica Minolta, Япония) в системе CIE Lab. Продолжительность выпечки хлеба оказывала значительное влияние на органолептические показатели. Высокие баллы практически по всем дескрипторам, включая цвет корки и мякиша, получил хлеб, выпекаемый в течение 35 мин. Цветовые характеристики корки изделия, фиксируемые колориметром, также претерпевали изменения. Числовые значения показателя L^ с увеличением продолжительности выпечки от 15 до 35 мин снижались на 17 % (от $(54,14 \pm 0,33)$ до $(44,96 \pm 0,11)$ %). Значения показателя a^* : при 15, 20 и 25 мин выпечки практически не изменялись (от $(8,08 \pm 0,16)$ до $(8,83 \pm 0,12)^\circ$); но при 35 мин выпечки снижались практически в 2 раза. Числовые значения показателя b^* : значительно уменьшались (от $(14,6 \pm 0,20)$ (15 мин выпечки) до $(1,99 \pm 0,15)^\circ$ (35 мин выпечки), а при 40-минутной выпечке несколько возрастали. В исследованных условиях величина характеристики L^* коррелировала с получением ржано-пшеничного хлеба с приемлемыми показателями качества. Цветовые характеристики мякиша хлеба практически не претерпевали изменений при продолжительности выпечки от 15 до 40 мин.*

Ключевые слова: ржано-пшеничный хлеб, продолжительность выпечки хлеба, органолептический анализ хлеба, колориметрия, цветовые характеристики

Для цитирования: Печникова Ю.Ю., Зайцева Л.В., Сотченко Д.Ю., и др. Применение инструментального метода анализа цвета для установления оптимальной продолжительности выпечки ржано-пшеничного хлеба // Вестник КрасГАУ. 2026. № 6. С. 311–323. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-311-323.

Финансирование: исследования проводились в рамках выполнения государственного задания Рег. № НИИОКТР 1021051101511-3-4.4.1.

Yulia Yuryevna Pechnikova^{1✉}, Larisa Valentinovna Zaitseva², Denis Yuryevich Sotchenko³,
Marina Nikolaevna Kostyuchenko⁴, Khachatur Aleksandrovich Baluyan⁵

^{1,2,3,4,5}Research Institute of the Bakery Industry, Moscow, Russia

¹yu.pechnikova@gosnihp.ru

²l.zaitseva@gosnihp.ru

³d.sotchenko@gosnihp.ru

⁴m.kostyuchenko@gosnihp.ru

⁵kh.baluyan@gosnihp.ru

APPLICATION OF A COLOR ANALYSIS INSTRUMENTAL METHOD TO ASSESS RYE-WHEAT BREAD BAKING TIME

The aim of the study is to determine changes in the color characteristics of the crust and crumb of rye-wheat bread during different baking times in an electric deck oven. The objects of the study were bread samples prepared using a two-phase method (with a thick rye sourdough) from a mixture of medium-dry rye flour and first-grade wheat flour according to the Damitsky bread recipe with different baking times (15, 20, 25, 30, 35, and 40 min). The finished products were given an organoleptic assessment 18–20 hours after baking using the following descriptors: crust color, crumb color, bread aroma, crumb aroma, taste, and crumb condition. The color characteristics of the bread crust and crumb were determined instrumentally using a Chroma meter CR-410 colorimeter (Konica Minolta, Japan) in the CIE Lab system. The bread baking time significantly influenced the organoleptic properties. Bread baked for 35 min received high scores for almost all descriptors, including crust and crumb color. The crust color characteristics, recorded by a colorimeter, also changed. The numerical values of the L^ parameter decreased by 17 % (from 54.14 ± 0.33 to 44.96 ± 0.11 %) with an increase in the baking time from 15 to 35 min. The a^* parameter values: at 15, 20 and 25 min of baking remained virtually unchanged (from 8.08 ± 0.16 to 8.83 ± 0.12); but at 35 min of baking they decreased almost 2-fold. The numerical values of the b^* parameter significantly decreased (from 14.6 ± 0.20 (15 min baking) to 1.99 ± 0.15) (35 min baking), and increased slightly with 40-minute baking. Under the studied conditions, the value of the L^* characteristic correlated with the production of rye-wheat bread with acceptable quality indicators. The color characteristics of the bread crumb remained virtually unchanged with baking times from 15 to 40 minutes.*

Keywords: rye-wheat bread, bread baking time, organoleptic analysis of bread, colorimetry, color characteristics

For citation: Pechnikova YuYu, Zaitseva LV, Sotchenko DYU, et al. Application of a color analysis instrumental method to assess rye-wheat bread baking time. *Bulletin of KSAU*. 2026;(6):311-323. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-311-323.

Funding: research was conducted within the framework of the state assignment Reg. № NIIOKTR 1021051101511-3-4.4.1.

Введение. В настоящее время органолептический анализ является важным методом оценки качества хлебобулочных и мучных кондитерских изделий [1–4]. Цвет является одним из показателей, оказывающих влияние на потребительские предпочтения при выборе указанных продуктов. Цвет изделий формируется в процессе выпечки в результате протекания реакции Майяра между углеводами (преимущественно моно- и дисахаридами) и аминокислотами с образованием темноокрашенных соединений – меланоидинов. В зависимости от температуры и продолжительности выпечки, а также концентрации перечисленных веществ, цвет изделия

может варьировать от светло-желтых до темно-коричневых оттенков. Большое влияние на конечный цвет изделия могут оказывать также различные ингредиенты, введенные в рецептуру изделия. Недостатком органолептического анализа, проводимого даже обученными дегустаторами, является субъективность оценки, зависящая как от предпочтений эксперта, так и от условий проведения анализа. Словесное описание цвета также часто не позволяет точно оценивать произошедшие изменения при сравнении различных рецептур изделий.

Инструментальные методы анализа цветовых характеристик лишены этих недостатков и

позволяют получить объективную оценку влияния рецептурных и технологических изменений на цвет изделия. В настоящее время наибольшее распространение в мире получила колориметрическая оценка цветовых характеристик с применением системы CIE Lab [5]. В системе CIE Lab оценка цвета происходит по трем осям: L^* , a^* и b^* . Ось L^* (Lightness) описывает светлоту (яркость) цвета по шкале от 0 (абсолютно черный) до 100 % (абсолютно белый). Ось a^* описывает цвет по шкале от « -128° » (зеленый) до « $+128^\circ$ » (красный). Ось b^* описывает цвет также по шкале от « -128° » (синий) до « $+128^\circ$ » (желтый) [6]. Учитывая то, что цвет хлебобулочных и мучных кондитерских изделий – важная характеристика при их выборе потребителем, использование инструментального метода его оценки для контроля и стандартизации цветовых характеристик является актуальным.

Одним из направлений оценки цветовых характеристик мучных изделий колориметрическим методом является изучение влияния различных видов муки на их изменение. Индийскими учеными исследовано влияние 37 различных линий пшеницы (черной, голубой, фиолетовой), цвет которых обусловлен присутствием антоцианов, на цветовые характеристики кексов. Установлено, что значения показателя L^* для корки изделия изменялись от 32,7 до 54,0 %, а для мякиша – в пределах 56,7–68,4 %. При этом самые высокие значения L^* отмечены для контрольной линии пшеницы, не содержащей антоцианы [7]. В статье польских ученых изучено влияние добавления в рецептуру пшеничного хлеба как ферментированного лактобактериями или бифидобактериями, так и неферментированного нута (37 % от массы пшеничной муки). Показано, что цветовые характеристики корки изделия изменялись: величина показателя L^* снижалась, а показателей a^* и b^* возрастала по сравнению с контролем [8]. Венгерскими учеными проведена оценка цвета различных видов муки: пшеничной муки, цельнозерновой пшеничной муки, муки тритикале и ржаной муки. Используя данные координат L^* , a^* , b^* и спектрального анализа образцов с использованием метода основных компонентов, была разработана методика распознавания муки в зависимости от ее происхождения [9].

Не меньший интерес представляют исследования колориметрических характеристик изделия при введении в рецептуру разноцветных ингредиентов. Использование в рецептуре кек-

сов экстракта кожуры граната для обогащения полифенолами оказывало существенное влияние на цвет корки и мякиша изделия. Как и следовало ожидать, значения показателя L^* и b^* в обоих случаях снижались с увеличением количества вносимого экстракта (от 0,5 до 1,5 г/100 г изделия). Тогда как значения показателя a^* мякиша кекса увеличивались (интенсификация красного оттенка), а корки незначительно снижались, однако численные значения этого показателя у корки были в 3,5–12 раз выше, чем у мякиша. Отмечено, что внесение экстракта кожуры граната при органолептическом анализе снижало с 4,5 до 3 баллов потребительскую оценку цвета изделий [10]. Аналогичные результаты по изменению цветовых характеристик печенья получены при внесении в рецептуру порошка из кожуры красных бананов с целью повышения в изделии пищевых волокон и фенольных соединений [11]. Добавление порошка из апельсиновой корки в рецептуру безглютеновых лепешек на основе рисовой или кукурузной муки в количестве 3–9 % от массы муки приводило к усилению желтого цвета лепешек, что обеспечивало снижение численных значений показателя L^* и увеличение численных значений показателя b^* , особенно для рисовых лепешек [12]. Российскими учеными исследовано влияние добавки измельченного сафлора (10–15 % от массы муки) в рецептуру пшеничного хлеба на цветовые характеристики готового изделия. Установлено, что показатель L^* уменьшается с 59 до 49 %, значения показателей a^* и b^* претерпевают незначительные изменения [13]. В работе авторов из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого оценено влияние порошка из бобов мескита (Перу) светло-коричневого цвета, вводимого в рецептуру безглютенового печенья из кукурузной и рисовой муки, на изменение цветовых характеристик изделия. Отмечено, что добавление порошка приводило к формированию коричневого оттенка у печенья за счет окисления полифенолов и интенсификации реакций меллаидинообразования, что сказывалось на снижении показателя L^* и увеличении значений показателей a^* и b^* [13]. Подробное изучение влияния комплексной добавки, состоящей из измельченной пророщенной спелты, порошков семян тыквы, грибов вешенки и ягод крыжовника, на цветовые характеристики корки и мякиша пшеничного и ржано-пшеничного хлеба рассмотрено в статье [14]. Авторами показано, что

внесение комплексной добавки в количестве 10, 16 и 22 % от массы муки во всех случаях приводило к снижению показателя L^* (потемнение) и увеличению показателей a^* и b^* , также увеличивался показатель цветности C^* , характеризующий насыщенность цвета.

Таким образом, во всех исследованиях установлено, что внесение цветных пищевых ингредиентов в рецептуру изделий на основе пшеничной, рисовой и кукурузной муки в первую очередь приводит к снижению показателя L^* , т. е. потемнению цвета изделия, при этом значения показателей a^* и b^* чаще всего возрастают.

Обогащение хлебобулочных и мучных кондитерских изделий белком из различных источников также может влиять на цвет изделия, в основном за счет интенсификации реакции Майяра при наличии дополнительных источников белка [15–17]. Однако это влияние не всегда однозначно. Показатель L^* снижается, изменения показателей a^* и b^* зависят от используемого источника белка. В случае использования соевого молока взамен воды при производстве хлеба значения этих показателей возрастают [15], а в случае использования в качестве альтернативного источника белка муки из сверчка домашнего в рецептуре овсяного печенья значения этих показателей снижаются, в особенности b^* [16].

С практической точки зрения актуальными являются исследования изменений цветовых характеристик хлебобулочных изделий на различных стадиях технологического процесса, а также при их последующем хранении в торговой сети. Российскими учеными изучено влияние конвективного и электроконтактного способов выпечки на цвет корки пшеничного хлеба с различными добавками. Установлено, что конвективный способ выпечки приводит к получению более темных изделий, тогда как при электроконтактном способе наблюдается снижение показателей a^* (краснота), b^* (желтизна) и C^* (интенсивность окраски) при увеличении показателя L^* (светлота). Исследование внесения различных пищевых ингредиентов показало, что для замедления реакции мелаидинообразования при конвективном способе выпечки можно использовать антиокислители, например экстракт стевии или ферментный препарат Липопан 50 BG [18]. В работе перуанских ученых на основании инструментальной оценки цвета корки хлеба при различной температуре и продолжительности выпечки с последующим опреде-

лением минимальных, максимальных и оптимальных значений цветовых характеристик разработана методология оптимизации процесса выпечки хлеба [19]. Исследованы изменения цвета мякиша хлеба из белой и красной твердой муки в процессе хранения в течение 72 ч. Зафиксировано некоторое увеличение значений показателя a^* при снижении значений показателя b^* , тогда как значения показателя L^* незначительно увеличивались в первые 24 ч при резком снижении впоследствии. Обнаруженные различия в цветовых характеристиках мякиша, по мнению авторов, могут стать инструментом для прогнозирования изменений органолептических показателей хлеба при хранении [20]. Индийскими учеными изучены изменения цветовых характеристик мякиша нарезанного пшеничного хлеба при хранении в течение 10 сут. За весь период хранения значения показателей L^* и b^* снижались, а показателя a^* увеличивались. Резкое изменение этих показателей зафиксировано на 10-й день хранения, что было обусловлено микробиологической порчей хлеба [21].

Применение инструментального метода для объективной оценки цвета сырья, полуфабрикатов и хлебобулочных изделий является актуальным для дальнейшей автоматизации технологических процессов хлебопекарного производства.

Цель исследования – изучение изменений цветовых характеристик корки и мякиша ржано-пшеничного хлеба при различной продолжительности выпечки изделия в электрической подовой печи.

Задачи: провести выпечку образцов ржано-пшеничного хлеба в электрической подовой печи в течение 15, 20, 25, 30, 35 и 40 мин; исследовать изменения цвета корки и мякиша хлеба с помощью органолептического анализа и определить цветовые характеристики колориметром; установить взаимосвязь между оптимальными органолептическими показателями изделия и его цветовыми характеристиками.

Объекты и методы. Исследования выполнены в Центре реологии пищевых сред ФГАНУ «НИИ хлебопекарной промышленности». Объектами исследований являлись образцы ржано-пшеничного хлеба, приготовленного двухфазным способом (на густой ржаной закваске) из смеси муки ржаной хлебопекарной обдирной и муки пшеничной хлебопекарной первого сорта по рецептуре хлеба дарницкого (табл. 1, 2).

Унифицированная рецептура хлеба дарницкого
The unified formulation of Darnitsky bread

Сырье	Количество вносимого сырья, % к массе муки
Мука ржаная хлебопекарная обдирная	60
Мука пшеничная хлебопекарная, I сорт	40
Дрожжи прессованные хлебопекарные	0,5
Соль пищевая	1,4
Вода	По расчету, исходя из влажности теста 48 %

Таблица 2

Производственная рецептура и режим приготовления теста
для хлеба дарницкого на ржаной густой закваске
The processed formulation and the mode of preparation
of dough for Darnitsky bread on rye thick sourdough

Сырье, полуфабрикаты и показатели процесса	Расход сырья и параметры процесса приготовления теста на закваске	
	Закваска	Тесто
Закваска, кг	14	42
Мука ржаная хлебопекарная обдирная в закваске на тесто, кг	–	25
Мука ржаная хлебопекарная обдирная, кг	17	35
Мука пшеничная хлебопекарная 1-го сорта, кг	–	40
Соль пищевая, кг	–	1,4
Дрожжи прессованные хлебопекарные, кг	–	0,5
Вода, кг	11	По расчету
Влажность, %	48,5	48,1
Температура начальная, °C	28	29–30
Продолжительность брожения, мин	150–180	60–70
Кислотность конечная, град.	15	8–8,5

В работе использовали следующее сырье: муку ржаную хлебопекарную обдирную по ГОСТ 7045-2017 (производитель – ООО «Гавант», Красноярский край, РФ); муку пшеничную хлебопекарную первого сорта по ГОСТ 26574-2017 (производитель – АО «ГКХП», Волгоградская обл., РФ); дрожжи прессованные хлебопекарные по ГОСТ Р 54731-2011 (производитель – ООО «САФ-НЕВА», Тульская обл., г. Узловая, РФ); соль пищевую по ГОСТ Р 51574-2018 (производитель – ООО «ТДС», г. Брянск, РФ).

Замес ржано-пшеничного теста осуществляли в тестомесильной машине SP80D (фирма Diosna, Германия) при частоте вращения месильного органа 120 об/мин в течение 5 мин и при частоте вращения – 240 об/мин в течение 4 мин. Созревание теста протекало в термостате

при температуре 30 °C в течение 90 мин. После созревания тесто делили на куски массой 450 г и после округления помещали в формы, которые устанавливали в шкаф для окончательной расстойки со следующими параметрами паровоздушной среды: температура 36–37 °C и относительная влажность 75–80 %. Продолжительность окончательной расстойки тестовых заготовок до готовности составляла 50–55 мин. Хлеб выпекали в электрической подовой печи Condo (Miwe, Германия) в течение от 15 до 40 мин, при этом в начале, в пределах первой минуты выпечки, температура пекарной камеры составляла (258 ± 2) °C, а далее температура ТЭН свода и пода печи поддерживалась на уровне (258 ± 2) и (233 ± 2) °C соответственно.

Органолептические показатели хлебобулочных изделий определяли через 18–20 ч после выпечки по ГОСТ 5667-2022 «Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов. Методы определения органолептических показателей и массы изделий» с отдельной оценкой запаха целого изделия и запаха мякиша (п. 7.3.4). Каждый дескриптор (цвет корки, цвет мякиша, запах хлеба, запах мякиша, вкус, состояние мякиша) оценивали по 5-балльной шкале (5 – отлично; 1 – неудовлетворительно). На основании проведенных исследо-

ваний рассчитывали средний балл по каждому из дескрипторов.

Определение цветовых характеристик корки и мякиша хлеба инструментальным методом проводили при помощи колориметра Chroma meter CR-410 (Konica Minolta, Япония) в системе CIE Lab. Готовили по 2 образца с различной продолжительностью выпечки. В каждом образце фиксировали значения в пяти точках корки и трех точках мякиша (центр 3 ломтей), равномерно удаленных друг от друга, по указанной схеме (рис. 1).

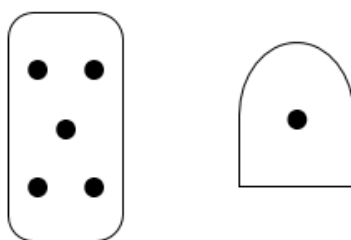


Рис. 1. Схема расположения точек для анализа цвета корки (слева) и мякиша (справа) инструментальным методом

The layout of the points for analyzing the color of the crust (left) and crumb (right) by the instrumental method

Полученные данные обрабатывали в программе Excel с расчетом средних значений L^* , a^* , b^* и ΔE для каждого опытного образца, а затем усредняли показатели по двум образцам с одинаковой продолжительностью выпечки. Достоверность различий оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Продолжительность выпечки хлеба оказывала значительное влияние на его органолептические показатели. Высокие баллы практически по всем дескрипторам, включая цвет корки и мякиша, получил хлеб, выпекаемый в течение 35 мин (рис. 2). Хорошие оценки также получили образцы с продолжительностью выпечки 25 и 30 мин.

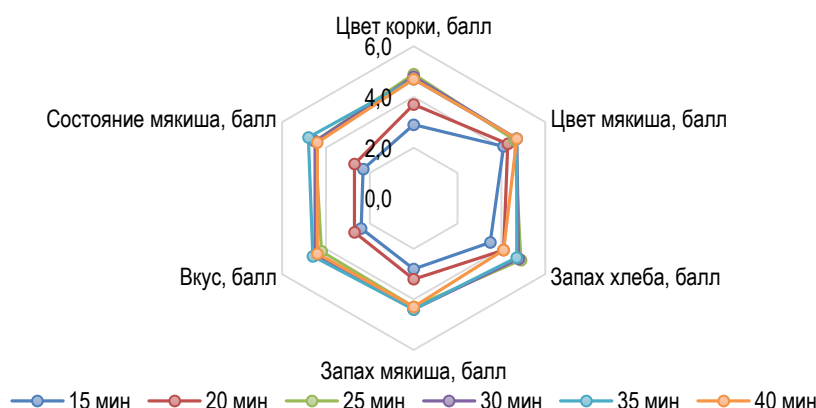


Рис. 2. Квалитетическая оценка образцов ржано-пшеничного хлеба при различной продолжительности выпечки
Qualimetric evaluation of rye-wheat bread samples at different baking times

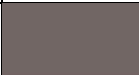
Выпечка в течение 15 мин приводила к получению непропеченного ржано-пшеничного хлеба, характеризующегося невыраженным цветом корки; мякиш, как и изделие в целом, имел запах сырого хлеба, неприятный вкус и сильно комковался. После 20 мин выпечки дегустаторы отметили, что вкус и запах были не свойственные выпеченному хлебу, мякиш характеризовался как неэластичный, но с развитой пористостью. По сравнению с 15 мин выпечки цвет корки и мякиша, а также запах изделия в целом улучшились. Максимальные баллы цвет корки и мякиша, а также запах хлеба получили при продолжительности выпечки 35 мин, остальные дескрипторы были оценены выше 4 баллов. С увеличением продолжительности выпечки

цвет мякиша практически не менялся, тогда как оценка цвета корки снижалась до 3,4–3,1 балла вследствие усиления в нем черного оттенка. Оценка запаха и вкуса хлеба также снижалась к 40 мин выпечки вследствие появления ноток подгорелого хлеба. Продолжительность выпечки в течение 35 мин в исследуемых условиях была признана оптимальной.

Параллельно с органолептическим анализом была осуществлена оценка цветовых характеристик корки и мякиша образцов хлеба инструментальным методом. Цветовые характеристики корки изделия, фиксируемые колориметром, претерпевали значительные изменения. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Влияние продолжительности выпечки
на цветовые характеристики корки ржано-пшеничного хлеба**
The effect of baking time on the color characteristics of rye-wheat bread crust

Показатель		Продолжительность выпечки, мин					
		15	20	25	30	35	40
Цветовые характеристики	L*, %	54,14±0,33	52,29±0,45	48,75±0,45	45,53±0,36	44,23±0,15	44,96±0,11
	a*, °	8,51±0,17	8,08±0,16	8,83±0,12	6,39±0,31	4,55±0,15	5,78±0,18
	b*, °	14,60±0,20	12,81±0,42	9,12±0,54	4,64±0,39	1,99±0,15	3,32±0,22
	ΔE*	31,07±0,38	33,00±0,53	37,39±0,53	41,22±0,41	43,11±0,17	42,12±0,16
Цвет корки							
Внешний вид хлеба							

Установлено, что числовые значения показателя L* с увеличением продолжительности выпечки от 15 до 35 мин снижаются на 17 % (с (54,14 ± 0,33) до (44,23 ± 0,15) %), а потом практически не меняются к 40 мин выпечки. Значение показателя a*: при 15, 20 и 25 мин выпечки практически не изменяется и находится в диапазоне от (8,08 ± 0,16) до (8,83 ± 0,12)°; далее оно снижается практически в 2 раза до (4,55 ± 0,15)° при 35 мин выпечки и снова возрастает при 40 мин выпечки практически до такого же значения, как и при 30 мин выпечки. Числовое значение показателя b*: значительно уменьшается, начиная с 15 мин выпечки, от (14,60 ±

0,20) до (1,99 ± 0,15)° (35 мин выпечки), а при 40-минутной выпечке возрастает на 66 %. Таким образом, продолжительность выпечки 35 мин является переломной в исследованных цветовых характеристиках.

Отмеченные изменения в цветовых параметрах связаны с потемнением цвета при увеличении продолжительности выпечки. Показатель ΔE увеличивается с 31,07 ± 0,38 до 43,11 ± 0,17, что свидетельствует о визуальном изменении цвета по мере увеличения продолжительности выпечки, которые способен фиксировать глаз человека.

На основании полученных экспериментальных данных по приведенным ниже формулам 1–6 был произведен расчет дополнительных цветовых характеристик: насыщенность цвета C^* ; угол цветового тона h^* ; индекс побурения BI^*

(Browning Index); индекс белизны WI^* (Whiteness Index); индекс желтизны YI^* (Yellowness Index).

Полученные расчетные данные приведены в таблицах 4 и 6.

$$C^* = \sqrt{(a^* + b^*)}, \quad (1)$$

$$h^* = \arctg \frac{a^*}{b^*}. \quad (2)$$

$$BI^* = \frac{100 \times (X - 0,31)}{0,172}, \quad (3)$$

$$\text{где } X = \frac{a^* + (1,75 \times L^*)}{(5,645 \times L^*) + a^* - (3,012 \times b^*)}, \quad (4)$$

$$WI^* = \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}, \quad (5)$$

$$YI^* = \frac{142,86 \times b^*}{L^*}. \quad (6)$$

Таблица 4

Расчетные цветовые характеристики корки ржано-пшеничного хлеба при различной продолжительности выпечки
Calculated color characteristics of rye-wheat bread crust at different baking times

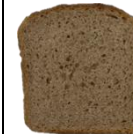
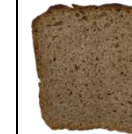
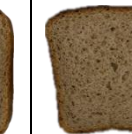
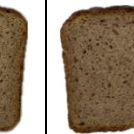
Цветовая характеристика	Продолжительность выпечки, мин					
	15	20	25	30	35	40
C^*	4,81±0,02	4,57±0,04	4,23±0,08	3,32±0,11	2,55±0,06	3,01±0,07
h^*	30,24±0,75	32,30±1,09	44,21±1,37	54,23±1,28	66,53±0,91	60,21±0,89
BI^*	41,97±0,23	38,53±0,67	33,10±1,19	20,37±1,26	11,70±0,55	16,52±0,76
WI^*	48,88±0,27	50,07±0,34	52,81±0,32	55,05±0,30	55,99±0,13	55,45±0,08
YI^*	38,52±0,30	34,98±0,84	26,70±1,35	14,54±1,14	6,41±0,47	10,55±0,68

Исследование других цветовых показателей также подтвердило, что продолжительность выпечки 35 мин в исследованных условиях является точкой перегиба в характере изменения показателя. С увеличением продолжительности выпечки от 15 до 35 мин насыщенность цвета (C^*) вначале снижалась почти в 2 раза, потом снова возрастала при 40 мин выпечки практически до значения, отмеченного при 30 мин. Угол цветового тона (h^*) возрастал более чем в 2 раза к 35 мин выпечки, а затем снова снижался. Коэффициент побурения (BI^*) снижался почти в

4 раза, а к 40 мин выпечки снова возрастал. Коэффициент белизны (WI^*) несколько возрастал к 35 мин выпечки, а потом практически не менялся. Коэффициент желтизны (YI^*) вначале снижался к 35 мин выпечки более чем в 6 раз, а потом снова возрастал.

Средние значения полученных с применением колориметра результатов по изменению цвета мякиша ржано-пшеничного хлеба в зависимости от продолжительности выпечки представлены в таблице 5.

Влияние продолжительности выпечки на цветовые характеристики мякиша ржано-пшеничного хлеба при различной продолжительности выпечки
The effect of baking time on the color characteristics of rye-wheat bread crumb at different baking times

Показатель		Продолжительность выпечки, мин					
		15	20	25	30	35	40
Цветовые характеристики	L*, %	58,28±0,40	56,29±0,24	58,57±0,11	58,22±0,28	57,67±0,29	56,32±0,36
	a*, °	4,61±0,14	4,58±0,15	4,60±0,10	4,55±0,13	4,58±0,12	4,52±0,13
	b*, °	11,18±0,10	10,32±0,13	11,56±0,21	11,25±0,13	11,11±0,18	10,53±0,09
	ΔE*	26,93±0,37	29,02±0,20	26,54±0,13	26,91±0,28	27,51±0,27	28,93±0,34
Цвет мякиша							
Внешний вид хлеба							

Анализ данных по определению цвета мякиша ржано-пшеничного хлеба в параметрах цветового пространства CIE Lab показал, что с увеличением продолжительности выпечки ни один из показателей не претерпевает значительных изменений. Среднее значение показателя L* при продолжительности выпечки 15–35 мин составляло ($57,81 \pm 0,45$) %, и только к 40 мин снижалось до ($56,32 \pm 0,36$) %. Значения пока-

зателей a* и b* практически оставались неизменными при различной продолжительности выпечки и составляли ($4,58 \pm 0,02$) и ($10,99 \pm 0,21$)° соответственно.

Это связано с тем, что мякиш хлеба подвергается меньшему термическому воздействию, чем его корка.

В таблице 6 приведены расчетные данные по дополнительным цветовым характеристикам.

Таблица 6

Расчетные цветовые характеристики мякиша ржано-пшеничного хлеба при различной продолжительности выпечки
Calculated color characteristics of rye-wheat bread crumb at different baking times

Цветовая характеристика	Продолжительность выпечки, мин					
	15	20	25	30	35	40
C*	3,97±0,03	3,86±0,04	4,02±0,04	3,98±0,03	3,96±0,04	3,88±0,03
h*	22,42±0,44	23,93±0,41	21,71±0,13	22,03±0,35	22,42±0,34	23,22±0,44
BI*	26,42±0,59	25,57±0,60	27,05±0,54	26,51±0,57	26,53±0,63	25,91±0,54
WI*	43,44±0,42	45,15±0,28	43,26±0,10	43,50±0,32	44,01±0,32	45,16±0,38
YI*	27,41±0,44	26,20±0,45	28,20±0,49	27,61±0,44	27,52±0,54	26,72±0,39

Как и в случае с показателями L*, a*, b* другие цветовые характеристики мякиша ржано-пшеничного хлеба также не претерпевали значительных изменений в зависимости от продолжительности выпечки.

С учетом того, что наивысшие баллы при органолептическом анализе получил образец с продолжительностью выпечки 35 мин, а образцы с продолжительностью выпечки 25, 30 и

40 мин получили хорошие оценки, в исследованных условиях предложено использовать следующие интервалы цветовых характеристик при оценке ржано-пшеничного хлеба по рецептуре хлеба дарницкого инструментальным методом: L* – 44–50 %; b* – 2–10,5°. В связи с тем, что значения параметра a* при 15 и 25 мин были близки при различной органолептической оценке цвета (2,9 и 4,9 баллов соответственно),

этот показатель не может быть рекомендован для балльной оценки исследованного изделия из смеси ржаной и пшеничной муки инструментальным методом.

Заключение. Переход от субъективной оценки органолептических показателей пищевой продукции к их объективной оценке инструментальными методами является перспективным и актуальным, способствующим внедрению автоматических систем управления технологическими процессами.

С применением органолептического анализа, а также колориметра Chroma meter CR-410 исследовано влияние продолжительности выпечки хлебобулочных изделий из смеси муки ржаной хлебопекарной обдирной и муки пшеничной хлебопекарной 1-го сорта по рецептуре хлеба дарницкого в электрической подовой печи на изменение цвета корки и мякиша изделия.

Высокие баллы практически по всем дескрипторам, включая цвет корки и мякиша, получил хлеб, выпекаемый в течение 35 мин. Все исследованные цветовые характеристики корки изделия (L^* , a^* , b^* ; насыщенность цвета C^* ; угол цветового тона h^* ; индекс побурения BI^* ; индекс белизны WI^* ; индекс желтизны YI^*) претерпевали значительные изменения. При этом продолжительность выпечки в 35 мин в условиях про-

веденных исследований являлась точкой перегиба (переломной) в характере изменения для всех показателей: снижение величины характеристик, а после 35 мин выпечки их увеличение (a^* , b^* ; C^* ; BI^* ; YI^*) или наоборот – сначала увеличение, а потом снижение (h^*). В случае показателя L^* , величина которого снижалась при увеличении продолжительности выпечки, к 35 мин она достигала постоянного значения. Такая же закономерность наблюдалась и у показателя WI^* , увеличение значения которого к 35 мин также достигало некоторого постоянства.

В отличие от корки изделия все цветовые характеристики мякиша ржано-пшеничного хлеба в параметрах цветового пространства CIE Lab с увеличением продолжительности выпечки не претерпевали значительных изменений.

С учетом того, что наивысшие баллы при органолептическом анализе даны образцу с продолжительностью выпечки 35 мин, а образцы с продолжительностью выпечки 25, 30 и 40 мин получили баллы не ниже 4, для оценки ржано-пшеничного хлеба инструментальным методом в исследованных условиях предложено использовать следующие интервалы цветовых характеристик, коррелирующие с приемлемыми потребительскими свойствами хлебобулочного изделия: L^* – 44–50 %; b^* – 2–10,5°.

Список источников

1. Скудова Н.А., Журавлева О.С., Размочаев Е.А., и др. Батоны нарезные и пшенично-ржаные хлебобулочные изделия повышенной пищевой ценности // Вестник КрасГАУ. 2025. № 4 (217). С. 227–236. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-227-236. EDN: KKQKIN.
2. Демиденко Г.А., Типсина Н.Н. Разработка рецептур пряников с полуфабрикатами из клюквы, оценка их качества и технология получения // Вестник КрасГАУ. 2025. № 6 (219). С. 329–343. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-6-329-343. EDN: TIXMCS.
3. Козулина Н.С., Бобровский А.В., Герасимова Н.С., и др. Технологический потенциал сортов яровой пшеницы для производства хлебобулочных изделий // Вестник КрасГАУ. 2025. № 7 (220). С. 219–233. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-219-233. EDN: YNQAEU.
4. Резниченко И.Ю., Мирошина Т.А. Разработка и оценка качества бисквитного рулета специализированного назначения // Вестник КрасГАУ. 2025. № 10 (223). С. 191–199. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-191-199. EDN: GROESM.
5. Балуюн Х.А., Зайцева Л.В., Печникова Ю.Ю., и др. Перспективы использования инструментальных методов в определении цвета хлебобулочных изделий (предметный обзор) // Пищевая промышленность. 2025. № 6. С. 71–75. DOI: 10.52653/PPI.2025.6.6.015. EDN: NIEZWV.
6. Ohno Y. CIE fundamentals for color measurements // NIP&Digital Fabrication Conference. Society of Imaging Science and Technology. 2000. Vol. 16, N 1. P. 540–545. DOI: 10.2352/ISSN.2169-4451.2000.16.1.art00033_2.
7. Ali U., Chaudhary E., Kaur S., et al. Evaluation of anthocyanin rich color wheat lines (black, blue, purple) for their cake making quality // Journal of Cereal Science. 2023. Vol. 113. 103757. DOI: 10.1016/j.jcs.2023.103757. EDN: SLAFXF.

8. Skrzypczak K., Wirkijowska A., Przygoński K., et al. Quality and functional properties of bread containing the addition of probiotically fermented *Cicer arietinum* // Food Chemistry. 2024. Vol. 448, N 5. 139117. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.139117. EDN: QSJRIH.
9. Horváth A., Kajdi F., Dóka O. Classification of flours based on color measurements and evaluation using multivariate mathematical methods // Heliyon. 2025. Vol. 11, N 16. e44096. DOI: 10.1016/j.heliyon.2025.e44096. EDN: IQDDUA.
10. Mirab B., Gavligi H.A., Sarteshnizi R.A., et al. Production of low glycemic potential sponge cake by pomegranate peel extract (PPE) as natural enriched polyphenol extract: Textural, color and consumer acceptability // LWT – Food Science and Technology. 2020. Vol. 134, N 1. 109973. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109973. EDN: QSSXGE.
11. Aravind M.S., Mattshe R.K.S., Prasanna P., et al. Valorization and characterization of red banana (*Musa acuminata*) peel powder for the development of functional cookies // Food and Humanity. 2025. Vol. 5. 100683. DOI: 10.1016/j.foohum.2025.100683. EDN: BXTORL.
12. Gasparre N., Garzon R., Marín K., et al. Exploring the integration of orange peel for sustainable gluten-free flatbread making // LWT – Food Science and Technology. 2024. Vol. 198, N 1. 115969. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.115969. EDN: ZHIGIB.
13. Нилова Л.П., Малютенкова С.М. Использование порошка мескита в производстве безглютенового печенья // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12, № 4 (64). С. 154–159. EDN: DZJPFJ.
14. Маслов А.В., Мингалеева З.Ш., Ямашев Т.А., и др. Влияние комплексной добавки на цветовые характеристики пшеничного и ржано-пшеничного хлеба // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2023. № 4 (393). С. 45–51. DOI: 10.26297/0579-3009.2023.4.8. EDN: RRVWJL.
15. Pokuah A.A., Atuna R.A., Akabanda F., et al. Enrichment of bread with soymilk using response surface methodology. // Food Chemistry Advances. 2024. Vol. 4, N 4. 100570. DOI: 10.1016/j.focha.2023.100570. EDN: LNEHVJ.
16. Полубесова М.А., Мечтаева Е.В., Чернов А.Д., и др. Влияние добавления муки из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*) на характеристики овсяного печенья // Вестник НГАУ. 2025. Т. 75, № 2. С. 232–245. DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-232-245. EDN: UDCTZE.
17. Ricci V., D'Aversa S., Bertolino M., et al. Impact of second cheese whey on technological properties, microbial profile, volatile compounds, and consumers' acceptance of sourdough bread made with traditional Italian flours // Applied Food Research. 2026. Vol. 6, N 1. 101566. DOI: 10.1016/j.afres.2025.101566. EDN: QDBIUR.
18. Хузин Ф.К., Ямашев Т.А., Канарский А.В., и др. Влияние способа выпечки и рецептурного состава хлебобулочных изделий на цветовые характеристики их поверхности // Хлебопродукты. 2020. № 1. С. 56–59. DOI: 10.32462/0235-2508-2020-29-1-56-59. EDN: RCDVHX.
19. Castro W., Oblitas J., Chuquizuta T.T.S., et al. Application of image analysis to optimization of the bread-making process based on the acceptability of the crust color // Journal of Cereal Science. 2017. Vol. 74. P. 194–199. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.02.002.
20. Smith B.M., Ramsay S.A., Roe A., et al. Reducing visual differences in whole grain bread prepared with hard red and hard white wheat: application for sensory studies // Journal of Food Science. 2019. Vol. 84, N 8. P. 2325–2329. DOI: 10.1111/1750-3841.14722.
21. Sahu D., Ghosh S., Jayaraman S., et al. Low-cost machine learning-integrated optical spectrophotometer for non-destructive color and shelf-life analysis: A study on sliced bread // Food Chemistry. 2025. Vol. 492, N 2. 145379. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.145379. EDN: YORJYM.

References

1. Skudova NA, Zhuravleva OS, Razmochaev EA, et al. Sliced loaves and wheat-rye bakery products of increased nutritional value. *Bulletin of KSAU*. 2025;(4):227-236. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-227-236. EDN: KKQKIN.

2. Demidenko GA, Tipsina NN. Development of recipes for gingerbread cookies with semifinished cranberry products, assessment of their quality and production technology. *Bulletin of KSAU*. 2025;(6):329-343. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-6-329-343. EDN: TIXMCS.
3. Kazulina NS, Bobrovsky AV, Gerasimova NS, et al. Technological potential of spring wheat varieties to produce bakery products. *Bulletin of KSAU*. 2025;(7):219-233. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-219-233. EDN: YNQAUEU.
4. Reznichenko IYu, Miroshina TA. Development and quality evaluation of a special-purpose sponge roll. *Bulletin of KSAU*. 2025;(10):191-199. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-191-199. EDN: GROESM.
5. Baluyan KhA, Zaytseva LV, Pechnikova YuYu, et al. Prospects of using instrumental methods in determining the color of bakery products (A substantive review). *Food Industry*. 2025;6:71-75. (In Russ.). DOI: 10.52653/PPI.2025.6.6.015. EDN: NIEZWV.
6. Ohno Y. CIE fundamentals for color measurements. NIP&Digital Fabrication Conference. *Society of Imaging Science and Technology*. 2000;16(1):540-545. DOI: 10.2352/ISSN.2169-4451.2000.16.1.art00033_2.
7. Ali U, Chaudhary E, Kaur S, et al. Evaluation of anthocyanin rich color wheat lines (black, blue, purple) for their cake making quality. *Journal of Cereal Science*. 2023;113:103757. DOI: 10.1016/j.jcs.2023.103757. EDN: SLAFXF.
8. Skrzypczak K, Wirkijowska A, Przygoński K, et al. Quality and functional properties of bread containing the addition of probiotically fermented *Cicer arietinum*. *Food Chemistry*. 2024;448(5):139117. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.139117. EDN: QSJRIH.
9. Horváth A, Kajdi F, Dóka O, Classification of flours based on color measurements and evaluation using multivariate mathematical methods. *Heliyon*. 2025;11(16):e44096. DOI: 10.1016/j.heliyon.2025.e44096. EDN: IQDDUA.
10. Mirab B, Gavigli HA, Sarteshnizi RA, et al. Production of low glycemic potential sponge cake by pomegranate peel extract (PPE) as natural enriched polyphenol extract: Textural, color and consumer acceptability. *LWT – Food Science and Technology*. 2020;134(1):109973. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109973. EDN: QSSXGE.
11. Aravind MS, Mattshe RKS, Prasanna P, et al. Valorization and characterization of red banana (*Musa acuminata*) peel powder for the development of functional cookies. *Food and Humanity*. 2025;5:100683. DOI: 10.1016/j.foohum.2025.100683. EDN: BXTORL.
12. Gasparre N, Garzon R, Marín K, et al. Exploring the integration of orange peel for sustainable gluten-free flatbread making. *LWT – Food Science and Technology*. 2024;198(1):115969. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.115969. EDN: ZHIGIB.
13. Nilova LP, Malyutenkova SM. Using of mesquite powder in the production of gluten-free cookies. *XXI Century: Resumes of the past and challenges of the present plus*. 2023;12(4(64)):154-159. (In Russ.). EDN: DZJPFJ.
14. Maslov AV, Mingaleeva ZSh, Yamashev TA, Starovoytova OV. Effect of the complex additive on the color characteristics of wheat and rye-wheat bread. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2023;4(393):45-51. (In Russ.). DOI: 10.26297/0579-3009.2023.4.8. EDN: RRVWJL.
15. Pokuah AA, Atuna RA, Akabanda F, et al. Enrichment of bread with soymilk using response surface methodology. *Food Chemistry Advances*. 2024;4(4):100570. DOI: 10.1016/j.focha.2023.100570. EDN: LNEHVJ.
16. Polubesova MA, Mechtaeva EV, Chernov AD, Kuznetsova KG et al. Influence of adding cricket meal (*Acheta domesticus*) on the characteristics of oatmeal cookies. *Bulletin of NSAU*. 2025;75(2):232-245. (In Russ.). DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-232-245. EDN: UDCTZE.
17. Ricci V, D'Aversa S, Bertolino M, et al. Impact of second cheese whey on technological properties, microbial profile, volatile compounds, and consumers' acceptance of sourdough bread made with traditional Italian flours. *Applied Food Research*. 2026;6(1):101566. DOI: 10.1016/j.afres.2025.101566. EDN: QDBIUR.

18. Khuzin FK, Yamashev TA, Kanarsky AV, et al. Vliyaniye sposoba vypechki i retsepturnogo sostava khlebobulochnykh izdeliy na tsvetovyye kharakteristiki ikh poverkhnosti. *Khleboprodukty*. 2020;1:56-59. (In Russ). DOI: 10.32462/0235-2508-2020-29-1-56-59. EDN: RCDVHX.
19. Castro W, Oblitas J, Chuquizuta TTS, et al. Application of image analysis to optimization of the bread-making process based on the acceptability of the crust color. *Journal of Cereal Science*. 2017;74:194-199. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.02.002.
20. Smith BM, Ramsay SA, Roe A, et al. Reducing visual differences in whole grain bread prepared with hard red and hard white wheat: application for sensory studies. *Journal of Food Science*. 2019;84(8):2325-2329. DOI: 10.1111/1750-3841.14722.
21. Sahu D, Ghosh S, Jayaraman S, et al. Low-cost machine learning-integrated optical spectrophotometer for non-destructive color and shelf-life analysis: A study on sliced bread. *Food Chemistry*. 2025;492(2):145379. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.145379. EDN: YORJYM.

Статья принята к публикации 27.04.2026 / The article accepted for publication 27.04.2026.

Информация об авторах:

Юлия Юрьевна Печникова, младший научный сотрудник центра реологии пищевых сред
Лариса Валентиновна Зайцева, главный научный сотрудник центра реологии пищевых сред, доктор технических наук
Денис Юрьевич Сотченко, младший научный сотрудник центра реологии пищевых сред
Марина Николаевна Костюченко, директор, кандидат технических наук
Хачатур Александрович Балуйан, старший научный сотрудник центра реологии пищевых сред, кандидат технических наук

Information about the authors:

Yulia Yuryevna Pechnikova, Junior Researcher, Center for Food Rheology
Larisa Valentinovna Zaitseva, Chief Researcher, Center for Food Rheology, Doctor of Technical Sciences
Denis Yuryevich Sotchenko, Junior Researcher, Center for Food Rheology
Marina Nikolaevna Kostyuchenko, Director, Candidate of Technical Sciences
Khachatur Aleksandrovich Baluyan, Senior Researcher, Center for Food Rheology, Candidate of Technical Sciences

