

УТВЕРЖДАЮ

У ВО

й государственный  
верситет имени  
етра I»

Агибалов А.В.

26 2024 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**на диссертационную работу Метленкина Дмитрия Андреевича на тему «Разработка методических подходов применения оптической спектроскопии и гиперспектрального изображения для идентификации и контроля качества пищевых продуктов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)**

#### **Актуальность темы диссертационной работы**

В области идентификации и определения качества пищевых продуктов в режиме реального времени большое значение имеют так называемые неразрушающие методы. Это спектральные методы, методы анализа изображений, сенсорный анализ. Для их использования необходимы методические подходы, позволяющие установить условия проведения анализа и связь полученных параметров со свойствами пищевого продукта. В связи с этим можно сделать вывод, что тематика рассматриваемой диссертационной работы Метленкина Дмитрия Андреевича, несомненно, является актуальной.

#### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций рассматриваемой диссертации обеспечивается большим объемом проведенного анализа научных публикаций по рассматриваемой тематике, как отечественных, так и зарубежных авторов; последовательной постановкой экспериментальных исследований с использованием современных инструментальных методов анализа, а также их математической и статистической обработкой.

Разработка компьютерных моделей идентификации и контроля качества пищевых продуктов включала построение баз данных, создание наборов данных, предварительную обработку данных, выбор спектральных диапазонов, обнаружение выбросов и определение числа латентных переменных и верификацию моделей.

Основные научные результаты и положения докладывались, обсуждались и были одобрены при выступлениях диссертанта на научно-

практических конференциях различного уровня и опубликованы в ведущих научных изданиях.

### **Научная новизна проведенных исследований**

В диссертационной работе разработан и апробирован методический подход применения оптической спектроскопии и гиперспектрального изображения для идентификации и контроля качества пищевых продуктов.

Определены критерии идентификации гречневой крупы от времени сбора крупы, гидротермической обработки и срока хранения по данным спектров в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной области и координат спектроколориметрической системы методами многомерного анализа.

Выявлены критерии идентификации некоторых пищевых продуктов (зернового кофе, масла сливочного, растительно-сливочных спредов) по функциональным группам полос поглощения ИК-спектра. Созданы компьютерные модели определения содержания пальмового масла в составе сливочного масла и растительно-сливочного спреда.

Продемонстрирован подход обработки 3D-матриц данных на примере гиперспектральных изображений, включая сегментацию изображений, отбор спектральных данных, визуализацию с использованием псевдоцветов для разработки компьютерных моделей идентификации пищевых продуктов.

Разработан методический подход анализа гиперспектральных изображений, полученных использованием портативной (400–1000 нм) и лабораторной (935–1720 нм) камер, для контроля качества пищевой продукции: плодов авокадо, гречневой крупы. Впервые осуществлена визуализация гиперспектральных изображений изменения состояния плодов авокадо в процессе хранения с применением в качестве псевдоцветов длин волн спектра и главных компонент, определенных многомерными методами.

Разработана классификационная модель для сортировки зерен гречихи по степени выполненности на основании отбора спектральных сигнатур из гиперспектрального изображения.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов работы**

Разработанные методические подходы использования оптической спектроскопии и гиперспектрального изображения апробированы в области контроля качества и идентификации пищевых продуктов – гречневой крупы, зернового кофе, жировых продуктов, плодов авокадо.

Полученные калибровочные модели могут использоваться при контроле свежести и годности гречневой крупы.

Посредством использования калибровочной модели определено содержание пальмового масла в коммерческих образцах жировых продуктов. При исследовании выявлен образец из тестового набора с фальсификацией сливочного масла.

Разработка технологии гиперспектральных изображений позволяет проводить неразрушающую и бесконтактную цифровую сортировку плодов

авокадо, определять влажность плодов. Использование такого подхода дает возможность определять зрелость и проводить сортировку плодов в режиме реального времени.

База данных – спектральные характеристики по данным гиперспектральных изображений плодов авокадо – зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности.

Внедрение гиперспектральных камер в ближнем инфракрасном диапазоне и сопутствующих хемометрических систем классификации зерна гречихи на категории качества имеет высокий потенциал для быстрого, неразрушающего и удаленного контроля качества крупы.

Использование таких систем обладает технико-экономической эффективностью и позволит уменьшить расходы по контролю качества пищевых продуктов, идентификации и выявления фальсификации.

Результаты работы прошли апробацию в лаборатории качества Q-lab сети «Азбука Вкуса», совместно с сотрудниками лаборатории были разработаны и применены хемометрические модели для определения степени зрелости и внутренних дефектов авокадо.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов работы**

В диссертации Метленкина Д.А. разработан и апробирован методический подход применения неразрушающих методов оптической спектроскопии, гиперспектральных изображений и многомерного анализа для разработки компьютерных моделей идентификации и контроля качества пищевой продукции. Применение такого подхода позволит анализировать качество пищевой продукции в реальном времени и на всех этапах жизненного цикла, что является их преимуществом в сравнении со стандартными органолептическими и аналитическими методами. Представляются полезными практические рекомендации по неразрушающей оценке фруктов с толстой кожурой, включая состояние мякоти и внутренних дефектов, с применением гиперспектральных изображений на примере плодов авокадо Хасс.

#### **Соответствие диссертации специальности, по которой она заявлена для защиты**

Представленная на рассмотрение диссертационная работа Метленкина Дмитрия Андреевича по поставленным задачам и полученным данным соответствует паспорту научной специальности 4.3.3. Пищевые системы, по которой она представлена к защите, а именно:

- пункту 19 – Разработка и применение цифровых технологий для сбора, обработки, анализа баз данных, проектирования пищевых систем, выработке новых технологических подходов, развития потребительского рынка;

- пункту 29 – Технология и товароведение пищевых продуктов, продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания.

## **Оценка объема, структуры и содержания работы**

Представленная на рассмотрение диссертационная работа построена по стандартному структурному плану и соответствует установленным требованиям к диссертационным работам, которые представляются на соискание ученой степени кандидата наук.

Диссертация включает следующие разделы: введение; аналитический обзор литературы по теме исследования (глава 1); описание объектов и методов исследований (глава 2); экспериментальная часть, включающая результаты исследований и их обсуждение (главы 3, 4, 5); заключение, перечень сокращений и условных обозначений; список использованной литературы, приложения.

Полный объем работы представлен на 166 страницах печатного текста, из которых основной текст составляет 163 страницы. Диссертация проиллюстрирована 42 рисунками, включает 17 таблиц и 3 приложения. Библиография включает 28 отечественных источников и 160 зарубежных.

Во **введении** обоснована актуальность, описана цель и решаемые задачи, необходимые для ее достижения. Охарактеризованы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен обзор отечественной и зарубежной научной литературы по теоретическим аспектам методов оптической спектроскопии и анализа изображений для идентификации и контроля качества пищевых продуктов – зерновых, масел и жиров, плодов и овощей.

Во **второй главе** приведено обоснование выбора объектов исследования и рассмотрены методы исследований – инструментальные: ИК-Фурье спектроскопия, спектроколориметрия, UV-VIS-NIR-спектроскопия, гиперспектральное изображение в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах; физико-химические методы исследования, методы многомерного анализа. Приведена схема исследований, отражающая логическую цепь по решению поставленных задач.

В **третьей главе** представлены результаты исследований гречневой крупы по цветовым координатам; на основе кластерного анализа образцы разделены на четыре группы по способу обработки (пропаренная и непропаренная) и сроку хранения. Профиль спектров образцов гречневой крупы позволил определить функциональные группы компонентов химического состава крупы; различия образцов осеннего и весеннего сбора урожая. С помощью моделирования спектральных данных методом дискриминантного анализа подтверждена гипотеза о возможности классификации образцов гречневой крупы, различающейся по размеру ядра, времени урожая, сроку хранения, тепловой обработке. В качестве критериев идентификации зернового кофе выбрано 19 коэффициентов поглощения на различных волновых числах ИК-спектра. Выявлен диапазон волновых чисел, в котором наблюдались основные различия по ИК-спектрам между образцами кофе в зернах, кофеина, а также обжаренного и необжаренного декофеинизированного кофе. На основе ИК-Фурье спектроскопии и

многомерного анализа предложена методика идентификации зернового кофе по ботаническому виду, географическому месту произрастания и обжарке.

**Четвертая глава** посвящена разработке калибровочных моделей определения показателей качества пищевых продуктов сочетанием методов ИК-спектроскопии и многомерного анализа. Получена модель для кислотного числа жира гречневой крупы как показателя ее свежести и срока хранения; определены оптимальные спектральные диапазоны  $3700\text{--}2800\text{ см}^{-1}$  и  $1800\text{--}700\text{ см}^{-1}$ . Для получения калибровочной модели содержания пальмового масла в составе сливочного и растительно-сливочного спреда установлены два спектральных диапазона  $3110\text{--}2730\text{ см}^{-1}$  и  $1790\text{--}600\text{ см}^{-1}$ . Калибровочные модели апробированы на образцах пищевых продуктов – масла сливочного и растительно-сливочных спредов.

В **пятой главе** представлены результаты разработки методического подхода для анализа гиперспектральных изображений, полученных с использованием портативной (400-1000 нм) и лабораторной (935-1720 нм) камер, для контроля качества гречневой крупы и плодов авокадо. Идентификация и классификация зерна гречихи по степени выполненности проведена сочетанием методов микрофокусной рентгенографии и гиперспектрального изображения. Общая эффективность классификации составила 93 %. Принципиальные различия в спектральных характеристиках плодов авокадо анализировались в пределах спектральных длин волн с максимальной дисперсией при 550, 740 и 965 нм, что соответствовало спектральным характеристикам хлорофилла, степени спелости и физиологическим изменениям в плодах при созревании. На основании построения RGB-изображений плоды авокадо были разделены на классы качества в зависимости от количества дефектов. Проанализирована связь спектральных характеристик плодов с химическим составом и изменением его в процессе созревания и хранения. Это позволяет проводить сортировку плодов по зрелости и дефектам. RGB-изображения использовались для разработки классификационной многомерной модели для классификации плодов авокадо в зависимости от наличия дефектов. Получено изменение спектральных сигнатур плодов авокадо от срока хранения и выявлен диапазон длин волн, который значим для определения срока хранения. По данным матрицы данных спектральных сигнатур плодов авокадо рассчитаны вегетационные индексы, описывающие характерные изменения физиологического состояния плодов авокадо. Приведена визуализация гиперспектральных изображений плодов авокадо различного срока хранения, построенных с помощью двух вегетационных индексов: индекс вегетации растительной воды и усовершенствованного индекса нормализованного различия произрастания (уточнена длина волны спектрального отражения – 757 против 800 нм).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 14 работ, включая 5 публикаций в рецензируемых научных изданиях, из них 2 публикации категории К1 и 1 публикация категории К2, а также 2 публикации

в журналах, индексируемых в наукометрической базе данных «Scopus» (Q3 и Q4), и зарегистрирована база данных (№ 2023620470, дата регистрации 20.02.2023).

### **Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат точно и в достаточной степени отражает главные положения диссертации, характеризует обоснованность объектов исследования, отражает последовательность поставленной цели и основных задач.

### **Замечания и вопросы по диссертационной работе**

1. На рисунке 14 указано обозначение только для времени сбора урожая гречневой крупы, а обсуждается дополнительно размер ядра крупы, длительность хранения, тепловая обработка крупы.

2. При исследовании спектральных характеристик гречневой крупы в зависимости от времени сбора урожая (рисунок 15) для исчерпывающей картины желательно сравнение пропаренной и непропаренной крупы.

3. На этапе предварительного анализа построения калибровочной модели определения кислотного числа жира и сроков хранения гречневой крупы (стр. 90) указано, что для определения данных параметров оптимален выбор различных спектральных диапазонов. Остается неясным, чем обусловлен выбор более узкого спектрального диапазона для разработки калибровочной модели определения сроков хранения гречневой крупы.

4. При обсуждении объектов исследования необходимо использовать принятую нормативными документами номенклатуру: вместо растительно-сливочного масла – растительно-сливочный спред (ГОСТ 34178-2017).

5. Не указано, в каких пределах возможно установление фальсификации масла сливочного пальмовым маслом с помощью построенных моделей.

Указанные замечания не отражаются на основных положениях и не снижают научную и практическую значимость работы, выполненной Метленкиным Д.А.

### **Заключение**

Диссертационная работа **Метленкина Дмитрия Андреевича** на тему: «Разработка методических подходов применения оптической спектроскопии и гиперспектрального изображения для идентификации и контроля качества пищевых продуктов» представляет собой завершённую научно-исследовательскую квалификационную работу, которая направлена на решение актуальных задач для науки и практики и соответствует паспорту специальности 4.3.3. Пищевые системы.

Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9–14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Метленкин Дмитрий Андреевич заслуживает присуждения учёной

степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3. Пищевые системы (технические науки).

Данный отзыв обсуждён и утверждён на заседании кафедры товароведения и экспертизы товаров 13.06.2024 г., протокол № 10.

**Отзыв подготовлен:**

Профессор кафедры  
товароведения  
и экспертизы товаров,  
д-р техн. наук, доцент



С.А. Шеламова

**Сведения об университете:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»;

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации.

Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

Телефон: +7 (473) 253-86-51

Электронная почта: main@vsau.ru.

Светлана  
Алексеевна  
Шеламова

