

УДК 634.11:631.563:631.524.5

**КОНТРОЛЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПОВЕРХНОСТИ ЯБЛОК ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ КОГЕРЕНТНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Родиков Сергей Афанасьевич**

доктор технических наук, профессор

[rsa\\_rih@mail.ru](mailto:rsa_rih@mail.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Будаговская Ольга Николаевна**

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник

ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация:** в статье рассмотрены возможности оптического неразрушающего контроля морфологических характеристик поверхности яблок. Проведено измерение амплитудно-фазовых параметров светорассеяния лазерного излучения на длине волны 650 нм, мощности – 2,6 мВт, диаметре пучка излучения – 1,5 мм. Установлено, что теневая сторона яблока имеет более низкую интенсивность светорассеяния и более высокую степень когерентности светорассеяния, чем солнечная.

**Ключевые слова:** солнечная и теневая стороны яблок, дифениламин, когерентность, интенсивность светорассеяния лазерного излучения.

Цель исследований: определить амплитудно-фазовые параметры поверхности солнечной и теневой сторон яблок, обработанных дифениламином.

Важнейшей задачей при производстве и хранении яблок является обеспечение их качества, которое определяется, в том числе, и внешним видом. Одним из физиологических расстройств яблок является побурение

(загар) кожицы во время хранения. Природа этого явления до сих пор не определена, поэтому необходимо проводить исследования, направленные на выяснение причин этого. Ранее установлено [1], что важнейшим методическим приемом при изучении созревания яблок является разделение их на солнечную и теневую сторону. Данный прием позволил выявить новое явление, при котором на солнечной стороне зеленых яблок никогда не развивается загар [2]. Загар появляется только на теневой стороне яблок. Данные исследования направлены на то, чтобы получить новый неразрушающий метод контроля состояния поверхностной структуры кожицы яблок, которые, возможно, станут новыми данными, в какой-то степени объясняющие природу загара.

Так как в процессе созревания происходит изменение структуры кожицы и мякоти (увеличивается объем клеток и изменяется содержание клеточного сока и крахмала в них; происходит разрыхление срединных пластинок, увеличивается объем межклеточного пространства), то правомерно предполагать наличие связи между зрелостью плодов и степенью пространственной когерентности оптического потока, отраженного от их поверхности. [3. 4]. При этом микроструктурные, анатомические свойства плода рассматриваются как модель фазового экрана, модифицирующего пространственную когерентность отраженного от объекта когерентного излучения [5, 6]. Немногочисленные публикации в этой области подтверждают возможность использования методов детерминированной и недетерминированной интерферометрии для решения данной проблемы [4, 7-9].

### **Методика**

Плоды сорта Антоновка обыкновенная были сняты с деревьев в саду 2 сентября 2008 г. На одной партии яблок определены солнечная и теневая стороны яблока, другая партия разделены на контроль и обработанную 0,5% раствором дифениламина. Затем на солнечной и теневой сторонах яблок

проведено измерение амплитудно-фазовых параметров светорассеяния лазерного излучения. Вторая партия яблок: контроль и обработанная 0,5% раствором дифениламина заложена на хранение в холодильную камеру с режимами  $T = 3-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $HR = 85-90\%$ . 6 ноября 2008 г. яблоки были сняты с хранения и нагреты до  $T = 18-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Измерение амплитудно-фазовых параметров светорассеяния лазерного излучения проведены с помощью поляризационного интерферометра при следующих параметрах лазерного пучка: длина волны 650 нм, мощность – 2,6 мВт, диаметр пучка – 1,5 мм [3, 4]. Изображение в режиме реального времени обрабатывают специализированной компьютерной программой и определяют следующие показатели:  $G, \%$  – степень когерентности светорассеяния, отражающая микроструктурные особенности поверхностных тканей объекта;  $I$ , усл. ед. – средняя интенсивность светорассеяния, определяемая как усредненная интенсивность всей интерференционной картины [3, 4].

### **Результаты и обсуждение**

Ранее на плодах сорта Антоновка обыкновенная, было показано, что оценка степени когерентности ( $G, \%$ ) отраженного лазерного излучения является высокоинформативным параметром, отражающим микроструктурное состояние поверхности (кожицы) яблок. Выявлены оптические критерии, позволяющие по амплитудно-фазовым характеристикам рассеянного когерентного света оценивать товарное качество плодов [3, 4]. При разработке лазерного метода оценки твердости плодов груши, томата и абрикоса установлено, что измерение параметров отраженного лазерного пучка обусловлено не только кожей, но и приповерхностным слоем ткани плодов, в связи с чем когерентность светорассеяния незрелых плодов в два и более раза выше, чем зрелых [10]. Установлено, что свет при анализе коэффициентов отражения поверхности яблока вместе с кожей на спектрофотометре может проникать в ткань яблока на глубину до 5-7 мм [11]. Этот факт позволяет предположить

эффективность использования лазерной диагностики для решения проблемы неdestructивного контроля морфологических свойств поверхности плодов яблони. Известно, что в процессе созревания яблок происходит изменение структуры их кожицы и ткани в сторону разрыхления [12-14]. Учитывая, что при использовании пенетрометра кожица с поверхности плода удаляется и ее механические характеристики не учитываются, следует допустить предположение, что морфологические свойства кожицы и ткани коррелируют между собой. Отсюда правомерна корреляция когерентности отраженного света поверхности плода (ткань с кожицей) и ткани яблока.

В таблице 1 показаны амплитудно-фазовые параметры поверхности солнечной и теневой сторон яблок. Из таблицы следует, что теневая сторона яблока имеет более низкую интенсивность светорассеяния и более высокую степень когерентности светорассеяния. Солнечная сторона имеет более высокие значения твердости, в среднем твердость солнечной стороны яблока во время созревания в саду превышает теневую на 0,5 кг/см<sup>2</sup>. В то же время, солнечную сторону можно оценивать как более зрелую сторону яблока по сравнению с теневой.

*Таблица 1*

Амплитудно-фазовые параметры светорассеяния когерентного света поверхностью яблок сорта Антоновка обыкновенная

| Вариант      | Солнечная сторона яблока |      | Теневая сторона яблока |      |
|--------------|--------------------------|------|------------------------|------|
|              | I                        | G    | I                      | G    |
| Среднее      | 50,28                    | 5,70 | 43,94                  | 9,06 |
| Погрешность  | 0,52                     | 0,29 | 0,50                   | 0,82 |
| Минимальное  | 42,72                    | 3,1  | 38,72                  | 4,1  |
| Максимальное | 56,04                    | 8,7  | 49,89                  | 21,2 |

В таблице 2 показаны амплитудно-фазовые параметры светорассеяния когерентного света поверхностью яблок, обработанных дифениламиноом и без обработки (контрольных) через месяц хранения. Видно, что интенсивность и когерентность светорассеяния у яблок, обработанных дифениламиноом, выше, чем в контроле.

Таблица 2

Амплитудно-фазовые параметры светорассеяния когерентного света поверхностью яблок сорта Антоновка обыкновенная

| Вариант      | Контрольные яблоки |      | Яблоки, обработанные дифениламиноном |      |
|--------------|--------------------|------|--------------------------------------|------|
|              | I                  | G    | I                                    | G    |
| Среднее      | 140,4              | 7,1  | 151,7                                | 8,2  |
| Погрешность  | 6,3                | 0,4  | 3,8                                  | 0,5  |
| Минимальное  | 82,8               | 2,7  | 119,6                                | 4,0  |
| Максимальное | 262,0              | 15,2 | 244,3                                | 19,1 |

Проведено 6 ноября измерение на 5 яблоках по 5 измерений на солнечной (табл. 3) и теневой (табл. 4) сторонах яблока. Стороны поверхностей были визуально оценены как зеленые, светло-зеленые, желто-зеленые, светло-желтые, желтые. Данные представлены в таблице 3. Видно, что яблоки, обработанные дифениламиноном, имеют более высокое значение когерентности рассеяния. Также теневая сторона яблок обоих вариантов: контроля и обработанных ДФА, имеют более высокое значение когерентности рассеяния, чем солнечная.

Таблица 3

Амплитудно-фазовые параметры светорассеяния когерентного света поверхностью солнечной стороны яблок сорта Антоновка обыкновенная

| № яблока | Контрольные яблоки |          |         | Яблоки, обработанные дифениламиноном |         |         |
|----------|--------------------|----------|---------|--------------------------------------|---------|---------|
|          | I                  | G        | цвет    | I                                    | G       | цвет    |
| 1        | 96,7±1,5           | 4,9±0,5  | зелен   | 143,5±3,6                            | 6,1±0,6 | жел-зел |
| 2        | 204,5±4,7          | 6,4±0,4  | желт    | 138,4±1,6                            | 7,1±0,3 | зелен   |
| 3        | 140,5±8,0          | 6,9±0,5  | св-жел  | 176,7±12,5                           | 7,5±1,3 | жел-зел |
| 4        | 162,3±2,5          | 8,8±0,5  | зелен   | 157,4±4,9                            | 7,9±0,5 | св-зел  |
| 5        | 141,2±4,3          | 10,0±0,8 | жел-зел | 169,8±8,6                            | 8,3±0,8 | св-зел  |
| среднее  | 140,5±8,0          | 6,9±0,5  |         | 157,4±4,9                            | 7,9±0,5 |         |

Таблица 4

Амплитудно-фазовые параметры светорассеяния когерентного света поверхностью теневой стороны яблок сорта Антоновка обыкновенная

| № яблока | Яблоки, обработанные дифениламиноном |          |        |            |          |        |
|----------|--------------------------------------|----------|--------|------------|----------|--------|
|          | I                                    | G        | цвет   | I          | G        | цвет   |
| 1        | 90,3±2,6                             | 3,6±0,3  | зелен  | 128,9±3,1  | 6,0±0,5  | зелен  |
| 2        | 116,1±1,2                            | 6,4±0,2  | зелен  | 133,6±3,1  | 6,4±0,4  | зелен  |
| 3        | 120,2±3,5                            | 7,0±0,6  | зелен  | 156,1±2,7  | 6,4±0,3  | св-зел |
| 4        | 157,2±6,9                            | 8,4±0,8  | св-зел | 142,3±10,6 | 11,6±1,5 | зелен  |
| 5        | 222,4±16,4                           | 12,0±1,1 | св-жел | 168,0±24,0 | 12,0±2,5 | зелен  |

|         |            |         |  |           |         |  |
|---------|------------|---------|--|-----------|---------|--|
| среднее | 140,2±10,1 | 7,4±0,6 |  | 145,8±5,7 | 8,5±0,8 |  |
|---------|------------|---------|--|-----------|---------|--|

## Выводы

Лазерный интерферометрический метод, основанный на измерении степени пространственной когерентности и интенсивности светорассеяния, может использоваться для неразрушающего контроля морфологических изменений поверхностных тканей плодов яблони. Чувствительность метода достаточна для того, чтобы достоверно различать солнечную и теневую стороны яблок и их реакцию на обработку водным раствором дифениламина.

## Список литературы:

1. Родиков, С.А. Электронно-оптический контроль при обработке и хранении плодов: Дис. ... канд. техн. наук, М.: МГАУ, 1995. 173 с.
2. Родиков, С.А. Экспресс-диагностика зрелости яблок / С.А. Родиков // Садоводство и виноградарство. № 1, 2001. с.9-12.
3. Будаговская О.Н. Оптическая дефектоскопия плодов. – Мичуринск-Наукоград, 2009. – 277 с.
4. Budagovskaya, O. N., Budagovsky A.V. Nondestructive Laser Testing of Fruit // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. - Vol. 51, No. 4. - P. 236 – 244.
5. Тычинский, В.П. Когерентная фазовая микроскопия внутриклеточных процессов / В.П. Тычинский // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171, № 6.
6. Лахин В.Н., Орлов Р.Ю., Чиркин А.С., Юсубов Ф.М. О когерентности света, рассеянного случайным фазовым экраном. // Оптика и спектроскопия. -1982, Т.53, Вып.3, С.493-497.
7. Rajuelo, M. Bio-speckle assessment of bruising in fruits / M. Rajuelo, G. Baldwin, H. Rabal, N. Cap, R. Arizada, M. Trivi // Optics and laser in engineering. – 2003. – V. 40, № 1/2. – P. 13 - 24.

8. 11. Zdunek, A. New nondestructive method based on spatal-temporal speckle correlation technique for evaluation of apple quality during shelf-life / A. Zdunek, L.I. Muravsky, L. Frankevych, K. Konstankiewicz // Intern. Agrophysics. – 2007. – V. 21, № 3. – P. 305 - 310.

9. 12. Terasaki, S. Analysis of the vibration mode of apple tissue using electronic speckle pattern interferometry / S. Terasaki, N. Sakurai, N. Wada, T. Yamanishi, D.J. Nevins // Trans. ASAE. – St. J. Mich. – 2001. – V. 44, № 6. – P. 1697 - 1705.].

10. Патент РФ № 2453106. Неразрушающий оптический способ оценки зрелости плодов / Будаговская О.Н., Будаговский А.В., Гончаров С.А., Исаев Р.Д., Ильинский А.С., Кружков А.В., Шорников Д.Г., Будаговский И.А. - Заявка № 2010129128 от 13.06.2010. – Оpubл.20.06.2012, Бюл. № 17.

11. Родиков, С.А. Влияние пигментов, кожицы и паренхимной ткани яблока на глубину проникновения в них света / С.А. Родиков // Труды Всероссийского научно-исследовательского института садоводства им. И.В. Мичурина. Научные основы садоводства: Сб. научн. трудов. – Воронеж: Кварта, 2005. – С. 393 – 399.

12. Родиков С.А. Контроль зрелости яблок по флуоресценции хлорофилла в их кожице / С.А. Родиков, А.В. Бурлаков // В сборнике: Приоритетные направления развития садоводства (I Потаповские чтения). Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 85-й годовщине со дня рождения профессора, доктора сельскохозяйственных наук, лауреата Государственной премии Потапова Виктора Александровича. отв. ред. Григорьева Л.В. – 2019. – С. 162-163

13. Родиков С.А. Изменение хлорофилла в кожице зеленых плодов сорта «Антоновка обыкновенная» по коэффициентам отражения во время созревания в саду / С.А. Родиков, Д.О. Дмитриев // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 2. С. 206.

14. Обоснование выбора длин волн видимого спектра для анализа зрелости яблок / С.А. Родиков, В.В. Баженов // Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 272.

15. [Unmanned aerial vehicles for estimation of vegetation quality](#) / A.Yu. Astapov, K.A. Prishutov, I.P. Krivolapov, S.Yu. Astapov, A.A. Korotkov // [Amazonia Investiga](#). - 2019. - Т. 8. - № 23. - С. 27-36.



## **CONTROL OF MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE APPLE SURFACE BASED ON COHERENT RADIATION INDICATORS**

**Sergey Afanasievich Rodikov**

Doctor of technical Sciences, Professor

[rsa\\_rih@mail.ru](mailto:rsa_rih@mail.ru)

Michurinsky state agrarian University

Michurinsk, Russia

**Olga Nikolaevna Budagovskaya**

Doctor of technical Sciences, leading researcher

FEDERAL state budget scientific institution

"Federal scientific center im. I. V. Michurina"

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The article considers the possibilities of optical non-destructive testing of the morphological characteristics of the surface of apples. The measurement of the amplitude-phase parameters of the light scattering of laser radiation at a wavelength of 650 nm, power-2.6 mW, beam diameter-1.5 mm. It was found that the shadow side of the Apple has a lower light scattering intensity and a higher degree of coherence of light scattering than the sun.

**Key words:** solar and shadow sides of apples, diphenylamine, coherence, intensity of light scattering of laser radiation.