

УДК 631.523:576.343:62/69

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛИНЫ ГРАФИКА МЕРЦАНИЯ БИОСПЕКЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕГИДРАТАЦИИ ЛИСТЬЕВ СМОРОДИНЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫСЫХАНИЯ**

**Анатолий Иванович Бутенко**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

but\_tolik@mail.ru

**Ольга Николаевна Будаговская**

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник

budagovsky@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Исследована возможность неразрушающей оценки метаболической активности растений по интенсивности мерцания спеклов. Для разделения спеклограмм, полученных в процессе высыхания листьев смородины, применяли длину графика мерцания спеклограммы. Самые длинные кривые оказались у спеклограмм первоначального листа, а самые короткие – у высохшего листа и у бумаги.

**Ключевые слова:** когерентное лазерное излучение, спекл-картина, мерцание спеклов, метаболическая активность, дегидратация.

При рассеянии лазерного когерентного излучения живыми биологическими объектами в световом поле возникает случайная интерференционная картина из светлых вкраплений – спеклов. Интенсивность их свечения постоянно меняется, то есть происходит мерцание биоспеклов, которое обусловлено метаболической активностью клеток и тканей [1, 2]. Сочетание простой оптической схемы с высокой информативностью методов, основанных на обработке спекл-картин, позволяет создавать новые методы диагностики и портативные приборы для неинвазивной диагностики.

Практически прибором производится оценка изменения средней интенсивности, интегрированной по заданному объему (площади) от времени наблюдения. Регистрируемый таким образом сигнал носит характер временного ряда данных. Существует много методов цифровой обработки временных рядов. В работе [3] для регистрации изменения дегидратации листьев в процессе высыхания мы использовали кратномасштабный анализ, который является математическим инструментом для иерархического разделения сигнала на низкочастотные и высокочастотные составляющие разного уровня. В этой работе на тех же данных для оценки биоспеклограммы использовали более простой метод – сумму длин всех звеньев спеклограммы, то есть – длину графика спеклограммы.

В опытах были использованы листья смородины черной (сорт Зеленая Дымка). С растений срезали 4 здоровых, полностью сформировавшихся листа. После съема с материнского растения листья укладывали в полиэтиленовый пакет, и выдерживали вместе с влажной фильтровальной бумагой в течение не менее 8 часов. Затем листья без черешка подсушивали при комнатной температуре 20-24°C. Каждые 2 часа производили взвешивание листьев и измерение мерцания спеклов.

Для формирования спекл-картины использовали полупроводниковый лазер с длиной волны 630 нм и входной мощностью 3 мВт. Лазерный пучок диаметром 4 мм направляли на измеряемый образец по нормали. Мерцание

спеклов в режиме отражения от нижней стороны листа регистрировали с помощью портативной видеокамеры A4Tech, подключенной по UB-порту к компьютеру. Видеокамеру с удаленным объективом (режим измерения объективных спеклов) устанавливали на расстоянии 160 мм от измеряемого объекта. С помощью программы Profilometr (разработка ФГБНУ ФИАН им. П.Н.Лебедева) из изображения вырезали окно размером 3x3 пикселя и со скоростью три отсчета в секунду записывали среднюю интенсивность спекл-картины внутри выбранного окна в течение 120 секунд.

Использовали для объектов следующие обозначения. Сигналы, полученные в разных точках первоначального листа, весившего 0,91 г, обозначим  $w91_0$ ,  $w91_1$ ,  $w91_2$ ,  $w91_3$ . Аналогичные обозначения  $w74_0$ ,  $w74_1$ ,  $w74_2$  используем, когда при подсыхании лист весил 0,74 г; далее  $w58_0$ ,  $w58_1$ ,  $w58_2$ ,  $w58_5$ ,  $w58_6$  – когда лист весил 0,58 г и, наконец,  $w03_0$ ,  $w03_1$ ,  $w03_5$ ,  $w03_6$ ,  $w03_7$  – для полностью высохшего листа, весившего 0,3 г. Обозначение  $w00$  соответствует рассеянию луча на бумаге.

График спеклограммы представляет собой ломаную линию с узлами  $(x_i; y_i), i = 1, 2, \dots, N$ . Так как  $x_i$  являются отсчетами времени, то спеклограмму можно также рассматривать как временной ряд. Для обработки временных рядов разработано много методов, собранных в нескольких библиотеках для языка Python. В этой работе мы используем простой показатель – текущую длину ломаной:

$$d(t) = \sum_{i=1}^t \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}, t = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

Для расчетов использовали язык программирования Python3.

Типичные спеклограммы, снятые по мере высыхания листа, изображены на рис.1.

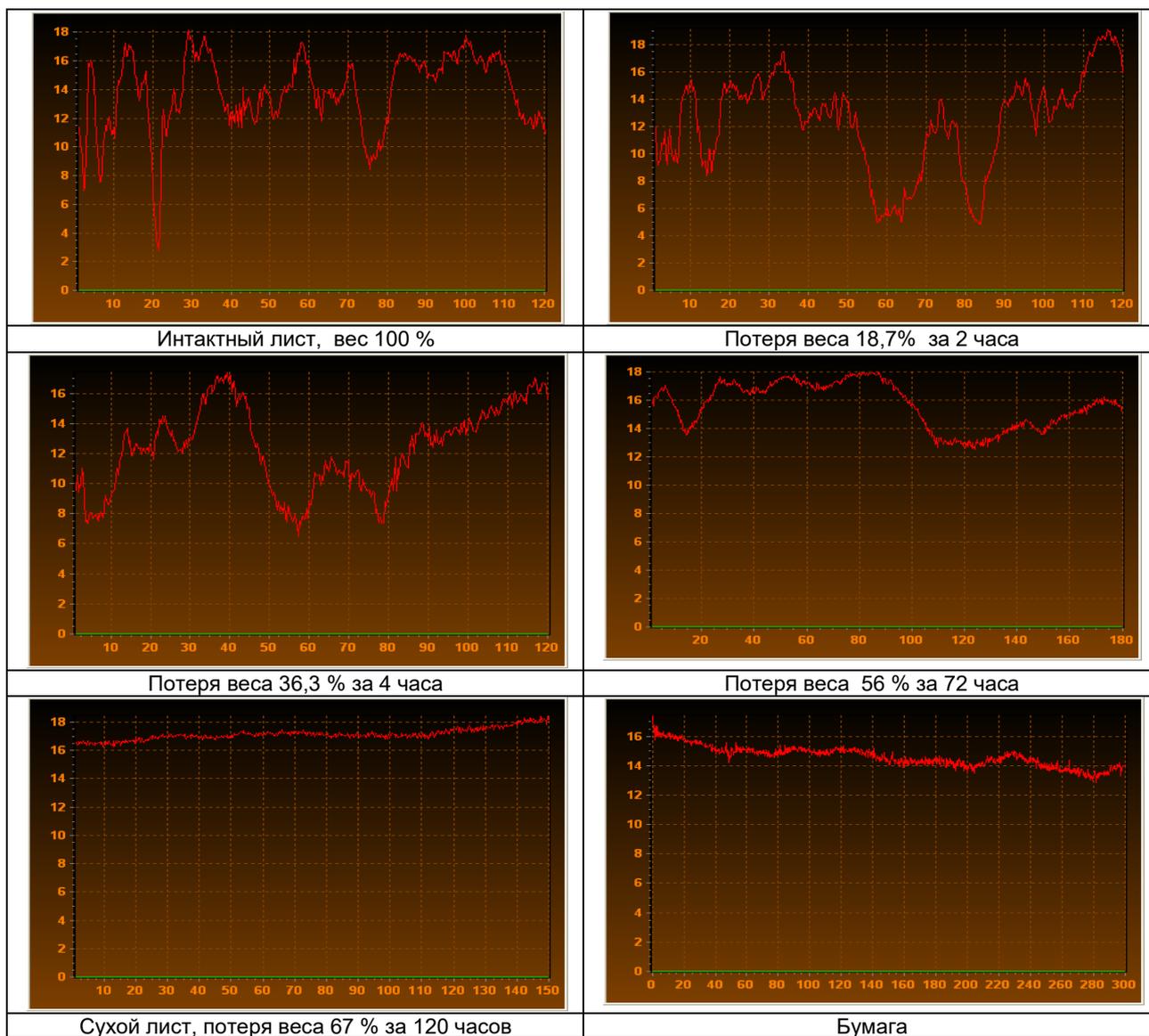


Рисунок 1 - Типовые графики мерцания спеклов от листа черной смородины по мере высыхания.

Полученные по формуле (1) линии, плавно изменяясь, всеюм расходятся из начала координат (рис.2).

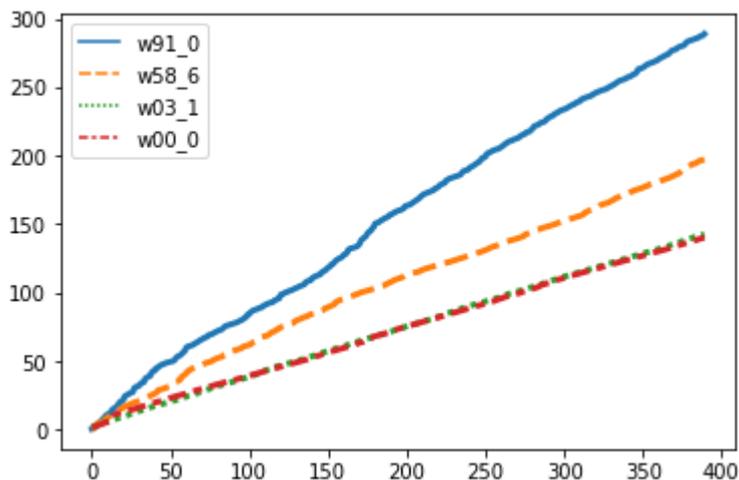


Рисунок 2 - Кривые, полученные по формуле (1) для некоторых спеклограмм.

Информативной оказалась также конечная точка такой диаграммы, то есть суммарная длина графика спеклограммы. На рисунке 3 приведены сравнительные значения длин рассмотренных спеклограмм.

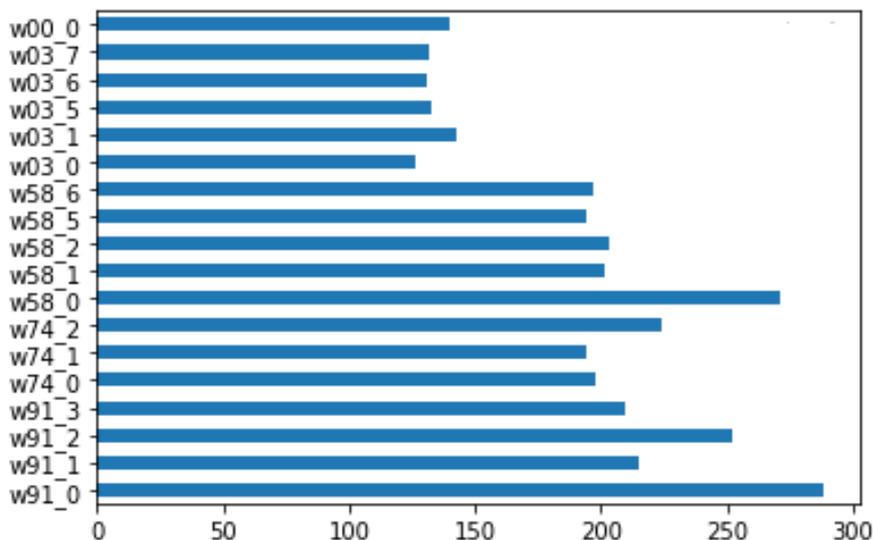


Рисунок 3 - Длины графиков спеклограмм.

Рисунок 3 показывает, что используемый показатель в целом правильно отражает различие спеклограмм. Самые длинные кривые у спеклограмм первоначального листа w91, а самые короткие – у сухого листа w03 и у бумаги w00.

**Список литературы:**

1. Jinior R., Silva B., Rabelo G., et.al. Reliability of biospeckle image analysis // Optical Engineering. 2006. V. 45. P. 390 - 395. doi:10.1016/j.optlaseng.2006.07.002
2. Zheng B., Pleass C.M., Ih C.S. Feature information extraction from dynamic biospeckle // Appl Optics. 1994. V. 33, № 2. P. 231 - 237. doi:10.1364/AO.33.000231
3. Бутенко А. И., Будаговская О. Н. Оценка метаболической активности растительной ткани методом мерцания биоспеклов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2024. № 1 (76). С. 16-20.

**UDC 631.523:576.343:62/69**

**USING LENGTH OF GRAPH OF BIOSPECKLE FLICKERING  
TO ASSESS DEHYDRATION OF CURRANT LEAVES DURING  
DRYING**

**Anatoly Iv. Butenko**

doctor of agricultural sciences, professor

but\_tolik@mail.ru

**Olga N. Budagovskaya**

doctor of technical sciences, leading researcher

budagovsky@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Abstract.** The possibility of non-destructive assessment of plant metabolic activity by speckle flicker intensity was investigated. Length of graph of speckle flickering was used to separate specklegrams obtained during currant leaf drying. The longest curves were found in the specklegrams of the original sheet, and the shortest ones were found in the dried sheet and paper.

**Key words:** coherent laser radiation, speckle pattern, speckle flickering, metabolic activity, dehydration.

Статья поступила в редакцию 11.11.2024; одобрена после рецензирования 20.12.2024; принята к публикации 25.12.2024.

The article was submitted 11.11.2024; approved after reviewing 20.12.2024; accepted for publication 25.12.2024.