

УДК 635–156: 631.576.2: 502.085: 57.081.2

## Исследование динамики состояния плодов огурца инструментальными физическими, химическими и органолептическими методами в процессе хранения

Канд. техн. наук Н. С. ПРИЯТКИН<sup>1</sup>, канд. биол. наук Ю. В. ХОМЯКОВ<sup>1</sup>,  
Ю. И. БЛОХИН<sup>1</sup>, канд. биол. наук Т. А. КУЗНЕЦОВА<sup>2</sup>, В. Ю. МИХИНА<sup>2</sup>,  
Л. О. ТРИМАСОВА<sup>3</sup>, А. Н. ШАТЕРНИКОВ<sup>3</sup>, О. И. РЕМИЗОВ<sup>3</sup>,  
Р. С. КЕРТЛИНГ<sup>3</sup>, канд. биол. наук Г. Г. ПАНОВА<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Агрофизический научно-исследовательский институт

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>3</sup>ООО «Информационные крылья»

<sup>4</sup>ООО «Фитосфера»

E-mail: prini@mail.ru

Проведено исследование по скрининговому выявлению наиболее информативного инструментального метода для обнаружения деградиционных изменений плодов огурца на ранних этапах их хранения. Произведен анализ динамики кондиционности плодов огурца инструментальными физическими, химическими и органолептическими методами в процессе хранения. Объектом исследования служили следующие образцы товарной растительной продукции: плоды огурца — гибрид Мева F1, селекции компании Rijk Zwaan (Нидерланды), происхождение образцов: агрофирма «Роса», г. Сосновый Бор, Ленинградская обл. Для оценки состояния образцов плодов огурца были использованы следующие инструментальные физические методы: метод макросъемки (цифровая фотография), тепловизионный метод, метод газоразрядной визуализации, метод определения диэлектрической проницаемости. Органолептическое исследование образцов плодов огурца показало изменение механических и визуальных свойств образцов в процессе их хранения. Наблюдалась постепенная деградация плодов с потерей их товарных качеств: снижение тургора плодов на 9-е сутки, снижение равномерности окраски плодов на 5-е сутки. Сопреженные химические исследования также выявили изменения ряда биохимических показателей образцов плодов огурца в процессе ее хранения: снижение влажности плодов на 7-е сутки, содержания нитратов на 7-е сутки, суммарного содержания моно- и дисахаров на 14-е сутки. Наиболее информативным в регистрации изменений кондиционности плодов оказался оптический метод — цифровая макросъемка с использованием ультрафиолетового источника освещения: значимые изменения характеристик плодов огурца отмечали, начиная со 2-х суток с начала хранения. Исследование образцов плодов огурца тепловизионным, диэлькометрическим, газоразрядным методами показало их слабую информативность.

**Ключевые слова:** хранение овощной продукции, качество овощной продукции, плоды огурца, инструментальные физические методы, органолептическая оценка, биохимический состав плодов, анализ изображений.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 03.04.2019, принята к печати 21.06.2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-3-72-81

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Прияткин Н. С., Хомяков Ю. В., Блохин Ю. И., Кузнецова Т. А., Михина В. Ю., Тримасова Л. О., Шатерников А. Н., Ремизов О. И., Кертлинг Р. С., Панова Г. Г. Исследование динамики состояния плодов огурца инструментальными физическими, химическими и органолептическими методами в процессе хранения. // Вестник Международной академии холода. 2019. № 3. С. 72–81.

## Study of cucumber state dynamics by instrumental physical, chemical, and organoleptic methods during storage

Ph. D. N. S. PRIYATKIN<sup>1</sup>, Ph. D. Yu. V. KHOMYAKOV<sup>1</sup>, Yu. I. BLOKHIN<sup>1</sup>,

Ph. D. T. A. KUZNETSOVA<sup>2</sup>, V. Yu. MIKHINA<sup>2</sup>, L. O. TRIMASOVA<sup>3</sup>, A. N. SHATERNIKOV<sup>3</sup>, O. I. REMIZOV<sup>3</sup>,  
R. S. KERTLING<sup>3</sup>,

Ph. D. G. G. PANOVA<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Agrophysical Research Institute

<sup>2</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

<sup>3</sup>InfoWings, LLC

<sup>4</sup>Phytosphaera, Ltd.

E-mail: prini@mail.ru

*Article is devoted to screening identification of the most informative instrumental method for detection the degradation changes of cucumber at early stages of their storage. The research of condition dynamics of cucumber by instrumental physical, chemical, and organoleptic methods in the course of storage is carried out. As an object of the research the following samples of commodity vegetable products: cucumber — Meva F1 Hybrid, selection of the Rijk Zwaan company (Netherlands), origin of samples: Rosa Agricultural Company, Sosnovy Bor, Leningrad Region, were chosen. For the assessment of cucumber samples condition the following instrumental physical methods were used: macroshooting method (digital imaging), thermal imaging, gas discharge visualization, method of dielectric conductivity determination. The organoleptic research of cucumber samples showed change of mechanical and visual properties of samples in the course of their storage. Gradual degradation of cucumber with the loss of their commodity qualities was observed: decrease in turgor of samples for the 9th day, decrease in uniformity of coloring of samples for the 5th day. A parallel chemical research also revealed changes of a number of biochemical indicators of cucumber samples in the course of their storage: decrease in moisture content of samples for the 7th day, the content of nitrates for the 7th day, total contents of mono and disugars for the 14th day. The optical method — digital imaging with use of a ultra-violet source of lighting — was the most informative in registration of changes of quality. Significant changes in characteristics of cucumber were revealed after two days of storage. The research of cucumber samples by thermal imaging, determination of dielectric conductivity, and gas discharge visualization methods showed weak informational content at the applied standard way of statistical processing.*

**Keywords:** vegetable produce storage, vegetable produce quality, cucumber, instrumental physical methods, organoleptic test, biochemical composition, image analysis.

#### Article info:

Received 03/04/2019, accepted 21/06/2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-3-72-81

Article in Russian

#### For citation:

Priyatkin N. S., Khomyakov Yu. V., Blokhin Yu. I., Kuznetsova T. A., Mikhina V. Yu., Trimasova L. O., Shaternikov A. N., Remizov O. I., Kertling R. S., Panova G. G. Study of cucumber state dynamics by instrumental physical, chemical, and organoleptic methods during storage. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 3. p. 72–81.

### Введение

В современных условиях, оценка качества пищевого сырья осуществляется на основе исследования его состава и физико-химических свойств с использованием новейших органолептических и инструментальных методов анализа. Применение данных инструментальных методов анализа позволяет комплексно изучить структуру, состав и свойства пищевого сырья и продуктов его переработки. Кроме того, они позволяют выявить изменения на не обнаруживаемой органолептическими или обычными физическими и химическими методами начальной стадии их развития, спрогнозировать изменение качества, установить наиболее оптимальные способы хранения и сроки использования [1].

В связи с этим, органолептическая оценка — внешний вид, текстура, консистенция, вкус, запах, и другие характеристики плодов могут быть дополнены, а в перспективе и полностью замещены набором инструментальных физических методов, призванных заменить органы чувств оператора-исследователя или конечного потребителя.

Современная наука предлагает ряд подходов для исследования качества растительной продукции с использованием различных технических средств. Прежде всего, это группа оптических методов: спектроскопия в видимом [2], ближнем инфракрасном диапазонах [3], тепловидения [4], а также мультиспектральной визуализации [5]. К этой группе методов можно отнести Рамановскую спектроскопию (спектроскопию комбинационного рассеяния), применение которой также является перспективным, так как позволяет оценить внутренние свойства плодов, в отличие от традиционной спектро-

скопии, позволяющей оценить свойства их поверхности [6]. На основе оптических методов и приемов машинного зрения разработаны различные сортировщики плодов, позволяющие проводить сепарацию продукции, например по цвету [5] или форме [7].

Из группы механических методов, позволяющих оценить твердость, является пенетрометр, такой как твердомер Магнес-Тейлор или пенетрометр Эффеги. Они измеряют общее усилие, необходимое для прокола через данную часть фруктов или овощей на стандартную глубину с использованием зонда стандартного диаметра [8]. Возможно также использование сжатого воздуха в качестве силовой нагрузки на поверхность плода [9]. Твердость также может быть оценена с помощью вибрационных испытаний [10] и использования ультразвука [11].

Из неразрушающих методов, позволяющих оценить внутреннюю структуру плодов, а также выявить их скрытую зараженность насекомыми следует отметить проекционную рентгенографию [12] и компьютерную томографию [13]. Метод магнитно-резонансной томографии, в отличие от двух предыдущих методов, позволяет не только выявлять скрытые дефекты плодов, но и определять содержание различных химических веществ (воды, масел и др.) [14, 15].

Для оценки химического состава плодов, в том числе ароматических летучих соединений, используются хромато-масс-спектрометрия [16], различные методики на основе масс-спектрометрии [17], а также электронные носы, основанные на принципе использования различных сенсоров (чаще всего, металло-оксидных), либо биосенсоров [18, 19].

Среди электрофизических методов, позволяющих оценить электрические характеристики, связанные с состоянием плодов, используются различные вариации спектроскопии диэлектрических потерь [20] и газоразрядная визуализация [21].

Нередко в исследованиях качества товарной пищевой и растительной продукции применяется комбинация нескольких инструментальных методов [22, 23].

Таким образом, набор инструментальных физических методов оценки качества товарной растительной продукции достаточно широк. Изучение возможностей этих методов, их преимуществ и недостатков обуславливает необходимость проведения данного исследования.

Целью работы являлся скрининг некоторых инструментальных методов для решения задачи оперативной оценки изменения состояния (кондиционности) товарной растительной продукции в процессе ее хранения.

### Объект и методы исследований

Объектом исследования служили следующие образцы плодов огурца — гибрид Мева F1 селекции компании Rijk Zwaan (Нидерланды), происхождение образцов: агрофирма «Роса», г. Сосновый Бор, Ленинградская обл. Общее количество плодов, предназначенных для исследований, составило 210 шт.

Образцы плодов огурца хранились в холодильных камерах при средней температуре 4,1 °С, в течение 14 сут.

Для оценки состояния образцов плодов огурца были использованы следующие инструментальные физические методы:

1. *Метод макросъемки (цифровая фотография).* Для осуществления макросъемки образцов товарной растительной продукции был сконструирован лабораторный

стенд с системой визуализации, включающий в себя несущие конструкции и цифровой фотоаппарат Sony Alpha NEX5, с помощью которого осуществлялся захват изображений с разрешением 4592×3056 пикселей.

Макросъемка осуществлялась при искусственном освещении в трех различных режимах: I — ртутными осветителями в видимом диапазоне; II — 4-мя светодиодными осветителями (цветовая температура 4000 К), расположенными снаружи периметра лабораторного стенда и стационарно закрепленными на боковые горизонтальные консоли стенда; III — одним ультрафиолетовым осветителем, располагавшимся сверху над объектом исследования. Примеры цифровых изображений плода огурца, полученных при различных режимах освещения, представлены на рис. 1.

Анализировались следующие параметры цифровых изображений плодов огурца: средняя яркость (единицы яркости), яркость красного, зеленого и синего каналов по цветовой модели RGB (единицы яркости), тон по модели HSB (относительные единицы).

2. *Тепловизионный метод.* Для осуществления тепловизионной съемки образцов плодов огурца был использован тепловизор Trotec EC 060 V (Производитель TROTEC GmbH, Германия). Тепловизор был стационарно закреплен на боковую консоль лабораторного стенда. Измерения проводились с точностью 0,1 °С. Термограммы имели стандартное разрешение 320×240 пикселей. Программная обработка термограмм осуществлялась с использованием прилагаемого к тепловизору программного обеспечения IC-IR-Report 2.4.9 STD по следующему алгоритму (рис. 2):

Анализировались следующие базовые параметры термограмм: средняя температура объекта, выделенного

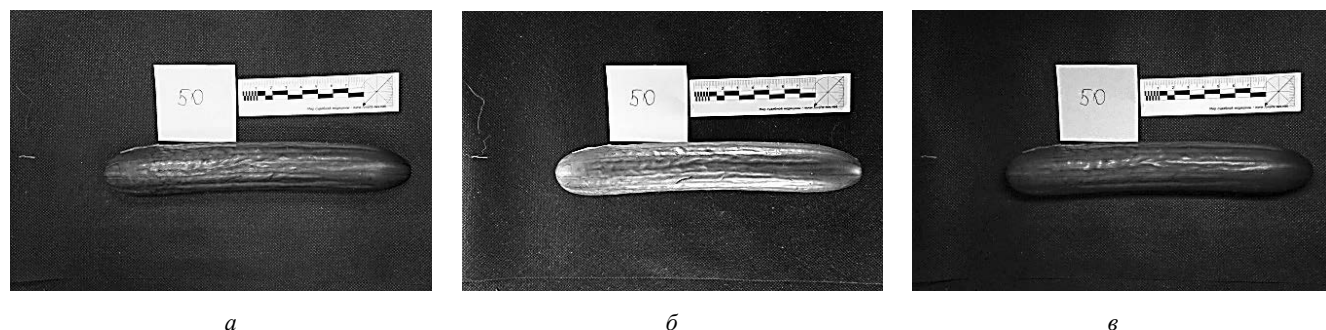


Рис. 1. Цифровые изображения плода огурца, полученные при различных режимах освещения: а — ртутными осветителями в видимом диапазоне; б — 4-мя светодиодными осветителями (цветовая температура 6500 К); в — одним ультрафиолетовым осветителем, располагавшимся сверху над объектом исследования

Fig. 1. Digital images of a cucumber under different modes of lighting: а — mercury illuminator in visible spectrum; б — four LEDs (color temperature is of 6500 K); в — one ultraviolet lamp located above the object of research

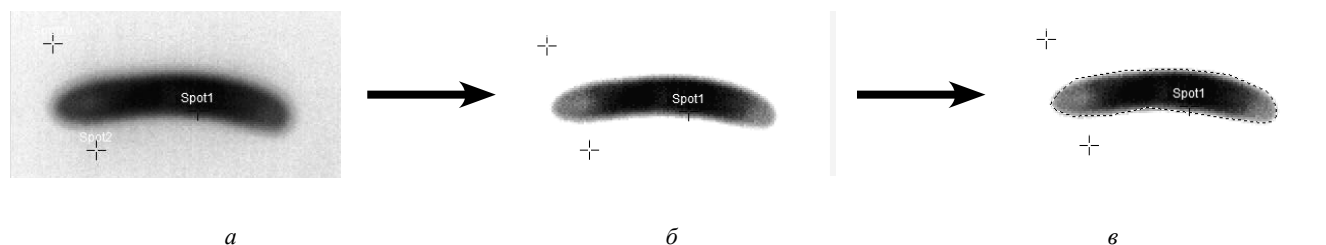


Рис. 2. Программная обработка термограмм плода огурца: а — исходное изображение; б — интерактивная предварительная обработка (фильтрация шума) по гистограмме; в — интерактивное выделение объекта интереса полиномом

Fig. 2. Software processing of cucumber thermograms: а — initial image; б — interactive pre-processing (noise filtering) from histogram; в — interactive selection of a research object by polynomial

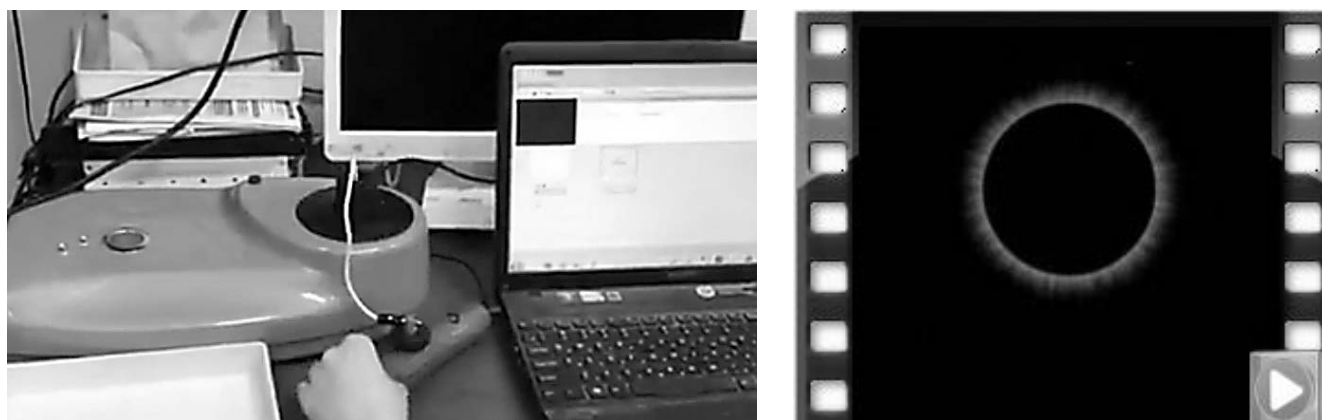


Рис. 3. Процедура измерений газоразрядных характеристик плода огурца (а) и пример полученного динамического газоразрядного изображения датчика (тест-объекта) (б)

Fig. 3. Measurement procedure of gas discharge characteristics for cucumber (a) and an example of a dynamic gas discharge image of the sensor (test-object) (b)

интерактивно ( $^{\circ}\text{C}$ ) и расчетная величина — отношение средней температуры объекта, выделенного интерактивно, к средней температуре изображения (отн. ед.).

3. *Метод газоразрядной визуализации.* Для определения интегральных электрофизических характеристик образцов товарной растительной продукции была использована адаптивная методика, разработанная нами на основе метода газоразрядной визуализации.

Для исследований использовался прибор для регистрации газоразрядного свечения «ГРВ Камера», в комплекте с программным обеспечением «ГРВ Научная лаборатория», организация-разработчик и предприятие изготовитель — ООО «Биотехпрогресс», Россия.

Принцип адаптивной методики заключался в следующем: объект исследования (образец товарной растительной продукции) включался в электрическую цепь с помощью игольчатого электрода, который вводился в плод на глубину 25 мм. Игольчатый электрод соединялся с датчиком (тест-объектом), установленным на плоском стеклянном электроде. Съемка показаний прибора (газоразрядных характеристик) осуществлялась с датчика (тест-объекта). Получение газоразрядных изображений осуществлялось при следующих режимах настройки прибора: импульсное напряжение 150 В, режим съем-

ки — динамическая, частота съемки 5 кадров в секунду, время съемки — 10 секунд. Полученное видеоизображение имело разрешение 370×285 пикселей, количество кадров — 50, формат файла AVI (рис. 3). Анализировался следующий параметр газоразрядных изображений датчика (тест-объекта), усреднение по 46 кадрам: средняя интенсивность (единицы яркости).

4. *Метод определения диэлектрической проницаемости.* Для определения диэлектрической проницаемости образцов товарной растительной продукции использовался прибор (рис. 4), разработанный в лаборатории средств инструментального контроля Агрофизического НИИ [24].

Принцип действия прибора основан на использовании емкостного датчика, подключенного через два последовательно соединенных резистора к источнику высокочастотного синусоидального напряжения и образующего R-R-C делитель. В качестве емкостного датчика использован штыревой датчик с четырьмя параллельными штырями длиной 30 мм и диаметром 3 мм, три из которых — корпусные электроды, а четвертый центральный — потенциальный. Электроды установлены на цилиндрическом держателе, при этом потенциальный электрод установлен по оси держателя в его центре,

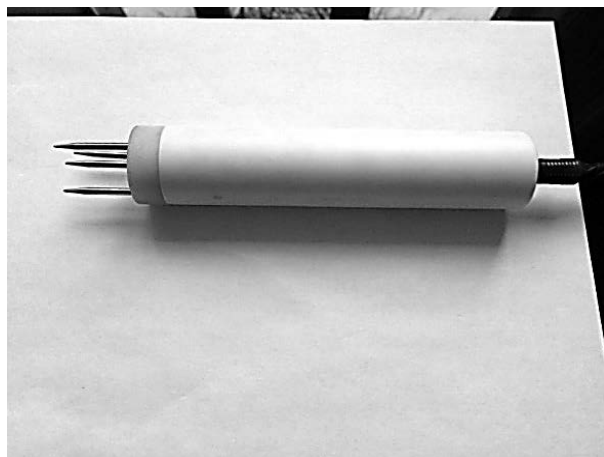


Рис. 4. Экспериментальный макет емкостного штыревого датчика с R-R-C делителем

Fig. 4. Experimental model of captive post sensor with R-R-C splitter

а корпусные электроды окружают с шагом  $120^\circ$  и установлены по окружности диаметром 22 мм. Для определения диэлектрических характеристик плодов, емкостной штыревой датчик вводился в основание, середину и конец плодов огурца. Полученные напряжения записывались в базу данных, после чего производился расчет диэлектрической проницаемости.

Дополнительно определялись следующие параметры плодов: температура плодов с помощью электронного термометра ЛТ-300 путем ввода зонда в центр плода на половину его толщины; объем ( $\text{см}^3$ ) плодов методом объемного вытеснения жидкости при погружении в воду в измерительном цилиндре, плотность ( $\text{г/см}^3$ ) плодов рассчитывалась как отношение веса плодов ( $\text{г}$ ) к объему ( $\text{см}^3$ ).

В качестве верифицирующих методов для оценки состояния образцов товарной растительной продукции были использованы:

— Анкетирование: оценка общих показателей качества плодов огурца, выполняемая оператором-исследователем на основании собственных визуальных, тактильных и обонятельных ощущений. Анкеты были разработаны нами на основе ГОСТ 33932–2016 [25]. Оператору-исследователю предлагалось оценить выраженность признаков для каждого образца плодов огурца по 5-бальной шкале: 0 — отсутствие проявления признака; 1 — еле заметное наличие признака; 2 — слабая выраженность признака; 3 — средняя выраженность признака; 4 — хорошо выраженный признак; 5 — сильно выраженный признак.

Дополнительно проводились измерения габаритных размеров образцов плодов: длина габаритная (мм), максимальная толщина (мм). Измерения проводились вручную, с помощью штангенциркуля, с точностью до 1 мм. Измерения веса образцов товарной растительной продукции осуществлялись на лабораторных весах, с точностью измерений до 0,01 г.

— Химические методы: для определения биохимических показателей образцов плодов огурца использовался набор стандартных методов: определение сухого вещества и влажности образцов по ГОСТ 31640–2012 [26], определение титруемой кислотности по ГОСТ Р 51434–99 [27], определения содержания нитратов по МУ 5048–89 [28], определение углеводов (сахара) по ГОСТ 26176–91 [29].

Схема проведения эксперимента: образцы плодов огурца, хранившиеся в холодильных камерах, перекладывались в лабораторное помещение за 2 часа до начала процедуры измерений.

Экспериментальная база включала в себя 4 рабочих станции: 1 — анкетирования, измерений веса и габаритных размеров плодов; 2 — тепловизионных измерений; 3 — макросъемки; 4 — измерений газоразрядных характеристик; 5 — измерений диэлектрических параметров и плотности образцов.

Ежедневно из общей массы отбирались и анализировались 15 плодов. Каждый плод имел индивидуальный номер, который заносился в базу результатов измерений. После проведения измерений образцы плодов передавались для химического анализа, проводимого на 1-е, 7-е и 14-е сутки, в остальные сроки после проведения измерений плоды утилизировались. В результате эксперимента получен объем данных, представленный в виде таблицы и содержащий «параметрический паспорт» 210 плодов огурца.

## Результаты и их обсуждение

1. Исследование общих показателей качества (внешний вид, зрелость, наличие визуальных признаков деградации и др.) образцов плодов огурца показало следующие результаты.

Анализ группы общих показателей качества (состояния) плодов, характеризующих их механические (сопротивление воздействующей нагрузке, и способность деформироваться при этом), и цветовые свойства, сделанные на основании тактильных и визуальных ощущений оператора-исследователя, представлены на рис. 5.

В процессе хранения образцов плодов огурца выявлены изменения их механических свойств. Отмечено устойчивое снижение тургора плодов, начиная с 9-х суток, по сравнению с 1-ми сутками, максимальное снижение тургора отмечено на 14-е сутки.

В процессе хранения образцов плодов огурца также выявлены изменения их цветовых свойств. Отмечено достоверное снижение равномерности окраски, начиная с 5-х суток.

2. Результаты исследования оптических характеристик образцов плодов огурца представлены на рис. 6.

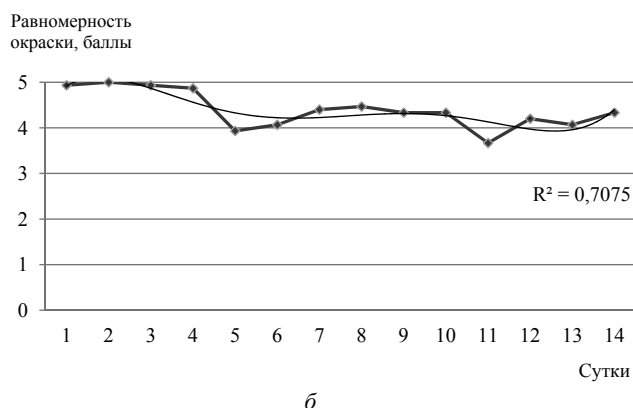
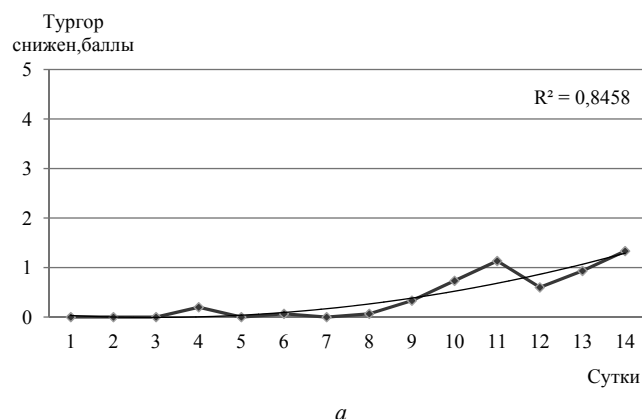


Рис. 5. Динамика показателей качества (состояния) образцов плодов огурца, характеризующих их механические свойства (по результатам органолептических тестов): а — тургор снижен (увядание); б — цветовые: равномерность окраски

Fig. 5. Dynamics of cucumber sample quality indicators in terms of their mechanical properties (according to organoleptic tests): а — decrease in turgor (wilting); б — uniformness of color

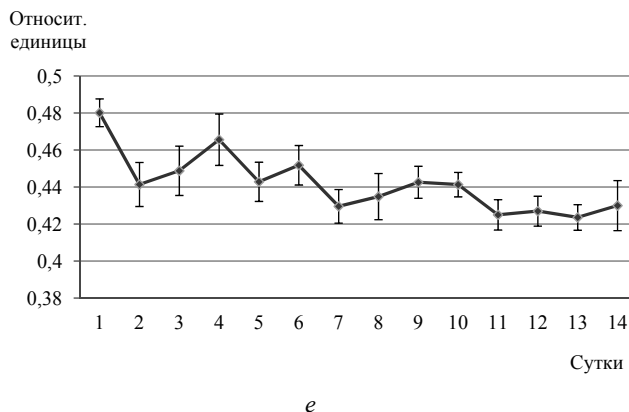
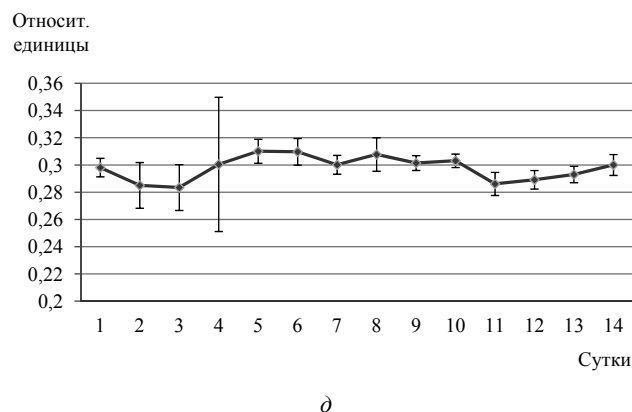
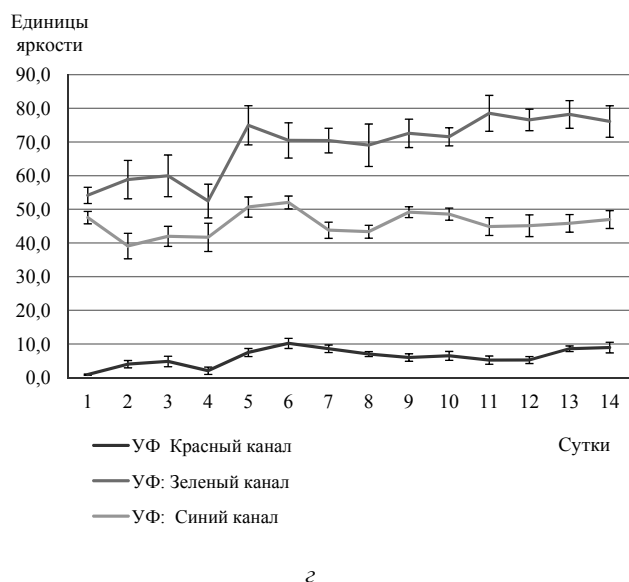
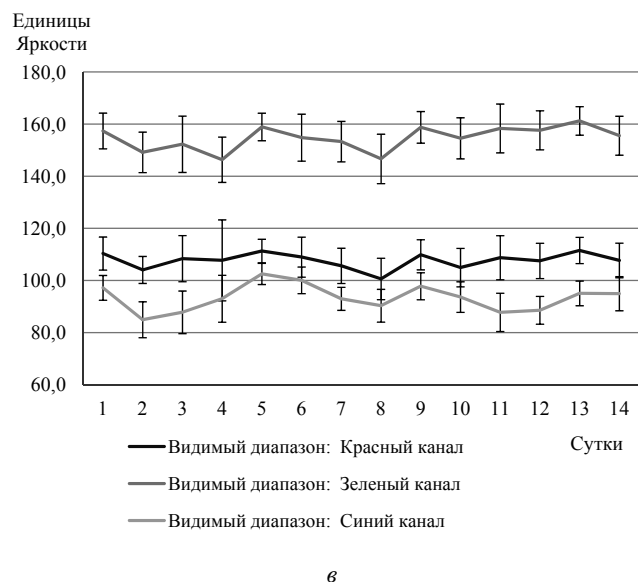
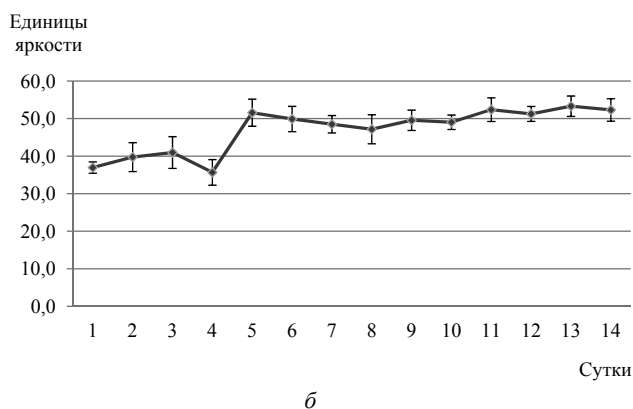
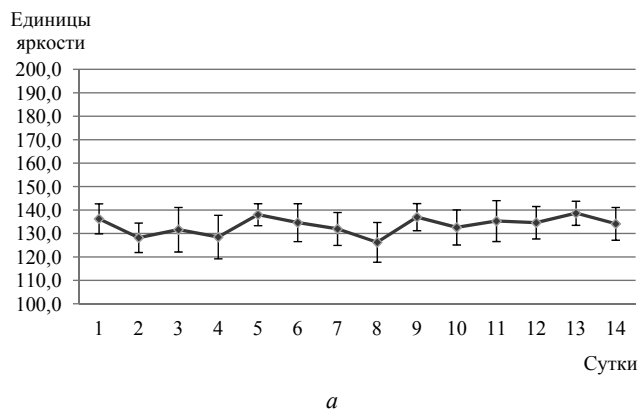


Рис. 6. Динамика оптических характеристик образцов плодов огурца по параметрам: средняя яркость, единицы яркости, при использовании светодиодного источника освещения видимого диапазона (а) и ультрафиолетового источника освещения (б); средняя яркость цветовых каналов по цветовой модели RGB, единицы яркости, при использовании светодиодного источника освещения видимого диапазона (в) и ультрафиолетового источника освещения (г); тон по модели HSV, относительные единицы, при использовании светодиодного источника освещения видимого диапазона (д) и ультрафиолетового источника освещения (е)

Fig. 6. Dynamics of optical indicators of cucumber sample: average brightness, units of brightness, when LED of visible spectrum (a) and ultraviolet light source (б) is used; average RGB brightness of color channels, units of brightness, when LED of visible spectrum (в) and ultraviolet light source (г) is used; hue in HSV model, relative units, when LED of visible spectrum (д) and ultraviolet light source (е) is used

Статистически значимые изменения наблюдались при макросъемке с использованием ультрафиолетового источника освещения: увеличение средней яркости изображения плода на 5-е сутки, увеличение средней яркости зеленого цветового канала по модели RGB на те же сроки.

Статистически значимое снижение значений показателя «Тон» наблюдалось уже на 2-е сутки.

3. Результаты исследований тепловизионных характеристик образцов плодов огурца представлены на рис. 7. Результаты тепловизионных измерений образцов плодов огурца показали статистически значимые различия тем-

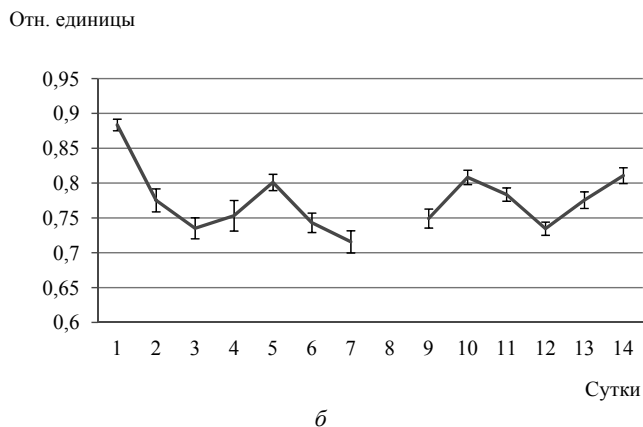
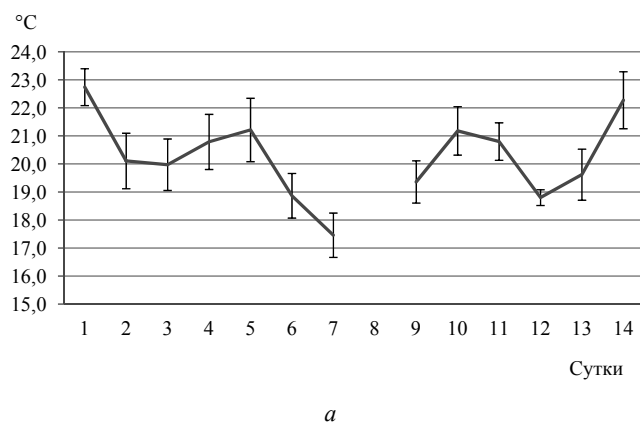


Рис. 7. Динамика показателей термограмм образцов плодов огурца в процессе хранения: а — средняя температура плода по термограмме; б — отношение средней температуры плода по термограмме к средней температуре всего изображения  
Fig. 7. Dynamics of thermogram indicators for cucumber samples during storage: a — the average temperature of cucumber from thermogram; б — the relation of cucumber average temperature to the average temperature of the image

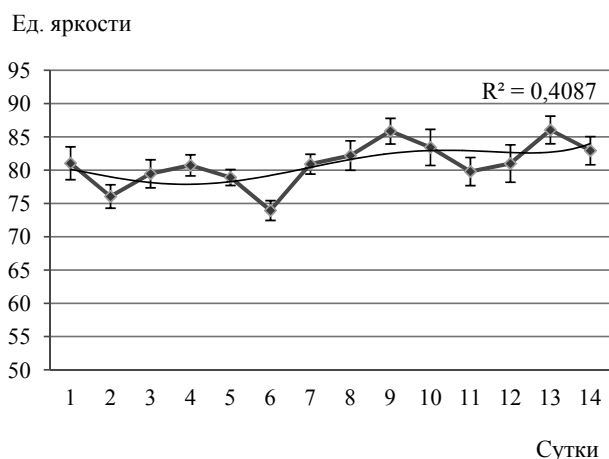


Рис. 8. Средняя интенсивность (единицы яркости) газоразрядного свечения датчика, соединенного с объектом исследования  
Fig. 8. Average intensity (units of brightness) for gas discharge light emission of the sensor connected to the object of research

пературы плода по термограмме и отношения средней температуры плода по термограмме к средней температуре изображения, однако эти различия не имели линейной динамики.

4. Результаты исследований характеристик газоразрядного свечения — средней интенсивности газоразрядного свечения датчика, соединенного с объектом иссле-

дования, для образцов плодов огурца, показаны на рис. 8. Измерение газоразрядных характеристик (средняя интенсивность свечения датчика) плодов огурца не выявило значимой связи с увеличением срока хранения плодов.

5. Результаты исследований электрофизических характеристик (расчетная диэлектрическая проницаемость) и плотности образцов плодов огурца представлены на рис. 9.

Результаты измерений диэлектрической проницаемости плодов показали значимые изменения в их состоянии (увеличение показателя), начиная с 13-х суток. Измерения плотности плодов обнаружило слабую информативность показателя по сравнению с методом измерения диэлектрической проницаемости. Динамика показателя плотности плодов огурца была квазистабильной на всем протяжении эксперимента.

6. Результаты химических исследований образцов плодов огурца в процессе хранения представлены на рис. 10.

Отмечается статистически достоверное ( $p < 0,05$ ) снижение влажности (%) у плодов огурца на 7-е и 14 сутки, по сравнению с 1-ми сутками. По показателю титруемая кислотность, ммоль  $H^+$ /100 г, у плодов огурца статистически значимых изменений выявлено не было. Содержание нитратов, мг/кг, в плодах огурца достоверно снизилось на 7-е и 14 сутки, по сравнению с 1-ми сутками. Суммарное содержание сахаров (моносахаров+дисахаров), % н. в., в плодах огурца снизилось на 14-е сутки, по сравнению с 1-ми сутками.

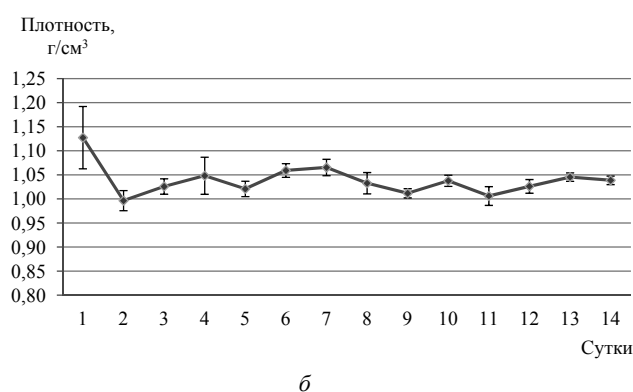
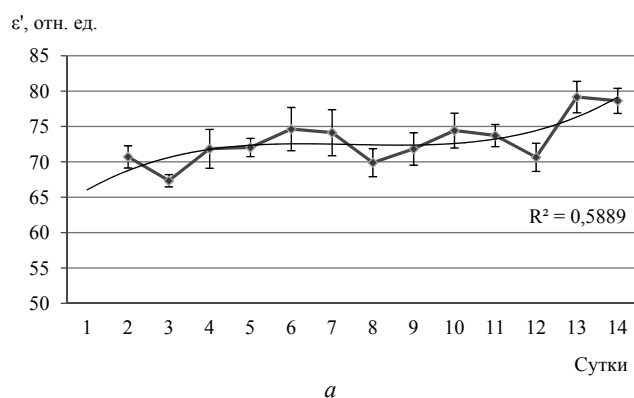


Рис. 9. Динамика показателей образцов плодов огурца: а — диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon'_{cp}$ , за один плод); б — плотность  
Fig. 9. Dynamic of cucumber sample indicators: a — dielectric permeability ( $\epsilon'_{av}$ , per one cucumber); б — density

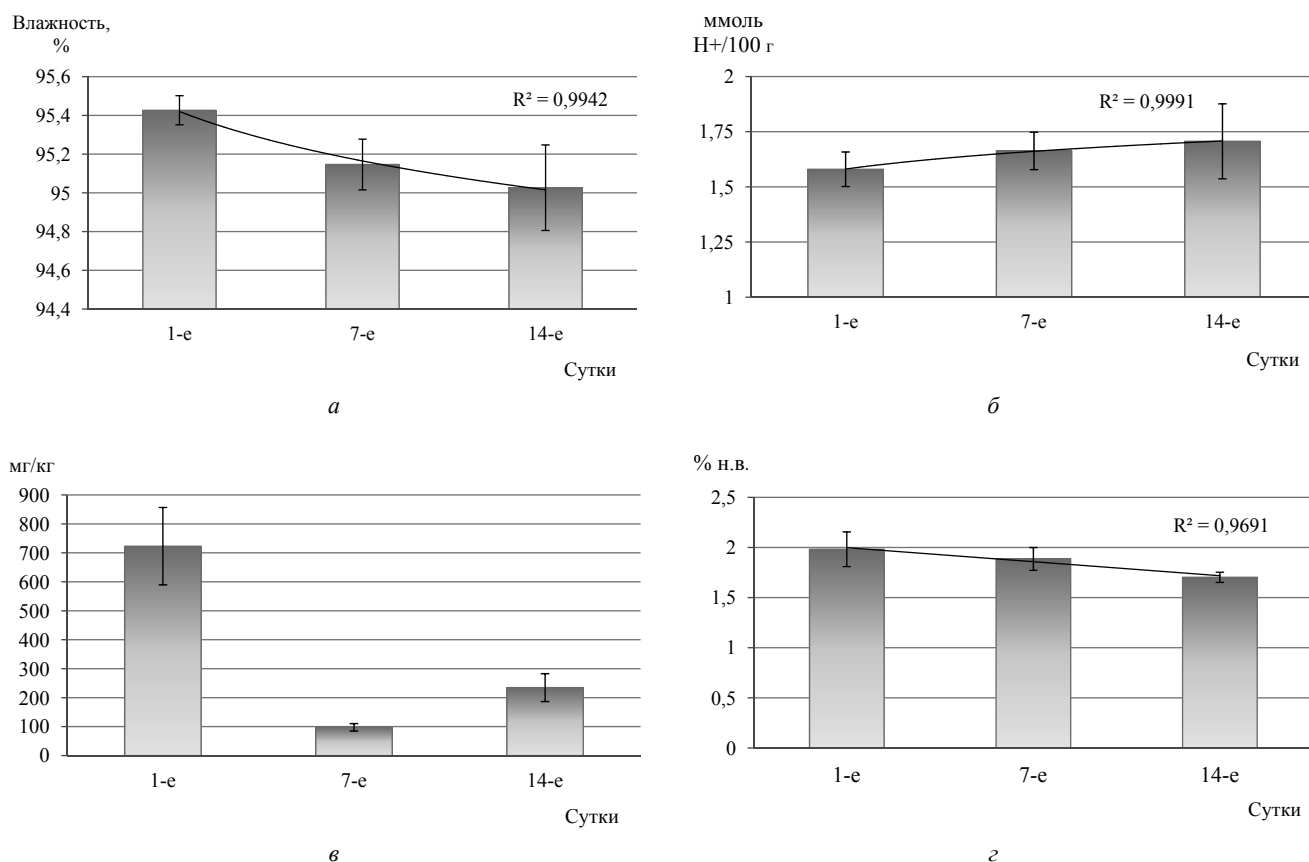


Рис. 10. Изменение влажности, %, (а), титруемой кислотности, ммоль Н<sup>+</sup>/100 г (б), содержания нитратов, мг/кг (в) и суммарного содержания сахаров (моносахара + дисахара), % н. в. (г) в образцах плодов огурца

Fig. 10. The changes of humidity, %, (a), titrated acidity, mmol H<sup>+</sup>/100 g (б), the content of nitrates, mg/kg, (в) and total sugar content (mono and disugars), % of weight., (г) in cucumber samples

## Выводы

На основании результатов проведенного исследования, можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее информативным для выявления изменений состояния плодов огурца на протяжении их хранения оказался оптический метод — цифровая макросъемка с включением ультрафиолетового источника освещения: значимые изменения характеристик плодов огурца отмечались, начиная со 2-х суток с начала хранения.

2. Органолептическое исследование образцов плодов огурца показало изменение механических и визуальных свойств образцов в процессе их хранения. Наблюдалась постепенная деградация плодов с потерей их товарных качеств: потеря тургора, начиная с 9-х суток, и изменение окраски, начиная с 5-х суток.

3. Сопряженные химические исследования также выявили изменения ряда биохимических показателей образцов плодов огурца в процессе их хранения: снижение влажности плодов на 7-е сутки, содержания нитратов на 7-е сутки, суммарного содержания моно- и дисахаров на 14-е сутки.

4. Исследование образцов плодов огурца тепловизионным, диэлькометрическим, газоразрядным методами показало слабую информативность, по сравнению с оптическим.

## Литература/ References

1. Базарнова Ю. Г. Методы исследования сырья и готовой продукции. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 76 с. [Bazarnova Yu. G. Research techniques of raw materials and finished goods. SPb.: NIU ITMO, 2013. 76 p. (in Russian)]
2. Minolta Co. Ltd.: Precise Colour Communication, Minolta, Osaka 564, Japan, 1994. 49 p.
3. Nicolaï B. M. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review / B. M. Nicolaï, K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, et al. *Postharvest Biol. Technol.* 2007. Vol. 46 (2). P. 99–118.
4. Ishimwe R. Applications of Thermal Imaging in Agriculture — A Review. / R. Ishimwe, K. Abutaleb, F. Ahmed. *Advances in Remote Sensing.* 2014. Vol. 03. No. 3. P. 128–140. <http://dx.doi.org/10.4236/ars.2014.33011>
5. Cubeddu R. Nondestructive quantification of chemical and physical properties of fruits by time-resolved reflectance spectroscopy in the wavelength range 650–1000 nm. / R. Cubeddu, C. D'andrea, A. Pifferi, P. Taroni, A. Torricelli, et al. *Applied Optics.* 2001. Vol. 40. No. 4. P. 538–543.
6. Wu D. Colour measurements by computer vision for food quality control — a review / D. Wu, D. W. Sun. *Trends Food Sci. Tech.* 2013. Vol. 29. No. 1. P. 5–20.
7. Bai Z. Splitting touching cells based on concave points and ellipse fitting / Z. Bai, Changming, G. Z. Sun. *Pattern Recogn. Lett.* 2009. Vol. 42. No. 11. P. 2434–2446.



8. Peleg K. Classification of avocado by firmness and maturity / K. Peleg, U. Ben-Hanan, S. Hinga. *J. Texture Studies*. 1990. Vol. 23. No. 2. P. 123–140. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1990.tb00470.x>
9. Hung Y. Nondestructive firmness sensing using a laser air-puff detector / Y. Hung, S. E. Prussia, G. O. I. Ezeike. *Postharvest Biol. Technol.* 1999. Vol. 16. No. 1. P. 15–25.
10. Landahl S. Avocado firmness monitoring with values obtained by means of laser Doppler vibrometry / S. Landahl, L. A. Terry. *IV Int. Conf. Postharvest Unlimited*. 2012. Vol. 945. P. 239–245. 10.17660/ActaHortic. 2012.945.32
11. Mizrach A. Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. *Postharvest Biol. Technol.* 2008. Vol. 48. No. 3. P. 315–330.
12. Haff R. P. X-ray detection of defects and contaminants in the food industry / R. P. Haff, N. Toyofuku. *Sens. Instrum. Food Qual.* 2008. Vol. 2. P. 162–173.
13. Donis-Gonzalez I. R. Relation of computerized tomography Hounsfield unit measurements and internal components of fresh chestnuts (*Castanea spp.*) / I. R. Donis-Gonzalez, D. E. Guyer, A. Pease, D. W. Fulbright. *Postharvest Biol. Technol.* 2012. Vol. 64. No. 1. P. 74–82.
14. Cho B. K. Effects of internal browning and watercore on low field (5.4 MHz) proton magnetic resonance measurements of T2 values of whole apples / B. K. Cho, W. Chayaprasert, R. L. Strohshine. *Postharvest Biol. Technol.* 2008. Vol. 47. No. 1. P. 81–89.
15. Chen P. NMR for internal quality evaluation of fruits and vegetables / P. Chen, M. J. McCarthy, R. Kauten. *Trans. ASAE*. 1989. Vol. 32. P. 1747–1753.
16. Vandendriessche T. Optimization of HS SPME fast GC–MS for high-throughput analysis of strawberry aroma / T. Vandendriessche, B. M. Nicolaï, M. L. A. T. M. Hertog. *Food Anal. Method.* 2013. Vol. 6. No. 2. P. 512–520. DOI: 10.1007/s12161-012-9471-x
17. Nicolaï B. M. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality / B. M. Nicolaï, T. Defraeye, B. De Ketelaere, E. Herremans, M. L. Hertog, W. Saeys, A. Torricelli, T. Vandendriessche, P. Verboven. *Annu Rev Food Sci Technol.* 2014. Vol. 5. P. 285–312. doi: 10.1146/annurev-food-030713-092410.
18. Berna A. Z. Electronic nose systems to study shelf life and cultivar effect on tomato aroma profile / A. Z. Berna, J. Lammertyn, S. Saevels, C. Di Natale, B. M. Nicolai. *Sensor. Actuat. B*. 2004. Vol. 97. No. 2–3. P. 324–333.
19. Micholt E. Extracellular recordings from rat olfactory epithelium slices using micro electrode arrays / E. Micholt, E. Jans, E. Callewaert, C. Bartic, J. Lammertyn, B. M. Nicolaï. *Sens. Actuators B*. 2013. Vol. 184. P. 40–47.
20. El Khaled D. Fruit and Vegetable Quality Assessment via Dielectric Sensing / D. El Khaled, N. Novas, J. A. Gazquez, R. M. Garcia, F. Manzano-Agugliaro. *Sensors (Basel)*. 2015. Vol. 15 (7). P. 15363–15397.
21. Sadikov A. Information Stored in Coronas of Fruits and Leaves / A. Sadikov, I. Kononenko. *Proc. New Science of Consciousness*, Ljubljana, 2002. P. 222–225.
22. Chang H. Y., Vickers Z. M., Tong C. B. S. The use of a combination of instrumental methods to assess change in sensory crispness during storage of a “Honeycrisp” apple breeding family. *J Texture Stud.* 2018. Vol. 49. No. 2. P. 228–239. doi: 10.1111/jtxs.12325.
23. Bland J. M., Bett-Garber L. K., Li C. H., Brashear S. S., Lea J. M., Bechtel P. J. Comparison of sensory and instrumental methods for the analysis of texture of cooked individually quick frozen and fresh-frozen catfish filets. *Food Sciences and Nutrition*. 2018. Vol. 6. No. 66. P. 1692–1705. doi: 10.1002/fsn3.737
24. Ананьев И. П. Двухкомпонентная диэлькометрия сельскохозяйственных материалов на основе автогенераторных преобразователей с инерционной стабилизацией амплитуды колебаний. // *Агрофизика*. 2011. № 1. С. 54–62. [Anan'ev I. P. Measurement of two-component complex permittivity of agricultural materials using the self-excited oscillatory-type transducers with inertial stabilisation of oscillation amplitude. *Agrofizika*. 2011. No 1. pp. 54–62. (in Russian)]
25. ГОСТ Р 33932–2016. Огурцы свежие, реализуемые в розничной торговле. Технические условия. [State standard R 33932–2016. Fresh cucumbers for retail. Specifications. (in Russian)]
26. ГОСТ 31640–2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. [State standard 31640–2012. Stern. Methods of definition of solid basis (in Russian)]
27. ГОСТ Р 51434–99. Соки фруктовые и овощные. Метод определения титруемой кислотности. [State standard R 51434–99. Fruit and vegetable juices. Method for determination of titratable acidity (in Russian)]
28. МУ 5048–89. Методические указания по определению нитратов и нитритов в продукции растениеводства. [MU 5048–89. Study guide by definition of nitrates and nitrites in production of crop production (in Russian)]
29. ГОСТ 26176–91. Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. [State standard 26176–91. Fodders, mixed feeds. Methods for determination of soluble and hydrolysable carbohydrates (in Russian)].

**Сведения об авторах****Прияткин Николай Сергеевич**

к. т. н., старший научный сотрудник, заведующий сектором биофизики растений Агрофизического научно-исследовательского института, 195220, Россия, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, prini@mail.ru

**Хомяков Юрий Викторович**

к. б. н., заведующий лабораторией биохимии почвенно-растительных систем Агрофизического научно-исследовательского института, 195220, Россия, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, himlabafi@yandex.ru

**Блохин Юрий Игоревич**

научный сотрудник отдела моделирования адаптивных агротехнологий Агрофизического научно-исследовательского института, 195220, Россия, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, blohin3k4@gmail.com

**Кузнецова Татьяна Алексеевна**

к. б. н., доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых технологий Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого, 194021 Санкт-Петербург, Новороссийская ул., 50, tano\_lovely@mail.ru

**Михина Виктория Юрьевна**

магистрант Высшей школы биотехнологий и пищевых технологий Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого, 194021 Санкт-Петербург, Новороссийская ул., 50, vicka.mihina@yandex.ru

**Тримасова Лада Олеговна**

ведущий аналитик, ООО «Информационные крылья», 196650, Санкт-Петербург, ул. Финляндская, д. 34, lt@infowings.ru

**Шатерников Алексей Николаевич**

директор по машинному обучению, ООО «Информационные крылья», 196650, Санкт-Петербург, ул. Финляндская, д. 34, as@infowings.ru

**Ремизов Олег Игоревич**

руководитель проекта, ООО «Информационные крылья», 196650, Санкт-Петербург, ул. Финляндская, д. 34, oremizov@infowings.ru

**Кертлинг Родион Сергеевич**

генеральный директор, ООО «Информационные крылья», 196650, Санкт-Петербург, ул. Финляндская, д. 34, rk@infowings.ru

**Панова Гаяне Геннадьевна**

к. б. н., заведующий отделом светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем, Агрофизического научно-исследовательского института, директор ООО «Фитосфера», 195220, Россия, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, gaiane@inbox.ru

**Information about authors****Priyatkin Nikolay Sergeevich**

Ph. D., senior researcher, head of plant biophysics division of Agrophysical research Institute, 195220, Russia, St. Petersburg, Grazhdanskiy pr. 14, prini@mail.ru

**Khomyakov Yuri Viktorovich**

Ph. D., head of biochemistry of soil-plant systems laboratory of Agrophysical research Institute, 195220, Russia, St. Petersburg, Grazhdanskiy pr. 14, himlabafi@yandex.ru

**Blokhin Yuri Igorevich**

Researcher, adaptive agrotechnologies simulation Department of Agrophysical research Institute, 195220, Russia, St. Petersburg, Grazhdanskiy pr. 14, blohin3k4@gmail.com

**Kuznetsova Tatiana Alekseevna**

Ph. D., assistant professor of Graduate school of biotechnology and food of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 194021, Russia, St. Petersburg, Novorossiiskaya ul., 50, tano\_lovely@mail.ru

**Mikhina Viktoria Yur'evna**

Graduate student of Graduate school of biotechnology and food of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 194021, Russia, St. Petersburg, Novorossiiskaya ul., 50, vicka.mihina@yandex.ru

**Trimasova Lada Olegovna**

Data scientist, InfoWings Ltd, 196650, Russia, St. Petersburg, Finlyanskaya st, 34, lt@infowings.ru

**Shaternikov Alexey Nikolaevich**

Director of machine learning, InfoWings Ltd 196650, Russia, St. Petersburg, Finlyanskaya st, 34, as@infowings.ru

**Remizov Oleg Igorevich**

Project Manager, InfoWings Ltd 196650, Russia, St. Petersburg, Finlyanskaya st, 34, oremizov@infowings.ru

**Kertling Rodion Sergeevich**

General Manager, InfoWings Ltd 196650, Russia, St. Petersburg, Finlyanskaya st, 34, rk@infowings.ru

**Panova Gaiane Gennad'evna**

Ph. D., head of light physiology and agroecosystems bioproductivity department, Federal State Budgetary Scientific Institution Agrophysical research Institute, director, Phytosphaera Ltd, 195220, Russia, St. Petersburg, Grazhdanskiy pr. 14, gaiane@inbox.ru