

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕЛОСТИ ЯГОД

¹Минеев В.В., ^{1,2}Алейников А.Ф., ¹Ёлкин О.В., ¹Морозов В.Б.

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Новосибирский государственный технический университет

Новосибирск, Россия

Для цитирования: Минеев В.В., Алейников А.Ф., Ёлкин О.В., Морозов В.Б. Прибор для определения спелости ягод // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 61–67. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-8

For citation: Mineev V.V., Aleinikov A.F., Elkin O.V., Morozov V.B. Pribor dlya opredelenia spelosti yagod [The device for berry ripeness determination]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 61–67. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-8

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Рассмотрен вариант аппаратурной реализации экспресс-метода биоимпедансной спектрометрии для оценки степени спелости ягод. Метод основан на измерении электрофизических параметров биологических тканей ягод при изменении проницаемости клеточных мембран в процессе созревания. При создании портативного прибора для экспресс-оценки степени спелости ягод использованы следующие результаты исследований. После начала созревания, когда происходит рост содержания сухих растворимых веществ, наблюдается рост информативного показателя – коэффициента дисперсии поляризации ткани, определяемого как отношение модулей электрических импедансов, измеренных на двух частотах. При достижении ягодами съемной спелости его рост существенно замедляется и стабилизируется. Прибор позволяет оператору фиксировать этот процесс и определять оптимальные сроки уборки. Принцип действия прибора заключается в следующем. Ягода помещается в датчик импеданса, выполненного в виде прищепки, и контактирует с его электродами. Под управлением микроконтроллера в ягоде между электродами поочередно задается ток от двух источников синусоидального тока с разными частотами. При протекании тока напряжение на электродах пропорционально модулю импеданса ткани ягоды. Далее напряжения каждой частоты преобразуются в коды и поочередно поступают в микроконтроллер, где вычисляется их отношение – коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды. Результат вычисления отображается на экране буквенно-

THE DEVICE FOR BERRY RIPENESS DETERMINATION

¹Mineev V.V., ^{1,2}Aleinikov A.F.,
¹Elkin O.V., ¹Morozov V.B.

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia;

²Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

The paper analyzes the hardware implementation of the rapid method of bioimpedance spectrometry for assessing the degree of berry ripeness. This method is based on the measurement of electrophysical parameters of biological tissues of berries given that the permeability of cell membranes changes during ripening. When creating a portable device for rapid assessment of the degree of berry ripeness, the research results described below were used. After the onset of maturation, when there is an increase in the content of dry soluble substances, there is also an increase in the informative indicator – the coefficient of dispersion of tissue polarization, defined as the ratio of the modules of electrical impedances measured at two frequencies. When berries reach ripeness suitable for harvesting, its increase significantly slows down and stabilizes. The device allows the operator to record this process and determine the optimal timing for harvesting. The operation principle of the device is as follows. The berry is placed in the impedance sensor, made in the form of a clothespin, and contacts with its electrodes. Regulated by the microcontroller, electric current from two sources of sinusoidal current with different frequencies is alternately set between the electrodes in a berry. When the current flows, the voltage across the electrodes is proportional to the magnitude of the berry tissue impedance module. Next, the voltage of each frequency is converted to codes and alternately sent to the microcontroller, which calculates their ratio – the coefficient of dispersion of berry tissue polarization. The result of the calculation is displayed on the screen of the alpha-numeric indicator. Before the beginning of

цифрового индикатора. Перед началом созревания оператор с помощью прибора с периодичностью 2–3 дня осуществляет наблюдения за изменением коэффициента дисперсии поляризации ткани ягоды. Когда его рост прекратится, ягода считается достигшей съемной спелости.

Ключевые слова: спелость ягод, средства контроля, биологическая ткань, биоимпеданс

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение в рационе питания населения ягод, обладающих низкой калорийностью и содержащих значительное количество витаминов, микроэлементов, органических кислот, пектинов, глюкозидов, неорганических солей и других ценных веществ, существенно влияет на обмен веществ и жизнедеятельность организма [1]. Особенно важно потребление ягод в свежем виде. Для этого необходимо в течение определенного периода сохранять товарные, пищевые и вкусовые качества без потерь массы ягод [2]. Качество ягод является результатом сложных физиологических и биохимических реакций, происходящих во время всего вегетативного цикла культуры.

Степень спелости (зрелости) при съеме урожая ягод – один из важных факторов, определяющих продолжительность их хранения. Поздний съем ягод снижает урожай следующего года, переспелые ягоды плохо хранятся [2]. Рано снятые плоды не успевают получить необходимый запас органических веществ и плохо дозревают при хранении. Плоды в оптимальной для сорта степени съемной спелости отличаются более низкой интенсивностью дыхания и его равномерным изменением при хранении [3].

Для оценки степени спелости ягод используется, например, метод определения съемной зрелости по разности общих и растворимых сухих веществ [2]. Содержание общих сухих веществ определяют высушиванием, растворимых – рефрактометром. По мере повышения степени зрелости ягод разность веществ уменьшается. Недостаток метода – большие затраты труда и времени. Известна также методика определения

berry maturation, an operator monitors the change in the dispersion coefficient of the berry tissue polarization with the help of the device at intervals of 2-3 days. When its increase stops, the berry is considered to have reached ripeness suitable for harvesting.

Key words: ripeness of berries, control means, biological tissue, bioimpedance

съемной зрелости по твердости мякоти [2]. По мере созревания твердость мякоти уменьшается, что обусловлено увеличением количества пектина. Для определения твердости мякоти используется пенетrometer. Использование этой методики ограничено, так как она применима лишь для ягод, содержащих мякоть. Более достоверные методики основаны на методах определения физиологических показателей, связанных с созреванием (йодокрахмальная проба, отражение света поверхностью ягоды, ее флуоресценция). Однако они требуют или больших затрат труда и времени, или использования дорогостоящего оборудования [3]. Наибольшего внимания заслуживают экспресс-методы анализа, использующие изменение проницаемости клеточных мембран при созревании, в качестве информативных показателей – электрофизические параметры биологических тканей. Среди них известны метод заряда биологической ткани [4] и наиболее перспективный метод биоимпедансной спектromетрии [5, 6]. Однако портативные инструментальные средства для экспресс-оценки степени спелости ягод отсутствуют на рынке Российской Федерации.

Цель работы – реализовать метод биоимпедансной спектromетрии в виде портативного прибора для определения спелости ягод с возможностью его использования в полевых условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели использованы материалы исследований метода биоимпедансной спектromетрии, проведенных в Сибирском физико-техническом

институте аграрных проблем СФНЦА РАН на ягодах черной смородины и облепихи. Выявлено наличие связи электрофизических параметров растительных тканей ягод смородины и облепихи со степенью их спелости и выбран информативный параметр – коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$, определяемый как отношение модулей электрических импедансов, измеренных на двух частотах – 1 кГц и 1 МГц [7]. Установлено также, что после начала созревания, т.е. в период, когда происходит рост содержания сухих растворимых веществ (ССРВ), наблюдается также и рост коэффициента $K(z)$. При достижении ягодами облепихи съемной спелости его рост существенно замедляется и стабилизируется (см. рис. 1). Для ягод смородины наблюдалась аналогичная динамика изменения коэффициента $K(z)$ от даты сбора. Подобная динамика изменения отношения сопротивлений мякоти яблок от срока сбора получена также в исследовании [8]. Этот факт

использован в данной работе при создании портативного прибора для экспресс-оценки степени спелости ягод.

Синтез принципиальной схемы прибора осуществляли с использованием методов теории измерительных преобразователей, теории алгоритмических измерений и руководств фирм-производителей датчиков и электронных компонентов [9, 10].

Характеристики погрешности экспериментального образца прибора определяли методами теории вероятностей и математической статистики¹. Входная величина прибора – коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$ или отношение электрического импеданса в низкочастотной области к электрическому импедансу в области высоких частот – задавалась с помощью двух магазинов сопротивлений МСР63. Вычисления осуществляли с помощью программы Excel.

Исследования характеристик проводили при температуре окружающего возду-

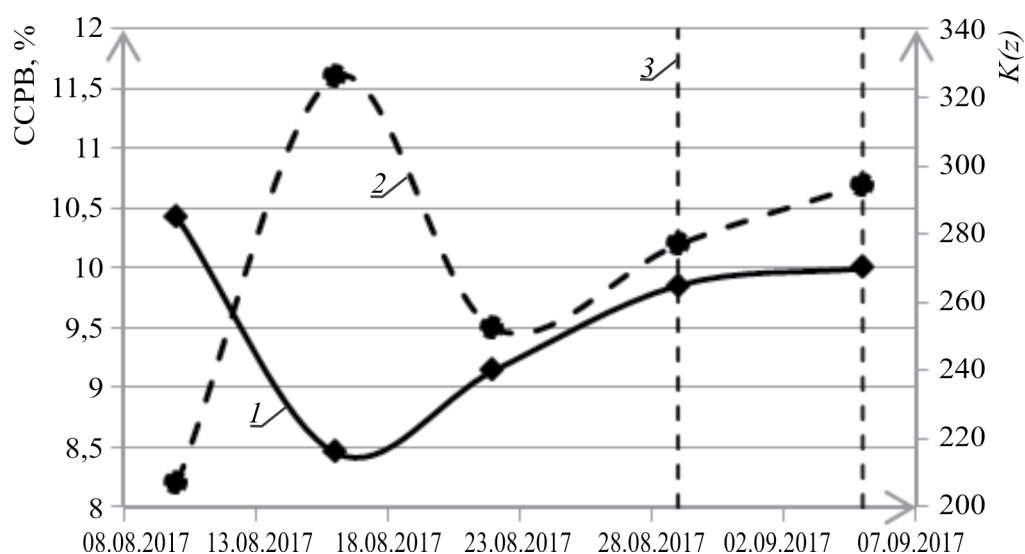


Рис. 1. Графики зависимостей ССРВ и коэффициента дисперсии поляризации ткани $K(z)$ ягод облепихи Алтайская от сроков сбора ягод:
1 – значения коэффициента $K(z)$; 2 – значения ССРВ; 3 – границы зоны спелости

Fig. 1. Dependency graph of soluble dry substance content and dispersion coefficient of berry tissue polarization $K(z)$ of sea buckthorn berries *Altaiskaya* against harvesting time:
1 – coefficient $K(z)$; 2 – soluble dry substance content; 3 – borders of maturity zones

¹ГОСТ 8.508–84 ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации. Общие методы оценки и контроля. М.: Издательство стандартов, 1984. 53 с.

ха (20 ± 5) °C и относительной влажности воздуха (40 ± 5)%. Параметры климата контролировали следующими средствами измерений: термометром ТМЦЭ-2В № 1599, 2012 г. (диапазон от 0 до 100 °C, дискретность 0,1 °C, погрешность $\pm 0,5$ °C); гигрометром ИВА-6А № 642, 2009 г. (диапазон от 0 до 98%, дискретность 0,1%, погрешность ± 2 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате работы создано устройство, реализующее принцип оценки спелости ягод путем измерения коэффициента дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$. Вариант функциональной схемы устройства

представлен на рис. 2, где для каждого функционального элемента приведены наименования применяемых микросхем.

Вместо преобразователя «напряжение – частота» могут использоваться также и аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

Принцип действия прибора для оценки спелости ягод заключается в следующем. Управляющие напряжения U_1 , U_2 с выхода микроконтроллера *CPU* с помощью мультиплексора *MUX* задают ток в ягоде между электродами поочередно от двух генераторов синусоидального напряжения с частотами F_1 и F_2 . Величина тока определяется ограничителем тока Z_k . При протекании тока напряжение на электродах пропорционально модулю импеданса ткани, заклю-

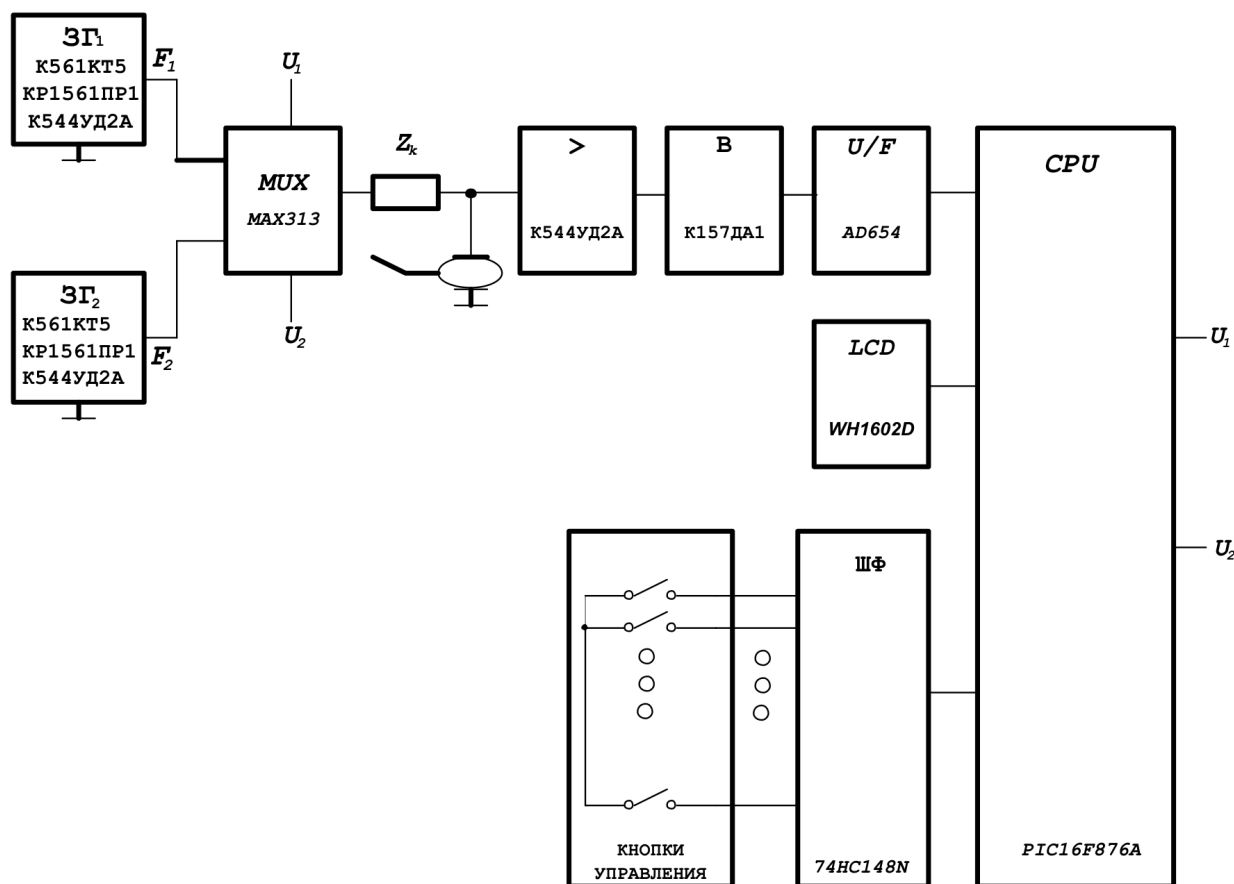


Рис. 2. Функциональная схема устройства для оценки спелости ягод:

3Г₁, 3Г₂ – задающие генераторы синусоидального напряжения на частотах F_1 и F_2 ;
MUX – мультиплексор; Z_k – ограничитель тока; > – инструментальный усилитель;
B – амплитудный детектор; *U/F* – преобразователь «напряжение – частота»; *CPU* – микроконтроллер;
LCD – буквенно-цифровой индикатор; ШФ – шифратор; U_1 U_2 – управляющие напряжения

Fig. 2. Functional scheme of the device for berry ripeness assessment:

3Г₁, 3Г₂ – generators that set sinusoidal voltage at frequencies F_1 and F_2 ; *MUX* – multiplexor; Z_k – current regulator; > – instrumentation amplifier; *B* – amplitude detector; *U/F* – converter «voltage – frequency»; *CPU* – microcontroller; *LCD* – alpha-numeric indicator; ШФ – code device; U_1 U_2 – voltage regulators

ченной между этими электродами. Далее усиленные, выпрямленные и преобразованные в коды напряжения каждой частоты F_1 и F_2 поочередно поступают в микроконтроллер *CPU*, где вычисляется отношение кодов этих двух частот, т.е. коэффициент дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$. Результат вычисления отображается на экране буквенно-цифрового индикатора *LCD*. По полученному значению $K(z)$ судят о спелости ягод. Для оперативного подключения к ягодам разработаны и изготовлены датчики импеданса в виде прищепок на базе неполяризующихся чашечковых электродов 9013E2372 производства фирмы «Alpine Biomed» (Германия). Для ягод с мякотью разработан вариант датчиков импеданса с игольчатыми электродами от измерителя влажности древесины «GANN HT 35» (Германия). Для уменьшения контактного сопротивления между чашечковыми электродами и поверхностью ягод используется электродный гель «Акугель-Электро» производства ООО «МедиКрафт» (Россия).

Работоспособность прибора проверена с помощью экспериментального образца. Погрешность измерения коэффициента дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$, которую определяли путем задания отношения сопротивлений магазинами сопротивлений МСР63, не превысила $\pm 5\%$.

Предполагается следующий порядок работы с устройством в полевых условиях. После изменения окраски кожицы ягод и приобретения ими цвета, характерного для начала созревания, оператор с помощью устройства с периодичностью 2–3 дня осуществляет наблюдения за изменением коэффициента дисперсии поляризации ткани ягоды $K(z)$. Когда его рост прекратится, ягода считается достигшей съемной спелости.

Предполагается дальнейшее усовершенствование прибора в следующих направлениях:

– расширить диапазон измерения биоимпеданса, что позволит увеличить ассортимент диагностируемых садовых культур, и уменьшить погрешность измерений, возникающую из-за паразитных емкостей на

высокой частоте, за счет применения источника зондирующего тока, предложенного в работе [11].

– повысить достоверность определения спелости плодов за счет поличастотной импедансометрии, которая возможна при использовании специальной микросхемы фирмы Analog Devices AD5933 (многочастотный измеритель импеданса) [12].

ВЫВОДЫ

1. Аппаратурно реализован метод биоимпедансной спектрометрии в виде портативного прибора для определения спелости ягод с возможностью его использования в полевых условиях.

2. Ягода считается достигшей съемной спелости, если в процессе наблюдения с использованием прибора оператор фиксирует прекращение роста коэффициента дисперсии поляризации ее ткани.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Короткий И.А.* Сибирская ягода. Физико-химические основы технологий низкотемпературного консервирования: монография. Кемерово: КемТИПП, 2007. 146 с.
2. Методическое и аналитическое обеспечение исследований по садоводству: монография / под общ. ред. Е.А. Егорова. Краснодар: СКЗНИИСИВ, 2010. 299 с.
3. *Родинов С.А.* Методы и устройства анализа зрелости яблок: монография. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 216 с.
4. *Гордеев А.С., Дроздов Д.В.* Прибор для прогнозирования качества // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2006. № 2. С. 79–83.
5. *Acácio Figueiredo Neto, Nelson Cárdenas Olivier, Erlon Rabelo Cordeiro et al.* Determination of mango ripening degree by electrical impedance spectroscopy // Computers and Electronics in Agriculture. 2017. N 143. P. 222–226.
6. *Chowdhury A., Bera T.K., Ghoshal, D. Chakraborty B.* Studying the electrical impedance variations in banana ripening using electrical impedance spectroscopy // Proc. IEEE Adv. Biol. Med. Soc. 2015. N 1. P. 97–99.

7. Алейников А.Ф., Минеев В.В. Метод оценки зрелости ягод без их разрушения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 2. С. 72–80. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-11
8. Родиков С.А. Применение переменного электрического тока для контроля качества яблок // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 2. С. 68–70.
9. Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П. Датчики (перспективные направления развития); 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. М.П. Цапенко: монография. Новосибирск: НГТУ, 2003. 286 с.
10. Арутюнов П.А. Теория и применение алгоритмических измерений: монография. М.: Энергоатомиздат, 1990. 256 с.
11. Грачев А.Ю., Карпанин О.В., Печерская Е.А. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных измерений биоимпеданса // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2017. Т. 21. № 1. С. 96–108.
12. Jerzy Hoja, Grzegorz Lentka. A family of new generation miniaturized impedance analyzers for technical object diagnostics // *Metrol. Meas. Syst.* 2013. Vol. 20. N 1. P. 43–52.
5. Acácio Figueiredo Neto, Nelson Cárdenas Olivier, Erlon Rabelo Cordeiro et al. Determination of mango ripening degree by electrical impedance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017, no. 143, pp. 222–226.
6. Chowdhury A., Bera T.K., Ghoshal D. Chakraborty B. Studying the electrical impedance variations in banana ripening using electrical impedance spectroscopy. *Proc. IEEE Adv. Biol. Med. Soc.*, 2015, no. 1, pp. 97–99.
7. Aleinikov A.F., Mineev V.V. Metod otsenki zrelosti yagod bez ikh razrusheniya [Berry maturity assessment method without its damage]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 2, pp. 72–80. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-11. [In Russian].
8. Rodikov S.A. Primenenie peremennogo elektricheskogo toka dlya kontrolya kachestva yablok [The use of alternating current for apple quality control]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2009, no. 2, pp. 68–70. [In Russian].
9. Aleinikov A.F., Gridchin V.A., Tsapenko M. P. *Datchiki (perspektivnye napravleniya razvitiya)* [Sensors (prospective lines of development)]; 2-e izd., pererab. i dop. / pod red. M.P. Tsapenko. Novosibirsk: NGTU Publ., 2003, 286 p. [In Russian].
10. Arutyunov P.A. *Teoriya i primeneniye algoritmicheskikh izmerenii*: [The theory and use of algorithmic measurements], M.: Energoatomizdat Publ., 1990, 256 p. [In Russian].
11. Grachev A.Yu., Karpanin O.V., Pecherskaya E.A. *Apparatno-programmnyi kompleks dlya avtomatizirovannykh izmerenii bioimpedansa* [Hardware and software complex for automated measurements of bioimpedance], *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* [Models, systems, networks in economics, engineering, nature and society], 2017, vol. 21, no. 1, pp. 96–108. [In Russian].
12. Jerzy Hoja, Grzegorz Lentka. A family of new generation miniaturized impedance analyzers for technical object diagnostics. *Metrol. Meas. Syst.*, 2013, vol. 20, no. 1, pp. 43–52.

REFERENCES

1. Korotkii I.A. *Sibirskaya yagoda. Fiziko-khimicheskie osnovy tekhnologii nizkotemperaturnogo konservirovaniya*: [Siberian berries. Physical and chemical basis of low-temperature conservation technology]. Kemerovo: KemTIPP Publ., 2007, 146 p. [In Russian].
2. *Metodicheskoe i analiticheskoe obespechenie issledovaniy po sadovodstvu: monografiya* [Methodological and analytical support of research into horticulture]. Pod obshch. red. E.A. Egorova. Krasnodar: SKZNIISiV Publ., 2010, 299 p. [In Russian].
3. Rodikov S.A. *Metody i ustroystva analiza zrelosti yablok*: [Methods and devices for apple ripeness analysis]. M.: FIZMATLIT Publ., 2009, 216 p. [In Russian].
4. Gordeev A.S., Drozdov D.V. Pribor dlya prognozirovaniya kachestva [The device for fruit quality forecasting]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [The Journal of Michurinsk State Agrarian University]. 2006, no. 2, pp. 79–83. [In Russian].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Минеев В.В.**, старший научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск; СФНЦА РАН, а/я 463. e-mail: mineevfti@yandex.ru

Алейников А.Ф., доктор технических наук, главный научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, профессор Новосибирского государственного технического университета; e-mail: fti2009@yandex.ru

Ёлкин О.В., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Морозов В.Б., научный сотрудник; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

AUTHOR INFORMATION

✉ **Mineev V.V.**, Senior Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: mineevfti@yandex.ru

Aleinikov A.F., Doctor of Science in Engineering, Head Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Professor of Novosibirsk State Agrarian University; e-mail: fti2009@yandex.ru

Elkin O.V., Candidate of Science in Engineering, Leading Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Morozov V.B., Scientific Researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Финансовая поддержка

Работа поддержана бюджетным проектом СФНЦА СО РАН № 0778-2018-0003.

*Дата поступления статьи 11.05.2018
Received by the editors 11.05.2018*