

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2022. № 1(66). С. 124–131.

Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov. 2022;1(66):124–131.

Краткое сообщение

УДК 004.932.2: 57.081.23

doi: 10.34655/bgsha.2022.66.1.017

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ОПТИКО-КОМПЬЮТЕРНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ СТЕКЛОВИДНОСТЬ

Т.С. Рутковская<sup>1,3</sup>, Е.Г. Парфёнова<sup>2</sup>, Р.Ю. Антонов<sup>3</sup>, М.В. Архипов<sup>1</sup>, Г.П. Петров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Агрофизический институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Уральский научно-исследовательский институт метрологии – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>ООО «ЭКАН», Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Рутковская Татьяна Сергеевна, tatiana-ekan@yandex.ru

**Аннотация.** В статье обоснована необходимость разработки современных цифровых методов для оценки технологических качеств зерна. Установлено, что стекловидность зерна как показатель, характеризующий структуру эндосперма, наиболее точно описывает эффект рассеяния света при регистрации сигнала в проходящем свете. Оптические свойства эндосперма зерна пшеницы легли в основу нового опτικο-компьютерного метода определения стекловидности пшеницы. Произведён сравнительный анализ оценки стекловидности опτικο-компьютерным методом по разработанной авторами методике и стандартным методом по следующим критериям: стабильность результатов, время измерения. Определено, что стабильность результатов измерений опτικο-компьютерным методом значительно выше, чем стандартным, и зависит от увеличения значений стекловидности пробы. При использовании программной оценки стекловидности среднее значение стандартного отклонения, характеризующее стабильность результатов, сократилось в 4 раза по сравнению со средним значением стандартного отклонения визуальной оценки. Среднее время измерения одной пробы с использованием опτικο-компьютерного метода сократилось более чем в 10 раз по сравнению со стандартным методом: среднее время измерения для визуальной оценки составило 359,6 с, для программной оценки – 25,8 с. В результате исследования доказана применимость опτικο-компьютерного метода для оперативной оценки технологических качеств зерна пшеницы. Обусловлена необходимость стандартизации опτικο-компьютерного метода для внедрения в лабораторную практику на предприятиях зерновой промышленности. Результаты исследований легли в основу нового национального стандарта, способствующего более быстрому внедрению опτικο-компьютерного метода для оценки качества зерна.

**Ключевые слова:** пшеница, опτικο-компьютерный метод, технологические качества зерна, стекловидность.

Brief report

**PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF AN OPTICAL-COMPUTER METHOD  
FOR DETERMINING THE TECHNOLOGICAL QUALITIES OF WHEAT GRAIN  
IN TERMS OF VITREOUSNESS**

**Tatyana S. Rutkovskaya<sup>1,3</sup>, Elena G. Parfenova<sup>2</sup>, Roman Y. Antonov<sup>3</sup>,  
Mikhail V. Arkhipov<sup>1</sup>, Gennadii P. Petrov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russian

<sup>2</sup>Ural Research Institute for Metrology – Affiliated Branch of the D.I. Mendeleev Institute for Metrology, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup>EKAN LLC, Saint-Petersburg, Russian

**Abstract.** *The paper justifies a necessity of developing modern digital methods for assessing technological qualities of grain. It has been determined that grain vitreousness, as an indicator characterizing the structure of the endosperm, describes the effect of light scattering most accurately when registering a signal in transmitted light. A new optical-computer method for determining the vitreousness of wheat is based on the optical properties of the wheat grain endosperm. A comparative analysis of the results of vitreousness measurements by the optical-computer method according to the method developed by the authors and the standard one was carried out according to the following criteria: measurement time, inspection results on stability. It was determined that the stability of the results of measurements by the optical-computer method is much higher than the standard one and depends on the increase in the vitreousness of the sample. When using the software assessment of vitreousness, the average value of the standard deviation, which characterizes the stability of the results, decreased by 4 times compared with the average value of the standard deviation of the visual assessment. The average measurement time of one sample using the optical-computer method was reduced by more than 10 times compared to the standard method: the average measurement time for visual assessment was 359.6 s, for program assessment - 25.8 s. A detailed study proved the applicability of an optical-computer method for the quick estimation of the technological qualities of wheat grain. Analysis revealed the necessity of standardization of an optical-computer method for introduction into laboratory practice at grain industry enterprises. A new national standard is based on the results of the research, which contributes to the faster implementation of the optical-computer method for assessing the quality of grain.*

**Keywords:** wheat, optical-computer method, technological qualities of grain, vitreousness.

**Введение.** Определение товарных качеств зерна и зернопродуктов требует проведения большого числа лабораторных исследований, привлечения высококвалифицированных специалистов и занимает довольно много времени. Отечественные специалисты достаточно хорошо справляются с этой задачей [1,2,3]. Об этом свидетельствуют и те значимые успехи, которых добилось наше сельское хозяйство в области производства зерна в последние годы [4].

Отслеживать качество необходимо с самых первых этапов создания сорта – на этапах селекции и семеноводства [5, 6]. Наряду с посевными свойствами не-

обходимо оценивать и технологические качества, характеризующие свойства зерновки и определяющие целевое назначение зерна.

Современные методы и приборы могут существенно помочь работникам сельскохозяйственных лабораторий упростить и автоматизировать процессы анализов по многим показателями и сократить время их проведения [7, 8, 9].

Разработка и внедрение объективных методов и средств оценки качества зерна, основанных на исследованиях оптических свойств зернопродуктов, имеют большое практическое значение. В ряде работ [10,11] приведены результаты ис-

следований в этой области применительно к муке по показателям: белизна, зольность, цвет и т. п.

Большой интерес представляет применимость разработанного специалистами ООО «ЭКАН» оптико-компьютерного метода и для оценки технологических качеств исходного продукта – зерна пшеницы. **Оптико-компьютерный метод** – метод оценки показателей качества продукции на основе компьютерного анализа ее изображений в оптическом диапазоне длин волн.

**Целью исследования** является определение возможностей оптико-компьютерного метода для автоматической оценки стекловидности пшеницы. Для реализации цели работы были поставлены следующие задачи:

1. Обосновать применение оптико-компьютерного метода для анализа зерна по оптическим характеристикам.

2. Разработать методику определения стекловидности оптико-компьютерным методом с использованием электронного диафаноскопа.

3. Произвести сравнительный анализ определения стекловидности стандартным и оптико-компьютерным методом. Сравнить среднее время определения стекловидности стандартным методом и оптико-компьютерным методом.

#### **Условия и методы исследований.**

Для исследования были использованы образцы мягкой и твердой пшеницы. Образцы пшеницы с приспанными значениями по показателю стекловидности были подготовлены ФГБУ «Россельхозцентр». Диапазон стекловидности образцов зерна мягкой пшеницы составил 12-79%, твердой – 73-97 %.

В ходе исследования задействованные в эксперименте образцы оценивались стандартным методом на диафаноскопе ДЗС-2 согласно ГОСТ 10987-76 «Зерно. Методы определения стекловидности» и по разработанной программной методике с использованием электронного диафаноскопа ЯНТАРЬ» [12].

Измерение стекловидности образцов пшеницы производилось двумя методами:

- стандартным методом пятью различными специалистами на одном приборе ДЗС-2 для 100 зёрен каждого образца;

- по разработанной методике пятью различными специалистами на одном электронном диафаноскопе ЯНТАРЬ для 400 зёрен каждого образца.

Сравнение результатов произведённых измерений производилось по показателям: время, затраченное на испытание и повторяемость результатов.

**Результаты исследования и об- суждения.** В основу методики определения показателя стекловидности была положена математическая модель зерна пшеницы как оптической среды.

В наших исследованиях основной интерес представляют оптические свойства эндосперма. В эндосперме зерна пшеницы крахмал находится в виде гранул размерами от 3 до 50 мкм, которые соединены между собой белковыми веществами. Есть данные, что структура эндосперма связана с типом белка [13]. В стекловидном эндосперме преобладает прикрепленный белок (хафтпротеин), который прочно связан с крахмальными гранулами и соединяет их в монолитную массу. В мучнистом эндосперме преобладает промежуточный белок (цвикельпротеин), который слабо связан с зернами крахмала в виде отдельных перемычек с наличием воздушных включений.

В свою очередь, воздушные включения во многом определяют оптические свойства зерна. Их оценка положена в основу разработанного метода определения стекловидности. Суть способа в следующем: стекловидный эндосперм представляет оптически однородную среду с постоянным показателем преломления. Мучнистый эндосперм неоднороден (имеет пустоты), поэтому свет в нем многократно рассеивается и преломляется. Именно эффект рассеяния взят за основу при разработке оптико-компьютерного метода определения стекловидности, так как он напрямую связан с количеством воздушных включений в эндосперме.

Известны способы [14, 15] оценки показателя стекловидности на основе опти-

ческих величин, но они основываются по большей части на измерении коэффициента ослабления проходящего света.

$$\mu = \frac{-1}{\Phi} \frac{d\Phi}{dz},$$

где  $\Phi$  – поток излучения,  $z$  – длина пути луча.

В свою очередь, коэффициент ослабления является суммой показателей поглощения и рассеяния.

$$\mu = \mu_a + \mu_s,$$

где  $\mu_a$  – показатель поглощения,  $\mu_s$  – показатель рассеяния.

Анализируя приведенные выражения, можно заключить, что стекловидность, определенная таким способом, будет зависеть от показателя поглощения, то есть по сути от цвета зерна.

Исходя из этого, для оценки стекловидности была построена математическая модель, которая позволяет оценить показатель рассеяния отдельно [16]. Схема распространения света в зерне изображена на рис. 1.

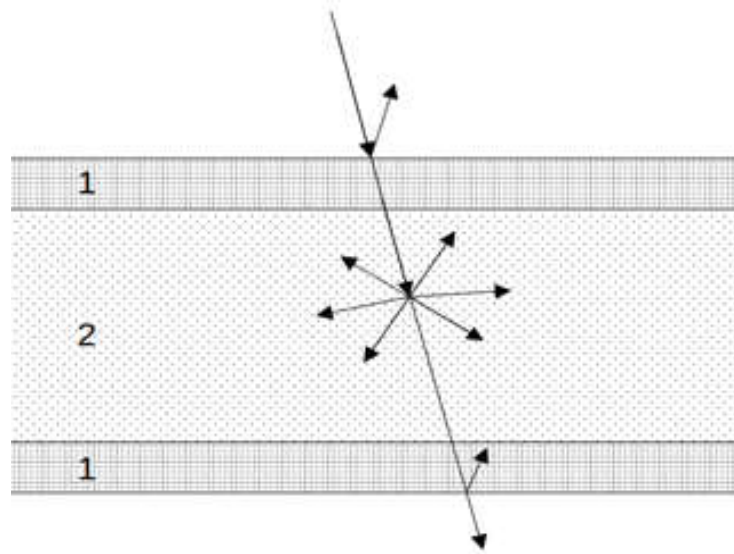


Рисунок 1. Принятая модель распространения излучения:  
1 – оболочки зерна, 2 – эндосперм

Экспериментальная проверка алгоритма работы диафаноскопа ЯНТАРЬ была осуществлена в лабораториях филиалов ФГБУ «Россельхозцентр» при проведении лабораторных испытаний по определению качества зерна пшеницы в период заготовки урожая. В ходе контрольной проверки по шести образцам пшеницы с приписанными значениями среднее стандартное отклонение измерения стекловидности оптико-компьютерным методом составило 1,3%, стандартным методом – 5,5%. Среднее время измерения стандартным методом составило 359,6 с, оптико-компьютерным методом – 25,8 с. Метрологические таблицы приведены в работе [16].

Рисунки 2, 3 иллюстрируют разбросы

при оценке стекловидности шести образцов пшеницы. Образцы сгруппированы по приписанному значению стекловидности.

Время измерения оптико-компьютерным методом было снижено более чем на порядок по сравнению со стандартным методом [16].

Результаты проведенных исследований обосновали необходимость стандартизации нового оптико-компьютерного метода оценки стекловидности как более точного и объективного [16, 17].

По инициативе разработчиков электронного диафаноскопа ЯНТАРЬ совместно с учеными ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова и УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» осуществлена разработка

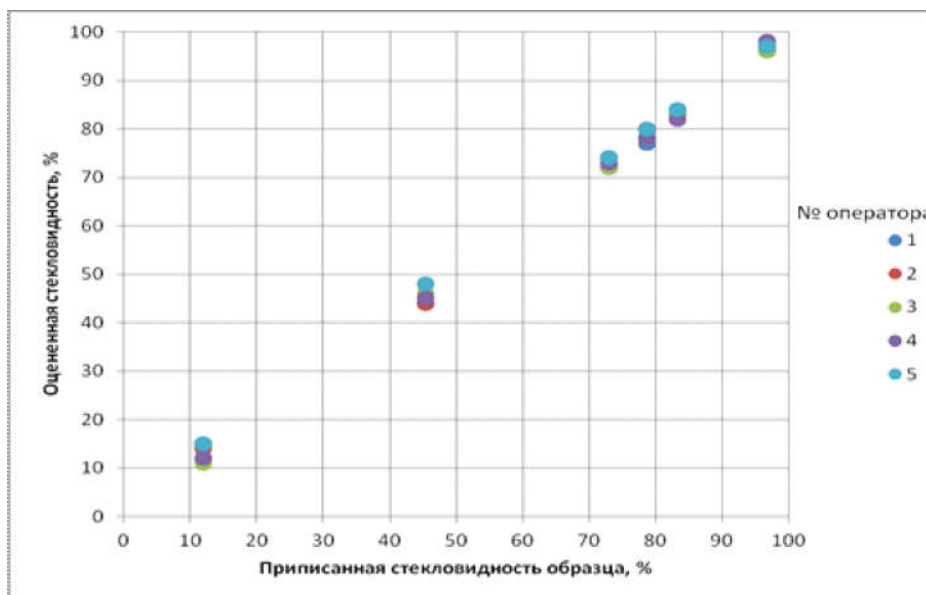


Рисунок 2. Результаты определения стекловидности на диафаноскопе Янтарь

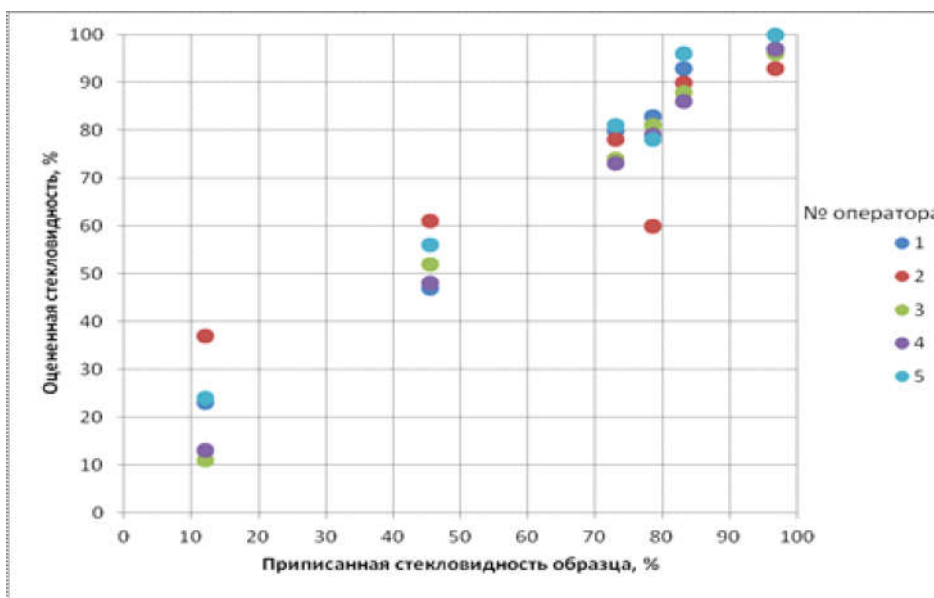


Рисунок 3. Результаты определения стекловидности на диафаноскоп ДС3-2

национального стандарта ГОСТ Р «Пшеница. Определение стекловидности оптико-компьютерным методом».

**Выводы и предложения:** 1. Установлено, что стекловидность зерна как показатель, характеризующий структуру эндосперма, наиболее точно описывает эффект рассеяния света при регистрации сигнала в проходящем свете. Оценка показателя рассеивания положена в основу разработанного способа определения стекловидности.

2. Полученные экспериментальные

результаты доказывают правильность разработанной методики определения стекловидности оптико-компьютерным методом.

3. Разработанная методика положена в основу нового национального стандарта для определения стекловидности зерна пшеницы.

4. Разработанный национальный стандарт способствует более быстрому внедрению оптико-компьютерного метода в повседневную практику оценки качества зерна.

## Список источников

1. Исследование прочностных и посевных качеств семян озимой пшеницы при фракционной технологии послеуборочной обработки зерна / В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.П. Тарасенко, А.В. Чернышов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 3 (62). С. 13-18. doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.3.13.
2. Экспресс-оценка качества семян пшеницы после очистительной линии / Н.Н. Барышева, С.П. Пронин, В.И. Беляев, Д.Д. Барышев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 10 (180). С. 128-134.
3. Оценка урожайности и посевных качеств у сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ Донской» в первичном семеноводстве / Ю.Г. Скворцова, Г.А. Филенко, Т.И. Фирсова [и др.] // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5 (77). С. 24-28. doi: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-24-28.
4. Кумратова А.М., Алещенко В.В. Продуктивность зернового производства в России: тенденции и перспективы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3 (63). С. 142-146. doi: 10.12737/2073-0462-2021-142-146.
5. Мелешкина Е.П. Актуальные вопросы качества // Хлебопродукты. 2018. № 10. С. 42-44.
6. Гурьева К.Б., Белецкий С.Л., Хаба Н.А. Методологические подходы к комплексной оценке качества и хлебопекарных характеристик пшеницы при хранении // Пищевая промышленность. 2021. № 5. С. 24-27. doi: 10.52653/PPI.2021.5.5.005.
7. Sineglazov V.M., Halatenko O.S. Express system of grain quality parameters determination // Электроника та системи управління. 2014. Vol. 3. No 41. Pp. 70-75.
8. Gorozhanin P.P. Quality assessment of wheat grain should be based on its protein content // Евразийское Научное Объединение. 2020. No 9-2 (67). Pp. 90-92.
9. Лебедев Д.В., Рожков Е.А., Абрамцов Д.С. Применение multifunctional технологий оптико-электронного зрения для калибровки и анализа семян // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 2 (34). С. 67-74.
10. Штейнберг Т.С., Семикина Л.И. Разработка систем оценки качества зернопродуктов по оптическим характеристикам // Контроль качества продукции. 2017. № 2. С. 32-37.
11. Медведев П.В., Федотов В.А., Соловых С.Ю. Информационные системы оценки технологических достоинств пшеницы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 4. С. 58-69. doi: 10.36107/spfp.2019.190.
12. Пат. 2744342 Российская Федерация, МПК А 01 С 1/00. Способ определения стекловидности зерна и система для его реализации / Р.Ю. Антонов, Г.П. Петров, Т.С. Рутковская, И.М. Калинин; заявитель и патентообладатель ООО «ЭКАН». 2020128537; заявл. 27.08.2020; опубл. 05.03.2021. Бюл. № 7.
13. Суслынок Г. М., Гуныкин В. А., Козьмина Н. П. Теоретические основы прогрессивных технологий (Биотехнология) : Зерновое хозяйство (с основами биохимии растений). Москва : Издательство «Колос», 2006. 464 с.
14. Emna Chichti, Myriam Carrire, Matthieu George, Jean-Yves Delenne, Valerie Lullien-Pellerin. A wheat grain quantitative evaluation of vitreousness by light transmission analysis // Journal of Cereal Science. 2018. 83. Pp. 58-62.
15. Количественная оценка стекловидности пшеницы методом технического зрения / Д.Е. Трошкин, Е.В. Горбунова, А.А. Алёхин, А.А. Горбачёв, А.Н. Чертов, И.Г. Лоскутов, Е.В. Зуев // Хлебопродукты. 2019. № 6.
16. Антонов Р.Ю. Возможности автоматической оценки стекловидности пшеницы методом анализа цифрового изображения // Научное приборостроение. 2020. Т. 30. № 3. С. 63-74.
17. Герасина А.Ю., Казаджан М.Д., Антонов Р.Ю. Стандартизация нового метода определения стекловидности зерна пшеницы и анализ существующих методов // Пищевые системы. 2021. Т. 4. № 3S. С. 42-45.

## References

1. Orobinsky V.I., Gievsky A.M., Tarasenko A.P., Chernyshov A.V. Mechanical strength properties and sowing qualities of winter wheat seeds at fractional technology of grain postharvest treatment. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2019;3(62):13-18 (In Russ.)
2. Barysheva N.N., Pronin S.P., Belyayev V.I., Baryshev D.D. Rapid quality appraisal procedure of wheat seeds after a cleaning line.

*Bulletin of Altai state agricultural university.* 2019;10(180):128-134 (In Russ.)

3. Skvortsova Yu.G., Filenko G.A., Firsova T.I. [et al.]. Evaluation of yield and sowing qualities of varieties of winter soft wheat of the selection of FSBSI "ANC "Donskoy" in primary seed production. *Grain Economy of Russia.* 2021;5(77):24-28. doi: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-24-28 (In Russ.)

4. Kumratova A.M., Aleschenko V.V. Productivity of grain production in Russia: trends and prospects. *Vestnik of Kazan State Agrarian University.* 2021. Vol.16;3(63):142-146. doi: 10.12737/2073-0462-2021-142-146 (In Russ.)

5. Meleshkina E.P. Aktual'nye voprosy kachestva zerna. *Khleboproducty.* 2018;10:42-44 (In Russ.)

6. Gureva K.B., Beletskiy S.L., Khaba N.A. Methodological approaches to integrated quality assessment and baking characteristics of wheat during storage. *Food Industry.* 2021;5:24-27. doi: 10.52653/PPI.2021.5.5.005 (In Russ)

7. Sineglazov V.M., Halatenko O.S. Express system of grain quality parameters determination. *Електроніка та системи управління.* 2014;3(41):70-75.

8. Gorozhanin P.P. Quality assessment of wheat grain should be based on its protein content. *Yevraziyskoye Nauchnoye Obyedineniye.* 2020;9-2(67):90-92 (In Russ.)

9. Lebedev D.V., Rozhkov E.A., Abramtsov D.S. Application of multifunctional optoelectronic vision technologies for seed calibration and analysis. *Vestnik Kurganskoj GSKhA.* 2020;2(34):67-74 (In Russ.)

10. Shtejnberg T.S., Semikina L.I. Razrabotka sistem ocenki kachestva zernoproduktov po opticheskim karakteristikam. *Production Quality Control.* 2017; 2:32-37 (In Russ.)

11. Medvedev P.V., Fedotov V.A., Solovykh S.Yu. Information systems for evaluation of wheat technological advantages. *Storage and processing of farm products.* 2019;4:58-69. doi: 10.36107/spfp.2019.190 (In Russ.)

12. Pat. 2744342 Rossiyskaya Federatsiya. MPK A 01 S 1/00. *Sposob opredeleniya steklovidnosti zerna i sistema dlya ego realizatsii.* R.Yu. Antonov, G.P. Petrov, T.S. Rutkovskaya, I.M. Kalinin. zayavitel i patentoobladatel OOO "EKAN". 2020128537; zayavl. 27.08.2020 ; opubl. 05.03.2021. Byul. № 7 (In Russ.)

13. Suslyanok G.M., Gunkin V.A., Kozmina N.P. Teoreticheskiye osnovy progressivnykh tekhnologiy (Biotekhnologiya) : Zernovedeniye (s osnovami biokhimii rasteniy) [Theoretical foundations of progressive technologies (Biotechnology): Grain science (with the basics of plant biochemistry)] Moscow. Kolos Publ. 2006. 464 p. (In Russ.)

14. Emna Chichti, Myriam Carrière, Matthieu George, Jean-Yves Delenne, Valerie Lullien-Pellerin. A wheat grain quantitative evaluation of vitreousness by light transmission analysis. *Journal of Cereal. Science.* 2018;83:58-62.

15. Troshkin D.E., Gorbunova E.V., Alekhin A.A., Gorbachev A.A., Chertov A.N., Loskutov I.G., Zuyev E.V. *Kolichestvennaya otsenka steklovidnosti pshenitsy metodom tekhnicheskogo zreniya.* *Khleboproducty.* 2019;6:52-55 (In Russ.)

16. Antonov R.Yu. Possibilities of automatic wheat vitreousness determination by digital image analysis. *Nauchnoe priborostroenie.* 2020;30(3):63-74 (In Russ.)

17. Gerasina A.Yu., Kazadjan M.D., Antonov R.Yu. Standardization of a new method for determining the glass content of wheat grain and analysis of existing methods. *Food systems.* 2021;4(3S):42-45 (In Russ.)

#### Информация об авторах

**Татьяна Сергеевна Рутковская** – соискатель учёной степени кандидата биологических наук, директор по маркетингу;

**Елена Геннадьевна Парфёнова** – старший научный сотрудник лаборатории метрологии влагометрии и стандартных образцов, vlaga@uniim.ru

**Роман Юрьевич Антонов** – инженер-исследователь, roman.ekan@yandex.ru;

**Михаил Вадимович Архипов** – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, office@agrophys.ru;

**Геннадий Петрович Петров** – доктор технических наук, профессор, генеральный директор, info@ekan.spb.ru

**Information about the authors**

Tatyana S. Rutkovskaya – Doctoral Candidate in Science (Biology); Marketing Director;

**Elena G. Parfenova** – Senior Researcher of the Metrology Moisture Measurement and Reference Materials Laboratory UNIIM, vlaga@uniim.ru;

**Roman Yu. Antonov** – Research Engineer, roman.ekan@yandex.ru;

**Mikhail V. Arkhipov** – Doctor of Science (Biology), Professor, Senior Researcher, office@agrophys.ru;

**Gennadii P. Petrov** – Doctor of Science (Engineering), Professor; Chief Executive Officer, info@ekan.spb.ru

Статья поступила в редакцию 03.02.2022; одобрена после рецензирования 24.02.2022; принята к публикации 28.02.2022.

The article was submitted 03.02.2022; approved after reviewing 24.02.2022; accepted for publication 28.02.2022.