

# Оценка стекловидности пробы пшеницы на основании анализа цифровых изображений зерен

Д.Е. Трошкин<sup>1</sup>, А.Н. Чертов<sup>1</sup>, Е.В. Горбунова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр. 49, Санкт-Петербург, Россия, 197101

**Аннотация.** Повышение качества зерновых продуктов имеет большое значение, поскольку они являются основой рациона питания современного человека. В связи с этим одной из важнейших задач является контроль параметров качества зерна на этапах его оценки и классификации, транспортировки и хранения, переработки и использования в производстве. Данная работа посвящена изучению влияния взаимного расположения зерен пшеницы и их окраски на определение показателя качества «стекловидность» с помощью метода компьютерного зрения. В результате проведенных экспериментальных исследований выявлено достоверное снижение расчетного значения показателя стекловидности при более плотном расположении зерен друг относительно друга. Также установлено, что коэффициент пропускания красnozерных сортов в видимом диапазоне длин волн может быть значительно ниже, чем белозерных, что обусловлено наличием в них особого красно-коричневого пигмента. Этот факт ставит под сомнение объективность оценки стекловидности пшеницы с использованием существующих диафаноскопов, работающих в видимом диапазоне длин волн. Для преодоления выявленных ограничений было предложено использовать ИК-излучение. Проведенные повторные экспериментальные исследования показали, что использование ИК-подсветки позволяет полностью исключить влияние взаимного расположения зерен и их цвета на определение показателя стекловидности.

## 1. Введение

Зерно является достаточно сложным объектом для визуальной оценки из-за его малых размеров, неоднородности формы, особенностей внешнего и внутреннего строения, а также окраски поверхности. В то же время, на сегодняшний день, согласно методике ГОСТ, множество показателей качества зерна анализируются органолептическими методами [1], что отрицательно сказывается на скорости и качестве оценки. Одним из важнейших параметров качества является стекловидность. Этот параметр связан со способностью зерна пропускать свет и обусловлен структурными особенностями внутренних тканей [2]. Стекловидность определяет пищевую ценность зерна и возможность его использования для производства муки и макаронной продукции.

В настоящее время уровень развития компьютерных технологий для формирования и анализа цифровых изображений объектов позволяет создавать высокоточные методы и средства измерений для объективной, количественной оценки стандартизированных параметров качества зерна. Поэтому актуальной задачей является разработка методологии и соответствующей автоматизированной измерительной системы, которые позволят отказаться

от субъективных методов оценки. Данная работа посвящена разработке алгоритма определения общей стекловидности пробы пшеницы на основании анализа цифровых изображений зерен.

## 2. Материалы

Для исследования были использованы различные образцы краснозерной и белозерной пшеницы из коллекции генетических ресурсов Института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР). Пробы отбирали в соответствии с ГОСТ 13586.3-2015 Зерно. Правила приемки и методы отбора проб.

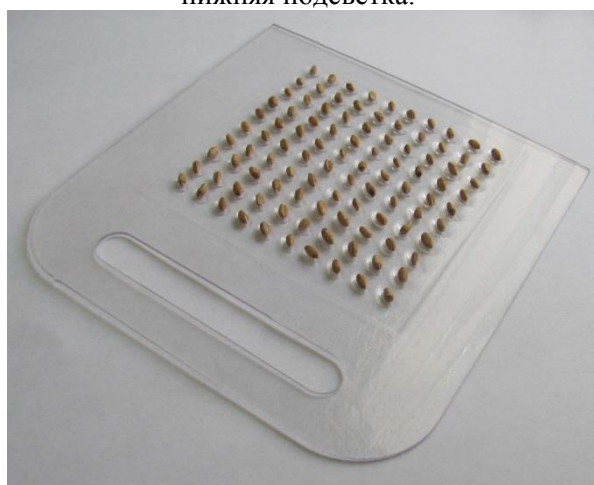
## 3. Описание экспериментальной установки и алгоритмов

### 3.1 Методика проведения эксперимента

Исследования проводились с использованием устройства, содержащего два источника света, представляющих собой матрицы светодиодов, рассеивающую пластину, специальную кассету на 100 ячеек для размещения анализируемых образцов зерна и телевизионную камеру с объективом, передающую изображения в персональный компьютер (рис.1).



**Рисунок 1.** Вид измерительной установки в разрезе: 1 – верхняя подсветка, 2 – камера с объективом, 3 – кассета для размещения образцов анализа, 4 – светорассеивающая пластина, 5 – нижняя подсветка.



**Рисунок 2.** Зерно пшеницы в кассете.

Перед проведением измерений выполнялась колориметрическая калибровка системы с использованием эталона белого Ocean Optics WS, фотометрическая калибровка и метрическая калибровка с использованием сетки (для компенсации дисторсии объектива).

Экспериментальное исследование осуществлялось следующим образом: для размещения образцов зерна в зоне анализа в один слой использовались прозрачная пластина из оргстекла или специальная кассета на 100 ячеек, в соответствии с ГОСТ 10987-76 Зерно. Методы определения стекловидности, внешний вид которой представлен на рисунке 2. После размещения образцы освещались поочередно верхним и нижним источниками подсветки, в результате чего получались изображения зерен в режимах «на отражение» и «на пропускание».

Полученные изображения обрабатывались собственным алгоритмом, реализованным в среде MATLAB. Изображение, полученное в режиме «на пропускание» сегментировалось, полученные области интереса, в которых располагались объекты, затем использовались для расчета стекловидности зерновок. Режим «на отражение» использовался исключительно для получения цветных изображений объектов с целью дальнейшего изучения цвета зерна.

### 3.2 Описание алгоритма

Алгоритм можно условно разделить на две части: блок сегментации изображения и блок расчета показателя общей стекловидности пробы зерна.

3.2.1 *Блок сегментации.* После импорта изображений последовательно выполнялись программная компенсация неравномерности освещения зоны анализа, предобработка, заключающаяся в устранении шумов и увеличении контрастности изображения, и бинаризация. Полученное черно-белое изображение сегментировалось методом водоразделов [4]. Выбор метода сегментации был обусловлен его простотой, надежностью и продиктован эллиптической формой исследуемых объектов. В результате сегментации изображения получали координаты пикселей, принадлежащих каждому из объектов на изображении. Блок-схема алгоритма предобработки изображений представлена на рисунке 3.

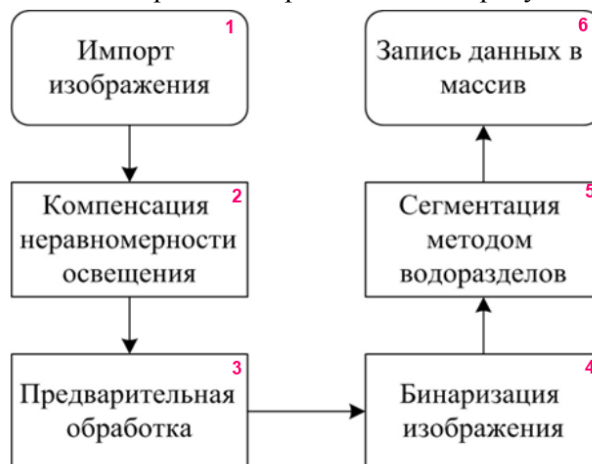


Рисунок 3. Блок-схема первой части программы.

3.2.2 *Расчет показателя стекловидности.* Таким образом, анализ стекловидности и разделение зерен на три группы – стекловидное, частично-стекловидное и мучнистое – сводился к расчету показателя пропускания каждой зерновки и сравнением полученного значения с эталонными пороговыми значениями для каждой из групп.

Для проведения расчетов использовалось изображение, полученное на шаге 2 предыдущего алгоритма, после компенсации неравномерности освещения. Данное изображение переводилось в градации серого, показатель стекловидности каждого из объектов рассчитывался как:

$$V_i = \frac{\sum_{n=1}^N Int_n}{N}, \quad (1)$$

где  $V_i$  - показатель стекловидности  $i$ -го объекта,  $Int_n$  - значение пикселя изображения, принадлежащее объекту,  $N$  - количество пикселей, принадлежащих объекту.

Для разделения объектов на три группы в соответствии с ГОСТ 10987-76 Зерно. Методы определения стекловидности, были установлены следующие пороговые значения: если  $V_i > 0,58$ , объект причислялся к категории стекловидных зерен, при значении  $V_i < 0,53$  объект считался мучнистым, если значение показателя стекловидности находилось в пределах  $0,53 \leq V_i \leq 0,58$  зерна относились к категории частично-стекловидных. Указанные пороговые значения были получены эмпирически: контрольная группа образцов анализировалась экспертом, результаты усреднялись.

После разделения всех объектов по трем группам рассчитывалась общая стекловидность пробы зерна по формуле (2) из ГОСТ [4]:

$$O = F + \frac{P}{2}, \quad (2)$$

где  $O$  – общая стекловидность пробы,  $F$  – количество стекловидных зерен,  $P$  – количество частично-стекловидных зерен

#### 4. Результаты экспериментальных исследований

##### 4.1. Исследование влияния кучности расположения зерен в зоне анализа на результат определения общей стекловидности пробы

Одной из особенностей работы на традиционных приборах для оценки общей стекловидности пшеницы является необходимость размещения зерен в кассету на 100 ячеек. Поскольку данная процедура значительно увеличивает количество времени, необходимое на проведение исследований, первоначальной идеей была разработка алгоритма с функцией сегментации, позволяющего проводить анализ пробы без использования кассет.

Для проверки работоспособности алгоритма была проведена серия из 10 измерений пробы краснозерной пшеницы сорта Лютесценс 275. Измерения проводились при постепенном увеличении кучности зерен (рисунок 4). Результаты определения общей стекловидности пробы при различной кучности расположения зерен представлены в таблице 1.



Рисунок 4. Пример изменения кучности расположения зерен: измерение №1 – слева и измерение №10 – справа.

Для проверки полученных значений общей стекловидности после проведения измерений общая стекловидность пробы определялась по методу визуального осмотра поперечного среза зерна в соответствии с ГОСТ 10987-76 «Зерно. Методы определения стекловидности». Общая стекловидность исследуемой пробы составила 70%, данное значение впоследствии принималось за эталонное.

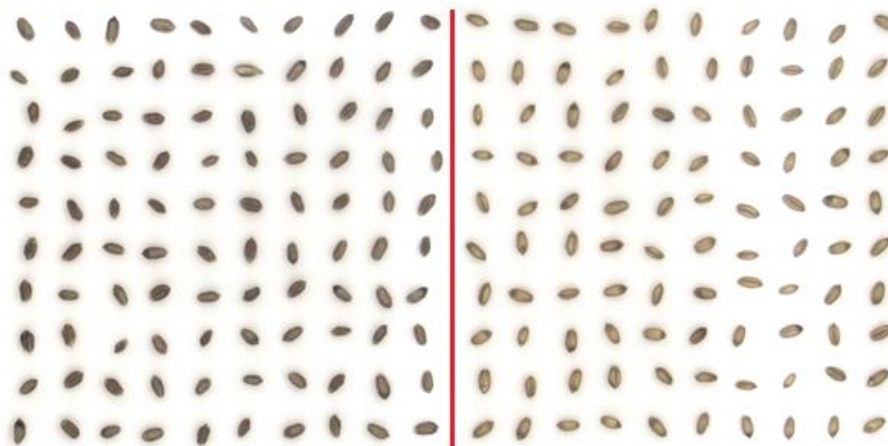
**Таблица 1.** Результаты расчета общей стекловидности пробы пшеницы при различной кучности расположения зерен в зоне анализа.

№	Кол-во стекловидных зерен, шт	Кол-во частично-стекловидных зерен, шт	Кол-во мучнистых зерен, шт	Общая стекловидность, %
1	52	39	9	72
2	51	37	12	70
3	46	39	15	66
4	37	39	24	57
5	33	44	23	55
6	41	36	23	59
7	30	46	24	53
8	41	44	15	63
9	37	40	23	57
10	19	55	26	47

Как видно из таблицы 1, при увеличении кучности расположения зерен в зоне анализа происходит снижение интенсивности оптического излучения, проходящего через них. Поскольку достоверность полученных результатов зависит от параметра кучности, необходимо вводить механизм компенсации этого эффекта.

#### 4.2. Исследование влияния цвета зерна пшеницы на результат определения общей стекловидности пробы

Для проведения экспериментального исследования влияния цвета зерна на результаты работы алгоритма были отобраны две пробы пшеницы сортов Лютесценс 275 (стекловидная, краснозерная) и HD 1639 (мучнистая, белозерная). Цветные изображения проб представлены на рисунке 5.



**Рисунок 5.** Краснозерная и белозерная пшеницы: Лютесценс 275 (слева) и HD 1639 (справа).

После проведения измерений стекловидность проб была определена по методу осмотра поперечного среза [5]. Значения общей стекловидности, полученные при помощи алгоритма и по стандартной методике, представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Значения общей стекловидности проб краснозерной и белозерной пшениц, определенные методом визуального осмотра по ГОСТ и методом технического зрения при помощи разработанного алгоритма.

Сорт	Цвет	Общая стекловидность по ГОСТ, %	Общая стекловидность, рассчитанная алгоритмом, %
Лютесценс-275	красный	86	80
HD 1639	белый	14	88

Из Таблицы 2 видно, что при расчете общей стекловидности проб пшеницы разработанным авторами алгоритмом получили не соответствующее действительности завышенное значение для белозерной пшеницы сорта HD 1639. Для калибровки прибора выбиралось стекловидное зерно с минимальным коэффициентом пропускания, а именно по зерну сорта Лютесценс 275. Поскольку в плодовых оболочках красной пшеницы содержится красно-коричневый пигмент, обладающего большим поглощением в видимой области, а у образцов белозерного сорта данный пигмент отсутствует – получили завышенное значение коэффициента стекловидности для образца белозерной пшеницы. Если бы при калибровке использовалось белое зерно, абсолютно все зерна красного сорта программой считались бы стекловидными, то есть полученные значения являлись бы неадекватными.

Таким образом, поскольку в партиях зерна практически всегда присутствует смесь обоих типов (красной и белой) пшеницы, результаты оценки стекловидности, получаемые с использованием источников видимого излучения не надежны, и могут давать большую ошибку.

#### 4.3. Измерение общей стекловидности пшеницы с использованием ИК-источника в качестве нижней подсветки

Для решения двух выявленных проблем было предложено проводить анализ стекловидности зерна в ближнем ИК диапазоне длин волн. Предполагалось, что более длинноволновое, по сравнению с видимым, ИК-излучение будет более свободно проходить через отдельные зерна.

В качестве объектов исследования были взяты пробы сортов пшеницы, использованных в предыдущих исследованиях. Было проведено две серии измерений по 5 опытов в каждой для проб красной и белозерной пшеницы. Результаты исследований представлены в таблицах 3 и 4. Визуализация опытов №1 и №5 с различной кучностью размещения зерен красной пшеницы в зоне анализа представлена на рисунке 6.

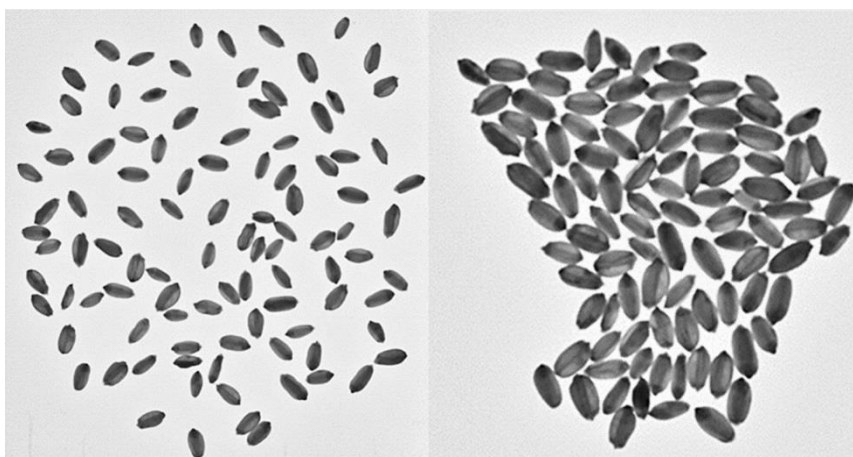
**Таблица 3.** Результаты расчета общей стекловидности пробы красной пшеницы с использованием источника ИК-излучения.

№	Кол-во стекловидных зерен, шт	Кол-во частично-стекловидных зерен, шт	Кол-во мучнистых зерен, шт	Общая стекловидность, %
1	82	12	6	88
2	86	10	4	91
3	83	9	8	87,5
4	84	11	5	89,5
5	80	14	6	87
СКО	0,37			

**Таблица 4.** Результаты расчета общей стекловидности пробы белозерной пшеницы с использованием источника ИК-излучения.

№	Кол-во стекловидных зерен, шт	Кол-во частично-стекловидных зерен, шт	Кол-во мучнистых зерен, шт	Общая стекловидность, %
1	12	10	78	17
2	14	8	78	18
3	13	7	80	16,5
4	13	6	81	16
5	12	11	77	18,5
СКО	0,16			

Разброс полученных значений общей стекловидности исследуемых проб красной и белозерной пшеницы при проведении повторных измерений составил 4%, что соответствует требованиям государственного стандарта [5].



**Рисунок 6.** Цифровые изображения краснозерной пшеницы, полученные с использованием источника ИК-излучения. Опыт №1 (слева) и опыт № 5 (справа).

## 5. Заключение

Установлено, что плотность размещения зерна пшеницы в зоне анализа, а также его цвет оказывают значительное влияние на результаты оценки общей стекловидности пробы при использовании источников излучения видимого диапазона длин волн.

Для исключения влияния взаимного расположения зерен относительно друг друга и их окраски на результаты оценки общей стекловидности пробы целесообразно использовать ИК-излучение. Высокая повторяемость результатов позволяет применять разработанный алгоритм оценки стекловидности зерна пшеницы без предварительной сортировки по типу и, впоследствии, усовершенствовать существующие стандарты и систему сертификации.

## 6. Литература

- [1] ГОСТ 9353-2016 Пшеница. Технические условия.
- [2] Зверев, С.В. Стекловидность как показатель качества зерна пшеницы / С.В. Зверев, И.А. Панкратьева, О.В. Политуха, Н.А. Игорянова, В.Б. Зайцев // Хранение и переработка зерна. – 2017. – Т. 11, № 219. – С. 33-34.
- [3] ГОСТ 13586.3-2015 Зерно. Правила приемки и методы отбора проб.
- [4] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддингс – М.: Техносфера, 2006. – 621 с.
- [5] ГОСТ 10987-76 Зерно. Методы определения стекловидности.

## Assessment of the vitreousness of wheat samples based on the analysis of digital images of grains

D.E. Troshkin<sup>1</sup>, A.N. Chertov<sup>1</sup>, E.V. Gorbunova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg national research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO), Kronverksky ave. 49, St. Petersburg, Russia, 197101

**Abstract.** Improving the quality of grain products is of great importance, since grains are the basis of modern diet. In this regard, one of the most important tasks is to control the parameters of grain quality at the stages of its evaluation and classification, transportation, processing and storage. This work is devoted to the study of the influence of the mutual arrangement of grains, and their color on the determination of the vitreousness of wheat samples using a computer vision system. A significant decrease in the calculated value of the vitreousness index at a close location of the grains relative to each other was revealed. Grain color is also an important parameter. Experimental results have shown that the transmittance in the visible range of radiation of red wheat varieties can be significantly lower than for the white ones, due to the presence of colorant. This fact calls into question the objectivity of the assessment of the vitreousness of wheat on standard equipment operating in the visible wavelength range. To overcome these limitations, it was proposed to use an IR source as a lower light source. The experiment showed that the use of IR illumination allows to eliminate the influence of the mutual arrangement of grains and their color on the determination of the vitreousness index.