

**КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТРОСКОПИЧЕСКИХ И РОСТОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАЛЫХ ПАРТИЙ СЕМЯН, СФОРМИРОВАННЫХ ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ**

**М. В. Архипов<sup>1,4</sup>, Н. С. Прияткин<sup>1</sup>, Л. П. Гусакова<sup>1</sup>, Н. Н. Потрахов<sup>2</sup>, С. В. Дмитриев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,  
Гражданский пр., д. 14, Санкт-Петербург, 195220;

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,  
ул. Профессора Попова, д. 5, Санкт-Петербург, 197376;

<sup>3</sup> НПК «Механобр-техника»,  
22 линия, д. 3, В. О., Санкт-Петербург, 199106

E-mail: [prini@mail.ru](mailto:prini@mail.ru)

<sup>4</sup> ФГБНУ СЗЦППО.

[шоссе Подбельского, д. 7, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608](#)

E-mail: [szcentr@bk.ru](mailto:szcentr@bk.ru)

Поступила в редакцию 13 октября 2017 г., принята к печати 28 августа 2018 г

Проведено сравнительное исследование малых партий семян яровой мягкой пшеницы и ярового ячменя, сформированных при помощи метода электростатической сепарации. Для сравнения полученных фракций использовались традиционные методы оценки ростовых показателей, методы морфометрического и денситометрического анализа рентгенообразов семян, а также метод газоразрядной визуализации. Установлено, что по ряду стандартных показателей качества (всхожесть – у ячменя; масса 1000 семян – у пшеницы и ячменя) наиболее оптимальной оказалась фракция под номером 2. Так, семена данной фракции характеризовались максимальными значениями показателя массы 1000 семян. Результаты денситометрического анализа рентгенообразов семян показали, что они являлись также наиболее плотными (самый высокий показатель средней яркости). Высокие показатели крупности и плотности дают основание полагать, что семена данной фракции обладают лучшими посевными качествами, что было подтверждено их самой высокой всхожестью. Также установлено, что стандартный показатель «энергия прорастания», параметр «средняя интенсивность газоразрядного свечения» (ед. яркости) и энтропия газоразрядного свечения (относительные единицы) положительно связаны между собой. Полученные результаты свидетельствуют о том, что интроскопические методы оценки качества семенного материала могут успешно применяться для определения эффективности электростатической сепарации семян.

**Ключевые слова:** электростатическая сепарация семян, микрофокусная рентгенография, газоразрядная визуализация, посевные качества семян, семена зерновых культур.

**COMPLEX STUDY OF INTROSCOPIC AND GROWTH INDEXES OF SEEDS SMALL PARTIES FORMED BY ELECTROSTATIC SEPARATION**

**M. V. Arkhipov<sup>1,4</sup>, N. S. Priyatkin<sup>1</sup>, L. P. Gusakova<sup>1</sup>, N. N. Potrakhov<sup>2</sup>, S. V. Dmitriev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Agrophysical Research Institute,  
14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg, 195220;

<sup>2</sup> The First Electrotechnical University «LETI»,  
5, Professora Popova St., St. Petersburg, 197376

<sup>3</sup> Mechanobr-Tekhnika Research and Engineering Corporation,  
3, 22<sup>nd</sup> line of Vasilyevskiy Island, St. Petersburg, 199106

E-mail: [prini@mail.ru](mailto:prini@mail.ru);

<sup>4</sup> FGBNU «North-West Center for Interdisciplinary Research in Food Supply Problems»,  
7, sh. Podbelskogo, St. Petersburg – Pushkin, 196608

E-mail: [szcentr@bk.ru](mailto:szcentr@bk.ru)

The paper presents the results of a comparative study of small parties of spring soft wheat and spring barley seeds formed by the method of electrostatic separation. Traditional methods for estimating growth indices, methods of morphometric and densitometric analysis of X-ray patterns of seeds, and the method of gas-discharge visualization were used to compare the obtained fractions. It has been established that

according to a number of standard quality indicators (germination capacity - for barley, weight of 1000 seeds - for wheat and barley), the fraction number 2 was the most optimal. The seeds of this fraction were characterized by the maximum values of the 1000 seeds mass. The results of densitometric analysis of X-ray seeds' patterns showed that they were also the most coriaceous (the highest index of average brightness). Based on the high values of size and density, it can be assumed that the seeds of this fraction have the best sowing qualities, which was confirmed by their highest germination capacity. It was found that the standard indicator «emergency rate», the parameter «average intensity of a gas discharge images» (brightness unit) and the entropy of a gas-discharge images (relative units) are positively connected. The received results demonstrate that introsopic techniques of the seed quality evaluation can be successfully used to study the efficiency of electrostatic separation of seeds.

**Key words:** electrostatic separation of seeds, microfocus X-ray, gas-discharge visualization, sowing qualities of seeds, cereal seeds.

## ВВЕДЕНИЕ

Известно, что семена одной партии неоднородны по своим характеристикам, которые зависят от биологических особенностей растения, почвенно-климатических факторов и агротехнических условий возделывания культуры (Макрушин и др., 2012). В связи с этим семена в посевной партии различаются по физическим, биологическим и физиологическим свойствам и, как следствие, по посевным качествам и потенциальной продуктивности (Стерхова, 2005).

Используемые в настоящее время средства подготовки семян к посеву не обеспечивают установленных стандартом свойств, поэтому 40% семян в полевых условиях не прорастает, а значительная часть дает неполноценные всходы (Тарушкин, 1991). В связи с этим возникает необходимость в совершенствовании действующих устройств и разработке новых принципов сепарации семян, прежде всего электростатической.

Научные подходы и устройства для электростатической сепарации семян разрабатываются, начиная с середины XX века. Исследования в данной области ведутся как в России (Басов и др., 1968), так и за рубежом (Harmond, Brandenburg et al., 1961; Abdel-Salam, Ahmed et al., 2004).

Цель исследований заключалась в определении эффективности применения электростатической сепарации семян с использованием современных технологий интроскопического контроля и традиционных методов оценки качества семенного материала.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– оценить стандартизированные показатели качества малых партий семян, сформированных посредством метода электростатической сепарации;

– дать комплексную оценку интроскопических показателей (характеристик газоразрядного свечения, морфометрических и денситометрических показателей рентгенограмм) малых партий семян, сформированных при помощи метода электростатической сепарации.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили семена яровой пшеницы сорта «Ленинградская-6» и ярового ячменя сорта «Ленинградский». Семена были разделены на три фракции методом электростатической сепарации с использованием серийного лабораторного электростатического сепаратора «Элкор-1» производства НПК «Механобр-Техника» (АО). Общий вид сепаратора представлен на рис.



Рис. Внешний вид электростатического сепаратора ЭЛКОР-1

Принцип работы сепаратора заключается в следующем: исходный материал поступает из загрузочного бункера на лоток питателя и далее на поверхность вращающегося барабана (осадительного электрода), который выносит его в зону коронного разряда. В поле коронного разряда частицы материала приобретают заряд, знак которого соответствует знаку заряда коронирующего электрода, и прижимаются к поверхности барабана под действием так называемых сил зеркального отображения.

Контактируя с осадительным электродом, частицы материала разряжаются. Частицы с высокой электропроводимостью быстро отдают свой заряд и под действием центробежной силы сбрасываются с барабана (фракция 1). Изменению траектории частиц, сходящих с барабана, способствует отклоняющий электрод. Частицы с меньшей электропроводимостью медленнее отдают свой заряд и поэтому оседают на барабане (фракция 3). Количество и типы высоковольтных электродов, положение отклоняющего электрода, а также расстояния между электродами для каждого типа сепарируемого материала определяются опытным путем.

Проводящие электрический ток частицы направляются в отсеки, расположенные по ходу вращения барабана, а непроводящие снимаются с поверхности барабана в отсеки у задней стенки рабочей камеры при помощи вращающейся щетки.

В средние отсеки поступают промежуточные продукты, состоящие из проводящих и непроводящих частиц (фракция 2).

Сепарация материала проводилась в один приём при напряжении на высоковольтных электродах 25 кВ и скорости вращения осадительного электрода 30 об. мин.<sup>-1</sup> При этом было получено три фракции семян, обладающих различной

электропроводимостью. Объем выборки составил 100 семян для каждой фракции.

Получение газоразрядных изображений осуществлялось с использованием прибора «ГРВ-камера Про» согласно описанной ранее методике (Архипов и др., 2013). Обработка газоразрядных изображений выполнена в программном обеспечении «ГРВ Научная лаборатория», уровень фильтрации шума – относительный, 100%. Анализировались следующие параметры: средняя интенсивность (единицы яркости), энтропия (относительные единицы).

Рентгенограммы были получены при помощи рентгеновской установки ПРДУ-02 производства ЗАО «Элтех-Мед» согласно методике (Архипов и др., 2013). Измерение морфометрических и оптических параметров рентгенограмм осуществлялось с помощью программного обеспечения для анализа изображений «Аргус-Био». Анализировались следующие параметры рентгенограмм: площадь проекции (мм<sup>2</sup>), средняя яркость (единицы яркости), отклонение яркости (единицы яркости).

Определение стандартных весовых (масса 1000 семян, г) (ГОСТ 12042-80) и стандартных ростовых показателей (энергия прорастания, %; всхожесть, %) (ГОСТ 12038-84) было выполнено после процедуры комплексной интроскопической оценки.

Влажность семян оценивалась с использованием анализатора Ohaus MP-45.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные, полученные при помощи методов традиционной оценки качества семян, а также интроскопического анализа сепарированных фракций семян яровой мягкой пшеницы и ярового ячменя, представлены соответственно в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Результаты комплексного интроскопического анализа и стандартной оценки сепарированных фракций семян яровой пшеницы сорта «Ленинградская-6»

Название параметра, единица измерения	Значение параметра		
	фракция 1	фракция 2	фракция 3
Всхожесть, %	53	53	53
Энергия прорастания, %	50	51	53
Масса 1000 семян, г	29,5	30,9	28,3
Влажность, %	7,97	8,59	8,80
Средняя интенсивность газоразрядного свечения семян, ед. яркости	57,57±0,83	57,63±0,82	57,73±0,73
Энтропия газоразрядного свечения семян, по изолинии, отн. ед.	2,009±0,019	1,995±0,028	1,924±0,042
Площадь проекции рентгенограмм семян, мм <sup>2</sup>	19,7±0,6	20,4±0,6	19,1±0,6
Средняя яркость рентгенограмм семян, ед. яркости	181,0±0,8	194,2±1,1	183,7±1,0
Отклонение яркости рентгенограмм семян, ед. яркости	21,0±0,6	22,2±0,7	19,4±0,8

Таблица 2. Результаты комплексного интроскопического анализа и стандартной оценки сепарированных фракций семян ярового ячменя сорта «Ленинградский»

Название параметра, единица измерения	Значение параметра		
	фракция 1	фракция 2	фракция 3
Всхожесть, %	38	46	29
Энергия прорастания, %	28	28	20
Масса 1000 семян, г	30,8	31,1	26,8
Влажность, %	8,01	8,88	8,44
Средняя интенсивность газоразрядного свечения семян, ед. яркости	58,82±0,91	58,79±1,01	56,21±1,60
Энтропия газоразрядного свечения семян по изолинии, отн. ед.	1,969±0,033	1,956±0,021	1,877±0,057
Площадь проекции рентгенограмм семян, мм <sup>2</sup>	24,4±0,6	20,4±0,4	20,5±0,5
Средняя яркость рентгенограмм семян, ед. яркости	175,6±0,9	184,5±0,9	181,1±1,3
Отклонение яркости рентгенограмм семян, ед. яркости	24,2±0,6	24,9±0,6	27,2±0,8

Установлено, что по ряду морфометрических и биофизических показателей как пшеницы, так и ячменя наиболее оптимальной является фракция под номером 2. Так, семена данной фракции характеризовались максимальными значениями показателя массы 1000 семян. По сравнению с фракцией 3 (самые мелкие семена) масса 1000 семян пшеницы и ячменя из фракции 2 была выше на 9% и 14% соответственно. Различия по данному показателю между фракцией 2 и фракцией 1 у семян обеих культур являлись несущественными. При помощи денситометрического анализа рентгенообразов семян было выявлено, что семена фракции 2 также являются более плотными (самый высокий показатель средней яркости), в особенности семена пшеницы (примерно на 6%). Высокие показатели крупности и плотности дают основание полагать, что семена данной фракции обладают лучшими посевными качествами.

Преимущество семян данной фракции было подтверждено в процессе дальнейших исследований, в особенности на семенах ячменя. Так, у семян ячменя из фракции № 2 были зафиксированы самые высокие значения всхожести (примерно на 20% выше, чем у семян из 1-й, и на 60% выше, чем у семян из 3-й фракции). Это согласуется с литературными данными, согласно которым семена, имеющие максимальную всхожесть, получают более выполненными и

отличаются более высокими показателями относительной массы (Майсурян, 1960).

Также установлено, что стандартный показатель «энергия прорастания» (%), параметр «средняя интенсивность газоразрядного свечения» (ед. яркости) и энтропия газоразрядного свечения (относительные единицы) положительно связаны между собой, что особенно заметно при сравнении фракций ярового ячменя.

Таким образом, сравнительный анализ малых партий семян, выделенных с помощью электросепарации, посредством комплекса методов (гостированного определения всхожести и интроскопических методов (рентгенографии и ГРВ)) позволил выявить фракцию семян с высокими посевными качествами. Полученные результаты согласуются с литературными данными (Тарушкин, 2007), которые свидетельствуют о том, что электросепарирование обеспечивает выявление фракций семян с высокими посевными качествами и тем самым появление в полевых условиях более ранних и дружных всходов.

## ВЫВОДЫ

Полученные результаты подтверждают, что интроскопические методы оценки качества семенного материала могут успешно применяться для определения эффективности электростатической сепарации семян.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипов М. В., Гусакова Л. П., Великанов Л. П., Виличко А. К., Желудков А. Г., Алферов В. Б. Методика комплексной оценки биологической и хозяйственной пригодности семенного материала. СПб: АФИ, 2013. 52 с.
- Архипов М. В., Прияткин Н. С., Великанов Л. П., Бондаренко А. С., Жигунов А. С. Идентификация пустых и выполненных семян ели европейской методами мягколучевой рентгенографии и газоразрядной визуализации // Агрофизика. 2013. № 1(9). С. 8–12.
- Басов А. М., Изаков Ф. Я., Шмигель В. Н. и др. Электрозерноочистительные машины: теория, конструкции и расчет. М.: Машиностроение, 1968. 203 с.
- Майсурян Н. А. Растениеводство. М.: Сельхозгиз, 1960. 520 с.
- Макушин Н. М., Макушина Е. М., Шабанов Р. Ю., Есоян Е. А., Черемха Б. М. Семеноводство (методология, теория, практика). Симферополь: ИТ «Ариал», 2012. 564 с.
- Стерхова Т. Н. Сортирование семян огурца в электростатическом поле на ленточном триере. Автореф. дисс. канд. техн. наук. М., 2005. 18 с.

- Тарушкин В. И. Диэлектрическая сепарация семян. Автореф. ... дисс. д-ра техн. наук. М. Т. 1. 1991. 32 с.
- Abdel-Salam M., Ahmed A., Kishki H. El. Seed sorting by electrostatic separation: an experimental study // Annual Report conference «Electrical Insulation and Dielectric Phenomena» on 17–20 October 2004, pp. 377–380.
- Harmond J. E., Brandenburg N. R., Booster D. E. Seed cleaning by electrostatic separation // Agricultural Engineering, 1961, v. 42, pp. 22–25.

#### REFERENCES

- Arkhipov M. V., Gusakova L. P., Velikanov L. P., Vilichko A. K., Zheludkov A. G., Alferov V. B. *Metodika kompleksnoi otsenki biologicheskoi i khoziaistvennoi prigodnosti semennogo materiala* [Method of complex estimation of biological and economic suitability of seed material]. S-Peterburg: AFI, 2013. 52 p.
- Arkhipov M. V., Priiatkin N. S., Velikanov L. P., Bondarenko A. S., Zhigunov A. S. *Identifikatsiia pustyykh i vypolnennykh semian eli evropeiskoi metodami miagkoluchevoi rentgenografii i gazorazriadnoi vizualizatsii* [Identification of empty and filled seeds of Norway spruce Mascalucia methods of x-ray and gas discharge visualization] // *Agrofizika*, 2013, no. 1(9), pp. 8–12.
- Basov A. M., Izakov F. Ia., Shmigel' V. N. i dr. *Elektrozernoочистitel'nye mashiny: Teoriia, konstruksii i raschet* [Electro grain-cleaning machines: Theory, design and calculation]. Moscow, Mashinostroenie, 1968. 203 p.
- Maisurian N. A. *Rastenievodstvo* [Plant growing]. Moscow: Sel'khozgiz, 1960. 520 p.
- Makrushin N. M., Makrushina E. M., Shabanov R. Iu., Esoian E. A., Cheremkha B. M. *Semenovodstvo (metodologiya, teoriia, praktika)* [Seed production (methodology, theory, practice)]. Simferopol': IT «Arial», 2012. 564 p.
- Sterkhova T. N. *Sortirovanie semian ogurtsa v elektrosticheskom pole na lentochnom triere: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk* [Screening of cucumber seeds in an electrostatic field onto a belt Trier. Cand. teh. sci. abst. diss]. Moscow, 2005. 18 p.
- Tarushkin V. I. *Dielektricheskaiia separatsiia semian. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk* [Dielectric separation of seeds Abst. diss. Doc. teh. sci.]. Moscow, 1991, v. 1, 32 p.
- Abdel-Salam M., Ahmed A., Kishki H. El. Seed sorting by electrostatic separation: an experimental study // Annual Report conference «Electrical Insulation and Dielectric Phenomena» on 17-20 October 2004, pp. 377–380.
- Harmond J. E., Brandenburg N. R., Booster D. E. Seed cleaning by electrostatic separation // Agricultural Engineering, 1961, v. 42, pp. 22–25.

УДК 633.11:535.3

DOI: 10.25695/AGRPH.2018.03.08

## ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

С. В. Железова

ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А.Тимирязева,  
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550  
E-mail: [soferrum@mail.ru](mailto:soferrum@mail.ru)

Поступила в редакцию 11 декабря 2017 г., принята к печати 28 августа 2018 г.

На примере сезонного мониторинга посевов озимой пшеницы в рамках опыта Центра точного земледелия РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева рассмотрены методические аспекты приземного зондирования зерновых с применением трёх оптических датчиков: Yara N-tester™, GreenSeeker® RT200 и Yara N-sensor® ALS. Для обследования посевов в поле использовался метод трансект. Установлено, что индексы растительности, определяемые при помощи оптических датчиков, проявляют значительную вариабельность, что связано как с естественной изменчивостью состояния посева, так и с технологией возделывания. Так, в мае коэффициенты вариации индексов в разных местах поля лежали в диапазоне от 8 до 57%, а в среднем по полю составили 22%. Показания приборов зависят от размера охватываемой площади посева и в силу разного масштаба усреднения индивидуальных измерений могут существенно различаться. В течение всего вегетационного сезона сохранялась тесная прямая корреляционная связь между показаниями приборов GreenSeeker® RT200 и Yara N-sensor® ALS. Растительные индексы изменялись вдоль трансекты сопряженно. Связь азотного статуса, определяемого по показаниям прибора N-tester™, с растительными индексами NVDI и VI в разных частях поля могла быть как положительной, так и отрицательной в зависимости от густоты стояния растений посева и индивидуальной обеспеченности их легкодоступным минеральным азотом. При разработке рекомендаций по внесению азотных подкормок в дифференцированных дозах следует отдавать предпочтение методам оценки азотного статуса не по отдельным растениям, а по показателям пространственно распределенного вегетационного индекса NDVI посева.