

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНОКАЧЕСТВЕННОСТИ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**Ф. Б. Мусаев<sup>1</sup>, А. В. Солдатенко<sup>1</sup>, Д. Н. Балеев<sup>2</sup>, Н. С. Прияткин<sup>3</sup>, П. А. Щукина<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»,  
143080, Московская обл., Одинцовский район, пос. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14,  
E-mail: musayev@bk.ru;

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства –  
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»,  
140153, Московская область, Раменский район, д. Веря, стр. 500;

<sup>3</sup> ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,  
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14;

<sup>4</sup> ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
им. В. И. Ульянова (Ленина)»,  
197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5,  
E-mail: prini@mail.ru

*Поступила в редакцию 13 февраля 2018 г., принята к печати 26 февраля 2019 г.*

Проведено исследование экологической и матриальной разнокачественности семян овощных культур (фасоль овощная, укроп, пастернак, декоративный лук) с использованием анализа их цифровых сканированных изображений. Автоматическое определение морфометрических параметров семян — площади проекции (см<sup>2</sup>), длины (см), ширины (см), среднего размера (см), округлости (относительные единицы), удлиненности (относительные единицы), величин цветовых составляющих по модели RGB (единицы яркости) и тона (относительные единицы) — выполнено при помощи программного обеспечения для анализа изображений «Аргус-Био». Установлено, что эколого-географические (зона выращивания) и климатические (год репродукции) условия оказали статистически значимое влияние на размеры и форму исследуемых семян фасоли. Матриальная разнокачественность семян зонтичных, отобранных отдельно по порядку ветвления семенников, проявилась в различии их размеров, а семян декоративного лука, отобранных с разных ярусов соцветий, — в разной интенсивности окраски без изменения соотношения цветовых составляющих по модели RGB. Используемый в исследовании метод компьютерного анализа сканированных изображений семян может послужить эффективным инструментом для изучения экологической и матриальной разнокачественности семян овощных культур.

**Ключевые слова:** семена овощных культур, разнокачественность семян, цифровые изображения семян, анализ изображений.

## **STUDIES OF VEGETABLE SEEDS HETEROGENEITY WITH USE OF COMPUTER IMAGE ANALYSIS**

**F. B. Musaev<sup>1</sup>, A. V. Soldatenko<sup>1</sup>, D. N. Baleev<sup>2</sup>, N. S. Priyatkin<sup>3</sup>, P. A. Shchukina<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Federal Research Center of Vegetable Growing  
14, Selectionnaya St., VNISSOK settlement, Odintsovskiy district, Moscow region, 143080, Russia  
E-mail: musayev@bk.ru;

<sup>2</sup> All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding - affiliated branch of Federal Research Center of  
Vegetable Growing  
bldg. 500, Vereya village, Ramenskiy district, Moscow region, 140153, Russia;

<sup>3</sup> Agrophysical Research Institute  
14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg, 195220, Russia;

<sup>4</sup> The First Electrotechnical University «LETI»  
5, Professora Popova St., St. Petersburg, 197376, Russia  
E-mail: prini@mail.ru

The study of ecological and matrical heterogeneity of vegetable seeds (haricot bean, fennel, parsnip and chives) has been carried out using the analysis of the seeds digital scanned images. Automatic measurements of morphometric parameters of seeds – projected area (cm<sup>2</sup>), length (cm), width (cm), average size (cm), roundness (relative units), elongation (relative units), color component values according to the RGB model (brightness units) and hue (relative units) – have been taken using the image

analysis software "Argus-Bio". It was established that ecogeographic (a growing area) and climatic (crop year) conditions had a statistically significant impact on the size and form of the studied haricot seeds. Matrical heterogeneity of the chives seeds, selected separately in the order of branching of umbel, was found in distinctions in the seeds sizes, and the analyzed bulb onion seeds selected from different tiers of inflorescences – in various intensity of coloring without changing the ratio of color component values according to the RGB model. The applied method of computer analysis of seeds scanned images can be used as an effective tool for studying the ecological and matrical heterogeneity of vegetable seeds.

**Key words:** vegetable seeds, seeds heterogeneity, digital images of seeds, image analysis.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития земледелия и научных знаний позволяет программировать продуктивность возделываемых растений с учетом влияния как нерегулируемых природных факторов, так и применяемых агротехнических мероприятий. В результате проведения исследований по данному направлению раскрываются теоретические аспекты семеноводства и разрабатываются приемы их практического использования (Строна, 1966; Прохоров и др., 1997; Ермаков, 2007; Архипов, Потрахов, 2008; Лыкова, 2009; Бухаров и др., 2014).

Посевные и продуктивные качества семян определяются линейными параметрами, особенностями их внешней и внутренней структуры и биохимическим составом. На примере различных видов растений установлено, что наиболее объективным критерием оценки качества семян является их форма, определяемая соотношением геометрических размеров (длины, ширины и толщины). Каждому сорту или гибриду соответствует оптимальная форма семян, при которой посевной материал обладает наиболее высокими биологическими свойствами. Любое отклонение от оптимальной формы вне зависимости от того, увеличивается или уменьшается при этом масса семян, приводит к снижению урожайности растений в дочернем поколении (Макрушин, 1985; Еськова, 2005).

Отбор семян для посева исключительно по крупности, без учета их формы, не отражается на продуктивности растений (Мухин, 1996; Кирпа, 2007). Напротив, крупносемянность подразумевает высокий уровень агротехники (Сечняк, 1983; Gray, Ward, 1985).

Известно, что массу, геометрические размеры и форму семени определяют процессы синтеза, превращения, распределения и накопления органических веществ в эмбриональных и запасающих тканях. Накопление веществ происходит при формировании семян, во время прорастания запасные вещества утилизируются для развития проростка. От интенсивности данных процессов во многом зависят дальнейший рост растений и их продуктивность. Следовательно, характер метаболизма органических веществ при прорастании семян объективно отражает потенциал их биологических свойств (Макрушин, Макрушина, 2009).

Цель настоящего исследования заключалась в изучении экологической и матриальной

(материнской) разнокачественности семян овощных культур с использованием программных средств анализа цифровых изображений.

Задачи исследований:

– оценка индексов размера и формы образцов семян фасоли, выращенных в различных эколого-географических условиях;

– оценка индексов размера и цветовых характеристик образцов семян зонтичных овощных культур (укроп и пастернак), отобранных с различных ярусов ветвлений материнских растений, и декоративного лука, отобранных с разных уровней соцветий (по вертикали).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований при изучении экологической разнокачественности являлись семена пяти сортов фасоли овощной, выращенные в пяти контрастных по эколого-географическим условиям зонах в течение двух лет (табл. 1). Сорта фасоли были подобраны по принципу разнообразия морфо-биологических и хозяйственно-полезных признаков. Сорт Настёна (происхождение ВНИИССОК) – универсального типа, Магура и Морена – луцильные (происхождение ВНИИССОК-БГСХА), Миробела и Бажена (происхождение ВНИИССОК-БГСХА) – сахарные. Зоны выращивания отличались друг от друга географическим расположением (широта, долгота), высотой над уровнем моря, типом почвы и др. (табл. 1).

Объектами исследований при изучении матриальной разнокачественности являлись семена укропа сорта Кентавр 2015–2017 годов репродукции, пастернака сорта Кулинар 2013 года репродукции и декоративного лука *Allium albopilosum* Trautv 2016 года репродукции. Семена были выращены на опытном поле ВНИИ овощеводства (Раменский район, Московская область). Сбор семян укропа и пастернака проводился отдельно по порядку ветвления семенников (из ветвей I и II порядка), семян декоративного лука – с нижнего, среднего и верхнего ярусов соцветий.

Цифровые изображения семян были получены с использованием цифрового планшетного сканера HP Scanjet 200, формат сохраняемых файлов – \*.TIFF. Морфометрический анализ цифровых сканированных изображений семян был выполнен на базе Агрофизического научно-исследовательского института с использованием серийного программного обеспечения «Argus-BIO» производства ООО «АргусСофт» (г. Санкт-Петербург).

Таблица 1. Пункты репродукции семян фасоли (2010–2011 гг.)

Пункт	Расположение	Природная зона	Научно-исследовательское учреждение
Москва	Московская область, Одинцовский район	Южно-таежно-лесная	ФГБНУ ВНИИССОК
Белгород	Белгородская обл., Белгородский район	Черноземная	Опорный пункт ВНИИССОК
Ставрополь	Ставропольский край, Кировский район	Сухостепная	Северо-Кавказская ООС ВНИИССОК
Омск	г. Омск	Лесостепная	Омский ГАУ
Горки	Респ. Беларусь, Могилевская область, г. Горки	Южно-таежно-лесная	Белорусская ГСХА

Алгоритм программной обработки цифровых изображений семян включает следующие основные операции: калибровка (привязка к реальным размерным величинам), выделение области интереса, автоматическое пороговое выделение объектов интереса (семян) по цвету или яркости,

автоматическое измерение выделенных объектов интереса, экспорт таблицы измерений в программу MS Excel. Пример автоматических измерений и классификации объектов интереса представлен на рис. 1.

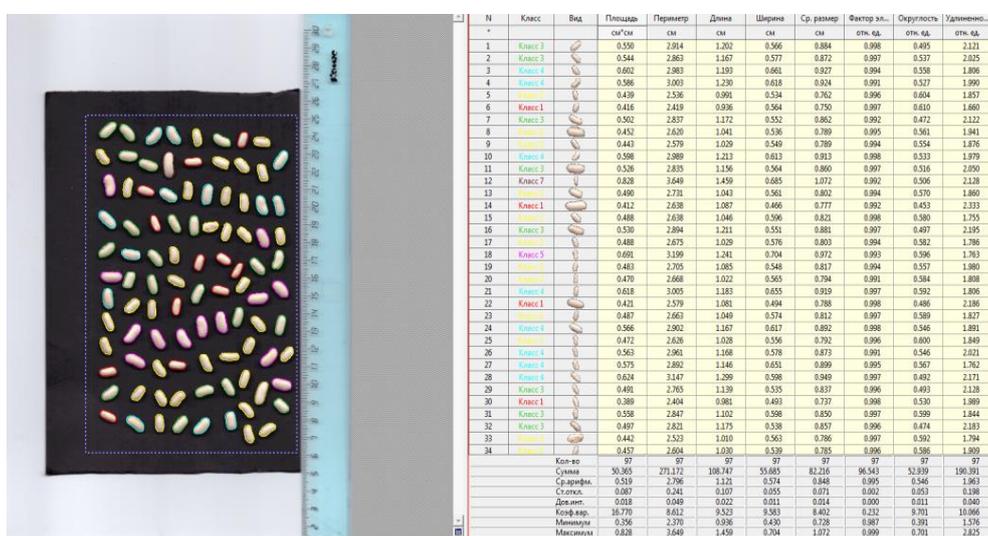


Рис. 1. Пример измерений и классификации семян фасоли по площади проекции

В результате количественной программной обработки был получен и проанализирован набор следующих параметров, характеризующих размеры и форму семян фасоли, укропа и пастернака:

1. площадь (см<sup>2</sup>) – площадь объекта (семени) без учета внутренних пустот;
2. длина (см) – максимальный размер объекта (семени);
3. ширина (см) – максимальный размер объекта (семени) в направлении, перпендикулярном длине.

Для семян фасоли были дополнительно проанализированы следующие параметры:

1. ср. размер (см) – полусумма габаритных размеров объекта (семени) – длины и ширины;
2. округлость (относительные единицы) – отношение площади объекта к площади окружности, диаметр которой равен максимальному диаметру Фере объекта; рассчитывается по формуле:

$$F_0 = \frac{4A}{f^2 \cdot \pi},$$

где  $A$  – площадь;  $f^2$  – максимальный диаметр (проекция) Фере. Диаметры Фере являются проекциями объекта в разных направлениях (от оси  $X$

через каждые 15 градусов) и используются для характеристики размеров объектов любой формы;

3. удлинненность (относительные единицы) – отношение длины габаритной к ширине габаритной.

Для семян укропа, пастернака и декоративного лука были дополнительно проанализированы следующие параметры:

- 1) величина красной составляющей цвета объекта по модели RGB (единицы яркости, измеряется в диапазоне от 0 до 255);
- 2) величина зеленой составляющей цвета объекта по модели RGB (единицы яркости, измеряется в диапазоне от 0 до 255);
- 3) величина синей составляющей цвета объекта по модели RGB (единицы яркости, измеряется в диапазоне от 0 до 255);
- 4) тон – параметр, характеризующий положение на цветовом круге по модели HSB (относительные единицы, измеряется в диапазоне от 0 до 1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате автоматического морфометрического анализа сканированных

изображений семян фасоли получены данные о параметрах, характеризующих размер и форму семян, для каждого из 50-ти вариантов (5 сортов × 5 пунктов

× 2 года репродукции). Экспериментальные данные представлены на рис. 2.

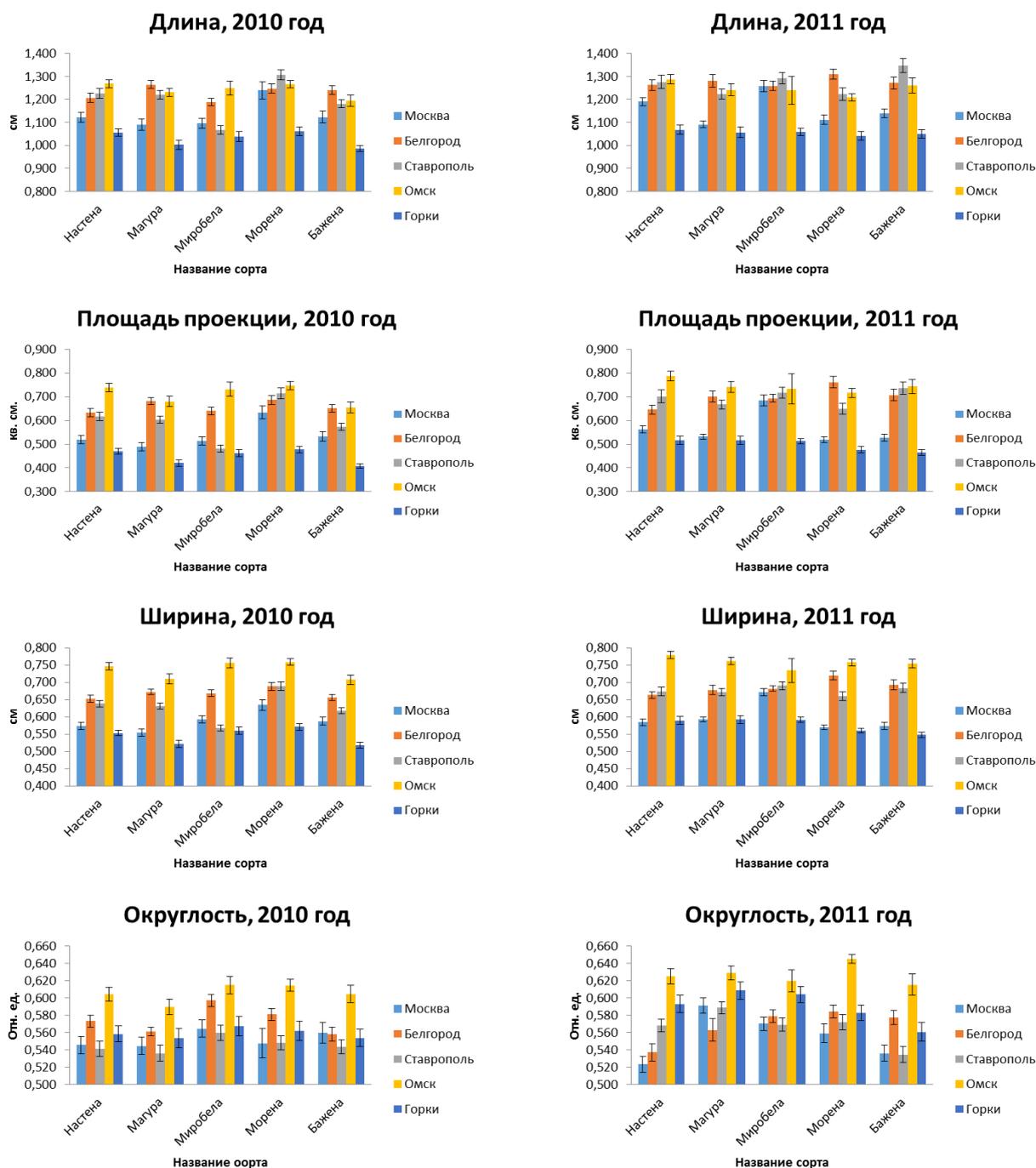


Рис. 2. Морфометрические характеристики семян различных сортов фасоли в контрастных условиях репродукции (2010 и 2011 гг.)

Контрастные природно-климатические условия зон проведения эксперимента, а также резко различающиеся погодные условия в 2010–2011 гг. определили существенные различия размерных и геометрических характеристик семян в пределах одного сорта. При анализе комплекса морфометрических показателей можно выделить пункты, в которых были получены крупные (Омск, Белгород, Ставрополь) и мелкие (Москва, Горки) семена.

Результаты сравнительного анализа морфометрических характеристик семян фасоли в зависимости от года репродукции представлены в табл. 2. Проведенный анализ позволил установить, что семена, полученные в 2010 г., отличались меньшей площадью проекции, длиной, шириной, средним размером и округлостью по сравнению с семенами, полученными в 2011 г.

Таблица 2. Морфометрические характеристики семян фасоли в зависимости от года репродукции

Параметр, ед. изм.	Значения показателя, год репродукции			
	медиана, 2010 г.	медиана, 2011 г.	дисперсия, 2010 г.	дисперсия, 2011 г.
Площадь проекции, см <sup>2</sup>	0,617**	0,684**	0,011	0,011
Длина, см	1,193*	1,240*	0,009	0,009
Ширина, см	0,636**	0,672**	0,005	0,005
Средний размер, см	0,929**	0,965**	0,007	0,006
Округлость, отн. ед.	0,559**	0,579**	0,001	0,001
Удлиненность, отн. ед.	1,882	1,845	0,009	0,013

\*) Различия статистически значимы при  $P < 0,05$  (Критерий Уилкоксона)

\*\*) Различия статистически значимы при  $P < 0,01$  (Критерий Уилкоксона)

Результаты исследований свидетельствуют о том, что эколого-географические и климатические условия оказывают значимое влияние на экологическую разнокачественность семян фасоли.

Результаты компьютерного морфометрического анализа семян укропа и пастернака, отобранных с разных порядков ветвей материнских растений, представлены на рис. 3. Установлено, что семена укропа и пастернака, отобранные с разных порядков ветвления, различались по площади проекции, длине и ширине, т. е. по параметрам, характеризующим размер семян. У семян, отобранных с ветвей первого порядка, значения данных показателей были статистически достоверно выше по сравнению с семенами, отобранными с ветвей второго порядка. Контрольный образец, в котором были представлены семена, отобранные с ветвей как первого, так и второго порядка, занимал промежуточное положение по размерным характеристикам. Анализ цветовых характеристик семян зонтичных культур, в частности тона, не выявил закономерностей, связанных с расположением семян на разных частях материнских растений.

Результаты компьютерного морфометрического анализа семян декоративного

лука, отобранных с разных ярусов материнских растений, представлены на рис. 4. Анализ их размерных характеристик (площади проекции и ширины) позволил выявить тенденцию к снижению размера семян от нижнего яруса к верхнему, однако различия находились в пределах погрешности. Анализ цветовых характеристик семян (величины цветовых составляющих по модели RGB) позволил установить статистически значимое снижение показателей по всем цветовым каналам в ряду от нижнего яруса к верхнему, то есть семена, отобранные с нижнего яруса, имели более светлую окраску, а с верхнего – более темную. Следует отметить, что изменений соотношения величин цветовых составляющих изображений семян декоративного лука в зависимости от яруса не выявлено. Можно предположить, что для более углубленных исследований матричной разнокачественности, в частности различной физиологической зрелости семян, необходимо использовать более совершенные неразрушающие технологии получения и обработки изображений, основанные на визуализации и количественной оценке флуоресценции хлорофилла, применяемые, например, в работе (Jalink, Frandas et al., 1998).

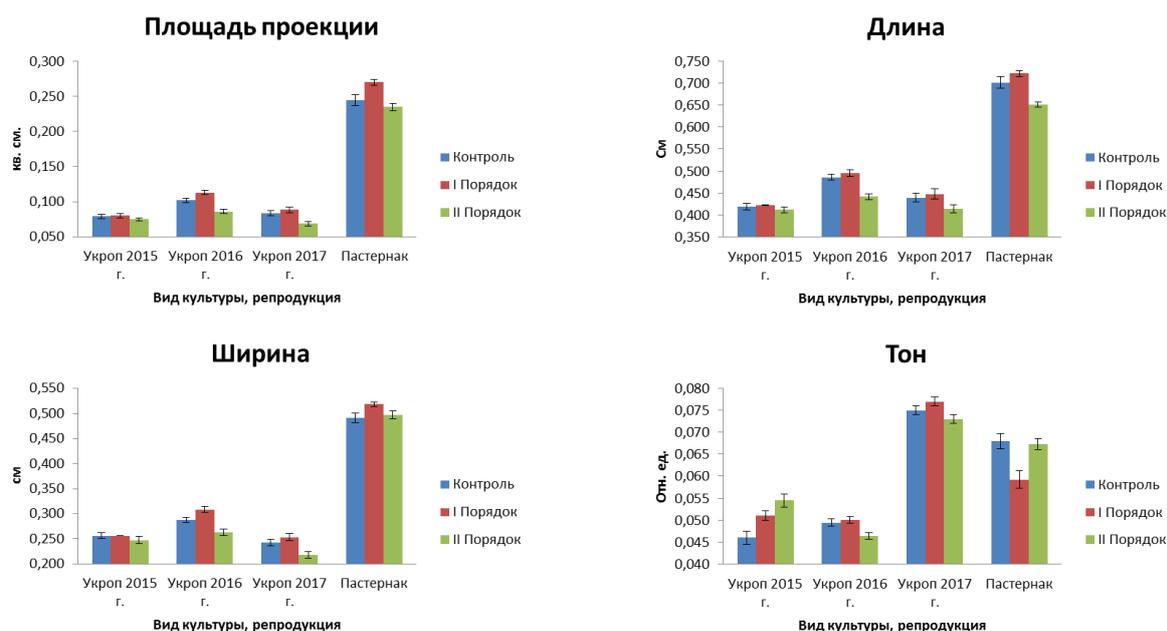


Рис. 3. Морфометрические характеристики семян зонтичных культур, отобранных с разных порядков ветвления материнских растений



### Величины составляющих цветов по модели RGB

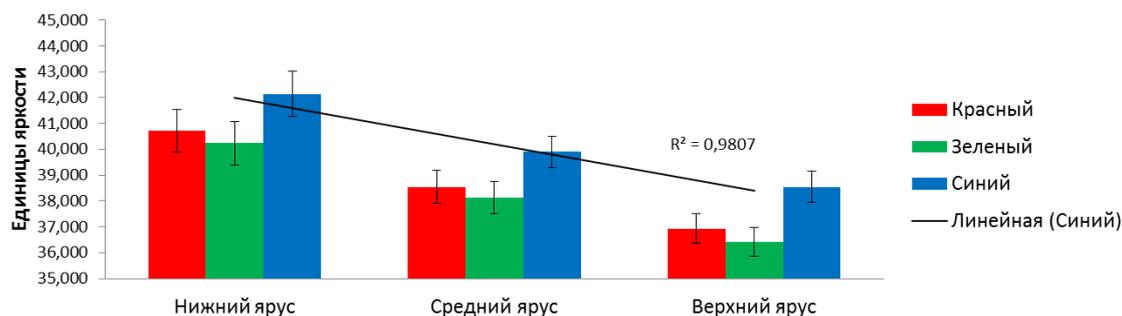


Рис. 4. Морфометрические характеристики семян декоративного лука, отобранных с разных ярусов соцветий

### ВЫВОДЫ

Установлено, что эколого-географические (зона выращивания) и климатические (год репродукции) условия оказали значимое влияние на морфометрические характеристики исследуемых семян фасоли. Экологическая разнокачественность проявилась в достоверном различии размеров и формы семян, выращенных в контрастных природных условиях в разные годы.

Матриксальная разнокачественность исследованных семян укропа и пастернака проявилась в различии их размеров, а семян декоративного лука – в разной интенсивности окраски.

Анализ цветовых характеристик исследуемых семян зонтичных, отобранных с различных частей

материнских растений, не позволил установить закономерностей, связанных с матриксальной разнокачественностью, что обуславливает необходимость использования более совершенных технологий получения изображений. Вместе с тем на примере семян декоративного лука установлено, что семена, отобранные с разных ярусов, имеют различную интенсивность окраски, однако соотношение величин цветовых каналов при этом не меняется.

Примененный в работе метод компьютерного анализа сканированных изображений семян может послужить эффективным инструментом для изучения экологической и матриксальной разнокачественности семян овощных культур.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипов М. В., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография растений. СПб.: Технолит, 2008. 192 с.
- Бухаров А. Ф., Балеев Д. Н., Иванова М. И. Морфометрия разнокачественности семян овощных зонтичных культур в процессе формирования и прорастания. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 7 (117). С. 26–32.
- Ермаков Е. И. Регулируемая агроэкосистема в познании и управлении производственным процессом // Регулируемая агроэкосистема в растениеводстве и экофизиологии. Сб. науч. тр. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. С. 4–20.
- Еськова О. В. Анатомо-морфологические и генетические особенности гетероспермии кукурузы и их использование в селекции и семеноводстве. Дис. канд. с.-х. наук. Симферополь, 2005. 264 с.
- Кирпа М. Я. Теоретичне обґрунтування процесів післязбіральної обробки та методів контролю якості насіння кукурудзи // Наук. Праці ПФНУБіП України «КАТУ». Вип. 127. С. 244–247.
- Лыкова Н. А. Эффект превегетации: экологические последствия. СПб.: Наука, 2009. 311 с.
- Макрушин Н. М. Экологические основы промышленного семеноводства зерновых культур / Макрушин Н. М. М.: Агропромиздат, 1985. 285 с.
- Макрушин Н. М. Основы гетеросперматологии / Макрушин Н. М. М.: Агропромиздат, 1989. 287 с.
- Макрушин Н. М. Важнейшие принципы прогнозирования биологических свойств и отбора семян / Н. М. Макрушин, Е. М. Макрушина // Наукові праці ПФ «КАТУ» НАУ. Вип. 127. Симферополь, 2009. С. 48–53.

- Мухин С. П. Оценка крупности семян для создания машин с. х. комплекса // Зерновые культуры. 1996. № 4. С. 8–9.
- Прохоров И.А., Крючков А.В., Комиссаров В.А. Селекция и семеноводство овощных культур. М.: Колос, 1997. 479 с.
- Сечняк Л. К., Киндрук Н. А., Слюсаренко О. К., Иващенко В. Г., Кузнецов Е. Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 350 с.
- Строна И. Г. Семеноведение полевых культур. М.: Колос, 1966. 463 с.
- Gray D., Ward J. A. Relationship in seed and characteristics of endosperm by carrot // *Annals of Applied Biology*, v. 106, 1985, no. 2, pp. 379–384.
- Jalink H., Frandas A., van der Schoor R., Bino J. B. Chlorophyll fluorescence of the testa of Brassica oleracea seeds as an indicator of seed maturity and seed quality. *Sci. agric.* v.55 special issue Piracicaba 1998. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161998000500016>

## REFERENCES

- Arkhipov M. V., Potrakhov N. N. *Mikrofokusnaia rentgenografiia rastenii*. [Microfocal X-ray analysis of plants]. Saint-Peterburg: Tehnolit, 2008. 192 p.
- Bukharov A. F., Baleev D. N., Ivanova M. I. Morfometrija raznokachestvennosti semjan ovoshnykh zontichnykh kul'tur v processe formirovaniia i prorastaniia [Morphometry of vegetable seeds heterogeneity in the process of formation and germination] // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 7(117), pp. 26–32.
- Ermakov E. I. Reguliruemaja agrojekosistema v poznanii i upravlenii produkcionnym processom [Adjustable agroecosystem in knowledge and management of production process] // *Reguliruemaja agrojekosistema v rastenievodstve i jekofiziologii. Sb. nauch. tr.* Saint-Peterburg: Publishing house PIJaF RAN, 2007, pp. 4–20.
- Es'kova O. V. *Anatomo-morfologicheskie i geneticheskie osobennosti geterospermii kukuruzy i ih ispol'zovanie v selekcii i semenovodstve*. Dis. kand. s.-h. nauk. [Anatomically-morphological and genetic particularities of a heterospermy of maize and their application in selection and seed breeding. Diss. cand. agric. scie.]. Simferopol', 2005. 264 p.
- Курпа М. Я. Теоретичне обґрунтування процесів післязбиральної обробки та методів контролю якості насіння кукурудзи // [Theoretical substantiation of the processes of post-harvest processing and methods of monitoring the quality of corn sowing] // *Наук. Праці ПФНУБіП України «КАТУ»*. Вип. 127. С. 244–247.
- Lykova N. A. *Jeffekt prevegetacii: jekologicheskie posledejstvija*. [Effect of ecological implications] Saint-Peterburg: Nauka, 2009, 311 p.
- Makrushin N. M. *Jekologicheskie osnovy promyshlennogo semenovodstva zernovykh kul'tur*. [Ecological bases of industrial seed breeding of grain crops] Moscow: Agropromizdat, 1985. 285 p.
- Makrushin N. M. *Osnovy geterospermatologii* [Basis of heterospermatology] Moscow: Agropromizdat, 1989. 287 p.
- Makrushin N. M. Vazhnejšie principy prognozirovaniia biologicheskikh svojstv i otbora semjan [The most important principles of forecasting of biological properties and selection of seeds] / N. M. Makrushin, E.M. Makrushina // *Naukovi praci PF "KATU" NAU*, v. 127, pp. 48–53. Simferopol', 2009.
- Mukhin S. P. Ocenka krupnosti semjan dlja sozdaniia mashin s. h. kompleksa [Assessment of fineness of seeds for creation of agricultural equipment] // *Zernovye kul'tury*, 1996, no. 4, pp. 8–9.
- Prokhorov I. A., Krjuchkov A. V., Komissarov V. A. *Selekcija i semenovodstvo ovoshnykh kul'tur*. [ Selection and seed breeding of vegetable crops] Moscow: Kolos, 1997, 479 p.
- Sechnyak L. K., Kindruk N. A., Slyusarenko O. K. Ivashhenko V. G., Kuznetsov E. D. *Jekologija semjan pshenicy* [Ecology of wheat seeds] Moscow: Kolos, 1983. 350 p.
- Строна И. Г. *Semenovedenie polevykh kul'tur* [Seed studies of field crops]. Moscow: Kolos, 1966. 463 p.
- Gray D., Ward J. A. Relationship in seed and characteristics of endosperm by carrot // *Annals of Applied Biology*, v. 106, 1985, no. 2, pp. 379–384.
- Jalink H., Frandas A., van der Schoor R., Bino J. B. Chlorophyll fluorescence of the testa of Brassica oleracea seeds as an indicator of seed maturity and seed quality. // *Sci. agric.*, v. 55 special issue Piracicaba 1998. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161998000500016>.