



МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ И ЦВЕТОВОЙ АНАЛИЗ СЕМЯН РОДА *ALLIUM* L.

Мусаев Ф.Б.^{1*}, Прияткин Н.С.²,
Иванова М.И.³, Бухаров А.Ф.³

¹ Федеральный научный центр овощеводства, Московская обл., Одинцовский район, Россия

² Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

³ Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства, Раменский район, Московская область, Россия
*E-mail: musayev@bk.ru

Аннотация

Allium L. – один из крупнейших родов класса однодольных растений. Фенотипическая оценка и идентификация видов посредством семян трудоемка и связана субъективизмом оператора. Предложен новый инструментально-цифровой метод морфометрии семян, выгодно отличающийся от традиционных методов информативностью и скоростью исполнения. Проанализирована макро- и микроморфология семян для таксономического различения видов рода *Allium*. В статье представлены результаты исследования морфологии семян рода *Allium* L. – *A. nigrum*, *A. aflatumense*, *A. borszczowii*, *A. schoenoprasum*, *A. suworowii*, *A. stipitatum*, *A. semenowii* из биосборки ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО (Московская область). Отмечены значительные различия между видами в размерах (1.4...5.49 мм²) и форме (1.154...2.084 относительных единиц) семян. Цвет поверхности семян также сильно варьировался между видами: 33.660...65.695 единиц яркости и 0.143...0.683 относительных единиц тона. Морфологические признаки семян могут быть полезными в качестве дополнительных таксономических показателей в идентификации и различении таксонов в пределах рода *Allium*.

Ключевые слова:

Allium L., семена, морфология, цифровой анализ изображений, форма семян, цветовая характеристика семян

Поступила в редакцию: 30.04.2026

Принято в печать: 19.06.2026

MORPHOMETRIC AND COLOR ANALYSIS OF *ALLIUM* L. SEEDS

Musaev F. B.^{1*}, Priyatkin N. S.²,
Ivanova M. I.³, Buharov A. F.³

¹ Federal scientific vegetable center, Odintsovskii district, Moscow region, Russia

² Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

³ All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of FSBSI “Federal Scientific Vegetable Center”, Ramensky district, Moscow region, Russia
*E-mail: musayev@bk.ru

Abstract

Allium L. is one of the largest monocotyledonous plant genera. Phenotypic assessment and identification of species with seeds are laborious and subject to operator subjectivity. A new instrument-digital method of seed morphometry is proposed, which favorably differs from traditional methods in terms of information content and execution speed. The macro- and micromorphologies of the seeds were analyzed to taxonomically distinguish *Allium* species. The article presents the results of the study of the morphology of seeds of the genus *Allium* L. – *A. nigrum*, *A. aflatumense*, *A. borszczowii*, *A. schoenoprasum*, *A. suworowii*, *A. stipitatum*, and *A. semenowii* from the biocollection of VNIIO – a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNTSO (Moscow region). Significant differences were noted in the size (1.4... 5.49 mm²) and shape (1.154... 2.084 relative units) of seeds between species. The color of the surface of the seeds also varied greatly between species: 33.660... 65.695 units of brightness and 0.143... 0.683 relative units of hue. Morphologic traits of seeds may be useful as additional taxonomic indicators in identifying and distinguishing taxa within the genus *Allium*.

Keywords:

Allium L., seeds, morphology, digital image analysis, seed shape, seed color characteristic

Received: 30.04.2026

Accepted: 19.06.2026

Цитировать | Cite as

DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-19> EDN: <https://www.elibrary.ru/ogvllk>

ВВЕДЕНИЕ

Семена – базовый элемент продовольственной безопасности, экологической стабильности и сохранения биоразнообразия растений [Pedrini, Dixon 2020]. Точная фенотипическая характеристика и идентификация семян необходимы для широкого спектра применений, включая проверку чистоты семян, борьбу с инвазивными видами, мониторинг биоразнообразия и хранение

семенных банков. Однако традиционные методы фенотипирования и классификации семян основаны на ручных измерениях или экспертной оценке, часто проводимых в лабораторных условиях с использованием линеек, штангенциркулей. Эти подходы трудоемки, подвержены ошибкам и нецелесообразны в больших масштабах, особенно в полевых условиях или в условиях ограниченных ресурсов [Li *et al.* 2025].

Последние достижения в области компьютерного зрения открыли многообещающие возможности для автоматизации фенотипирования и классификации семян. Успешно применяются интроскопические методы оценки качества семенного материала, связанные с особенностями внутренней структуры семян [Бухаров *и др.* 2015; Мусаев *и др.* 2016; Прияткин, Чесноков 2025]. Морфометрические параметры определяют форму семян, что, в свою очередь, характеризует их качество и жизнеспособность, а в итоге, продуктивность и урожайность. Предложены различные эффективные методы компьютерной обработки изображений семян [Granitto *et al.* 2005; Pourreza *et al.* 2012; Tanabata *et al.* 2012]. Большинство из этих подходов реализованы с использованием программного обеспечения для настольных ПК с целью анализа изображений семян на светлом фоне, полученных с помощью цифровой камеры или сканера [Herridge *et al.* 2011; Whan *et al.* 2014]. Это позволяет оценивать большое количество морфометрических параметров семени, описывающих форму и цвет [Bai *et al.* 2013], обеспечивает идентификацию сортов [Dana, Ivo 2008; Chen *et al.* 2010; Zapotoczny 2011], определение влажности и прогнозирование урожайности [Novaro *et al.* 2001; Tahir *et al.* 2007]. Различия в размере семян, форме, цвете и структуре клеток семенной оболочки служили таксономическими и / или филогенетическими маркерами [Bednorz *et al.* 2012]. Возрастает потребность в точных, информативных, быстрых и неразрушающих методах идентификации семян для обеспечения их подлинности, защиты прав селекционеров и поддержки устойчивого развития сельского хозяйства.

В совместной работе сотрудников Федерального научного центра овощеводства, Агрофизического НИИ и ООО «АргусСофт» (Санкт-Петербург) разработан метод цифровой морфометрии семян овощных культур [Мусаев *и др.* 2024].

Allium L. – один из крупнейших и наиболее разнообразных родов семейства лепестковидных однодольных растений Amaryllidaceae, в настоящее время включающий около 1018 признанных видов по всему миру [Friesen *et al.* 2021, 2024; Munavvarov *et al.* 2022; Yusupov *et al.* 2022]. Текущее видовое разнообразие в пределах рода *Allium* увеличивается из-за открытия новых видов [Balos *et al.* 2023; Khassanov *et al.* 2023; Eker 2024]. Более 50 видов *Allium* широко культивируются в мире или локально. Кроме того, многие дикие виды собираются местным населением в природе в качестве овощей, лекарственных или декоративных растений [Иванова *и др.* 2019, 2025].

Соцветие *Allium* представляет собой многоцветковый зонтик, который обычно окружен перепончатыми прицветниками (покрывалом). Завязь верхняя, трёхгнездная или одногнездная, с шестью или многими семяпочками. Плод – ценокарпная, обычно трехгнездная коробочка. Основные черты строения семени определяются строением семязачатка, форма и размер которого складываются к моменту оплодотворения. Семена обычно овальные, каплевидные или угловатые из-за скученности внутри коробочки, и они обычно черные. Однако форма семян сильно варьируется в зависимости от характеристик коробочки [Baasanmunkh *et al.* 2020].

Цель исследования – изучить геометрические параметры и цветковые признаки семян разных видов *Allium* L. из биоколлекции ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО методом цифрового морфометрического анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом для исследований явились семена разных видов рода *Allium* L. – *A. nigrum*, *A. aflatunense*, *A. borszczowii*, *A. schoenoprasum*, *A. suworowii*, *A. stipitatum*, *A. semenowii* из биоколлекции ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО (Московская область). Растения 4-5 летнего возраста.

Морфологические параметры семян измерены методом цифровой морфометрии семян овощных культур (Мусаев *и др.* 2024). Цифровые изображения семян ($n = 100$) были получены с использованием планшетного сканера HP Scanjet 200, формат сохраняемых файлов BMP, TIFF, JPG, разрешение 600 DPI (рис. 1).

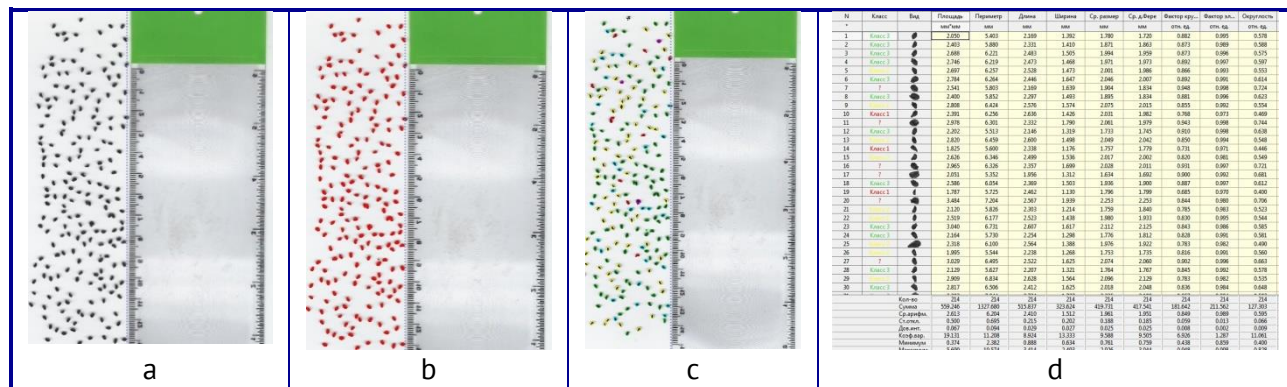
Рис. 1. Сканирование семян *A. fistulosum*: сканер (слева), изображение (справа), 2025 год **Fig. 1. Scanning of *A. fistulosum* seeds: scanner (left), image (right), 2025**



Суть метода: измерение морфометрических и оптических параметров семян осуществляли путем анализа их цифровых изображений с помощью программного обеспечения «ВидеоТест-Морфология». Программное обеспечение позволяет выделить объекты интереса (от фона) по цвету и яркости, либо порогу яркости, измерить в реальных геометрических величинах выделенные объекты (изображения семян), а также получить таблицу измерений по каждому объекту. Алгоритм работы программы представлен на рисунке 2.

Рис. 2. Алгоритм методики компьютерного анализа изображений семян лука в программе «ВидеоТест-Морфология 5.2»: а – исходное изображение; б – выделенные объекты интереса (маски) на изображении; с – контуры измеренных объектов; д- таблица измерений

Fig. 2. Algorithm of the technique of computer analysis of onion seed images in the VideoTest-Morphology 5.2 software: a – the original image; b – selected objects of interest (masks) in the image; c – contours of the measured objects; d - measurement table



Программа с высокой точностью (до 1/1000 долей сантиметра) измеряет линейные параметры семян и выдает более десяти как прямых, так и производных морфометрических параметров семян.

Для описания цветности при анализе цифровых изображений пользовались цветовой моделью RGB. Эта цветовая модель дает возможность разрешить до 256 градаций яркости каждого из трех базовых цветов. Яркость в любом из каналов цифрового изображения в данной точке отражает интенсивность света красной, зеленой и синей областей спектра, попадающего на матрицу регистрирующего устройства фотокамеры. Согласно цветовой модели, R, G и B могут принимать абсолютные значения от 0 до 255. Среднее значение RGB = 1/3 (значение R + значение G + значение B).

Статистическую обработку данных осуществляли в программе MS Excel с расчетом ошибки среднего при p=0.05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ линейных параметров семян разных видов *Allium* L. выявил большое их разнообразие. Так, по показателю «площадь проекции семян» между относительно мелкими семенами *A. nigrum* (2.613 мм²) и крупными – *A. suworowii* (6.770 мм²) разница составила более чем 2.5 раза (табл. 1). Соответственно, отмечен большой разброс показателей длины и ширины семян, которые позволяют определить их форму. Мы предлагаем два параметра для определения формы семян: округлость – это соотношение периметра семени к периметру круга в очертании семени; удлинённость – это соотношение длины семени к её ширине, выраженное в относительных единицах. Судя по данным таблицы 1, семена *Allium* L. скорее удлинённые, нежели округлые, все же и по этому параметру виды отличаются между собой: семена *A. stipitatum* оказались почти округлыми с коэффициентом удлинённости 1.154, семена *A. schoenoprasum*, напротив, наиболее удлинённой формы, со значением 2.084 единицы. Соответственно, семена разных видов существенно отличаются и по удельной массе. Показатель масса 1000 семян колеблется в пределах: 1.44...5.49 г между видами.

Таблица 1. Основные характеристики семян некоторых видов *Allium* L.

Table 1. Main characteristics of seeds of some *Allium* L. species

Виды	Площадь, мм ²	Периметр, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Округлость, отн. ед.	Удлинённость, отн. ед.	Масса 1000 семян, г
<i>A. nigrum</i>	2.613± 0.067	6.204± 0.093	2.410± 0.029	1.51± 0.027	0.595± 0.009	1.609± 0.021	1.44
<i>A. aflatunense</i>	6.697± 0.123	9.969± 0.087	3.655± 0.041	2.50± 0.034	0.655± 0.011	1.466± 0.024	5.31
<i>A. borszczowii</i>	3.758± 0.073	7.373± 0.095	2.837± 0.031	1.83± 0.022	0.621± 0.007	1.554± 0.021	2.48
<i>A. schoenoprasum</i>	3.066 ± 0.452	7.154± 0.077	3.022± 0.036	1.470± 0.027	0.453± 0.006	2.084± 0.034	2.12
<i>A. suworowii</i>	6.770± 0.160	10.037± 0.119	3.652± 0.052	2.533± 0.044	0.663± 0.013	1.464± 0.030	5.49
<i>A. stipitatum</i>	4.546± 0.104	7.837± 0.095	2.709± 0.034	2.288± 0.033	0.809± 0.013	1.192± 0.019	3.09
<i>A. semenowii</i>	4.302± 0.065	7.925± 0.053	3.036± 0.020	1.976± 0.025	0.619± 0.007	1.550± 0.020	2.76
<i>A. ramosum</i>	5.752± 0.118	9.184± 0.089	3.557± 0.036	2.234± 0.033	0.602± 0.011	1.607 ± 0.026	3.64

Программа также способна извлекать и экспортировать информацию о цвете поверхности семян. Цветовой анализ становится все более важным в исследовании растений. Это позволяет идентифицировать вариации в накоплении различных пигментов и диагностику болезней растений, и таксономические вариации [Lazcano-Ramírez *et al.* 2018; Kasajima 2019]. В отношении семян цветовая характеристика может служить показателем вызреваемости и их полноценности. Цветовая характеристика семян анализируемых видов *Allium* L. также получилась разнообразной. В качестве оптического признака мы использовали «среднюю яркость» семян, поскольку её легко интерпретировать. Как по значениям параметра «средняя яркость», так и по значению отдельных спектров наблюдается большая разница: от 33.660 единиц у *A. stipitatum* до 65.695 единиц яркости у *A. borszczowii* (табл. 2). Более тёмные семена могут указывать на изменение состава семенной оболочки. Семенная оболочка обеспечивает определённую механическую защиту от радикалов и барьер для воды и кислорода, и более тёмные семена, по-видимому, находятся в более глубоком состоянии покоя, чем относительно светлые. Тон цветов семян также сильно отличается от вида к виду: от 0.143 относительных единиц у *A. semenowii* до 0.683 относительных единиц у *A. ramosum*.

Таблица 2. Цветовая характеристика семян некоторых видов *Allium* L.Table 2. Color characteristics of seeds of some *Allium* L. species

Виды	Средняя яркость, единицы яркости	Отклонение яркости, единицы яркости	Красный, единицы яркости	Зеленый, единицы яркости	Синий, единицы яркости	Тон, относительные единицы
<i>A. nigrum</i>	62.805± 0.377	18.026± 0.229	62.221± 0.417	63.530± 0.372	64.893± 0.314	0.573
<i>A. aflatanense</i>	46.870± 0.434	14.286± 0.285	45.381± 0.285	47.751± 0.482	50.835± 0.386	0.597
<i>A. borszczowii</i>	65.695± 0.423	17.277± 0.202	65.359± 0.428	66.409± 0.429	66.919± 0.404	0.530
<i>A. schoenoprasum</i>	61.593± 0.412	19.446± 0.267	62.402± 0.496	61.086± 0.455	66.446± 0.502	0.670
<i>A. suworowii</i>	35.665± 0.563	16.134± 0.355	35.437± 0.549	35.991± 0.575	38.585± 0.591	0.642
<i>A. stipitatum</i>	35.198± 0.516	15.562± 0.205	35.135± 0.492	35.528± 0.525	37.586± 0.569	0.642
<i>A. semenowii</i>	64.857± 0.743	28.985± 0.331	66.547± 0.746	64.991± 0.751	63.646± 0.736	0.143
<i>A. ramosum</i>	55.182± 0.681	25.382± 0.404	55.659± 0.723	55.426± 0.673	56.737± 0.652	0.683

В целом, результаты анализа семян могут иметь значения для таксономии, что немаловажно с учетом огромного видового разнообразия рода *Allium* L. Метод еще более успешно применяется для внутривидового анализа семян луковых с ярко выраженной матричной и экологической разнокачественностью, что имеет большое агрономическое значение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровые морфологические характеристики семян демонстрируют более высокий уровень измерений. Линейные параметры семян измеряются с точностью 0,001 см, что позволяет найти различия по размеру и форме между видами. Цветовые характеристики семян представляют собой дополнительное измерение цвета, выходящее за рамки человеческого восприятия. Спектральная визуализация расширяет количество каналов, позволяя не только различать цвета, а получать ценной информации, не ограничиваясь только видимым светом, что особенно важно для таксономической классификации. Анализ морфометрических характеристик семян *Allium* L. показал большое их разнообразие как по линейным параметрам, так и по цветовым характеристикам. Цифровой морфометрический анализ семян различных видов *Allium*, благодаря своей высокой точности, успешно может применяться для их различения и идентификации, быстрой и объективной оценки посевного материала, отбора жизнеспособных семян и контроля качества в селекции.

Результаты анализа можно документировать и архивировать, что позволит вернуться к ним позднее. Точная оценка качества семян особенно важна перед сбором, хранением, консервацией или использованием. Для того чтобы технология получила признание профильных международных организаций, таких как ISTA и AOSA, заинтересованные стороны должны доказать, что технология, основанная на цифровом анализе, может успешно конкурировать с традиционными методами анализа семян, благодаря своей точности, информативности и скорости исполнения. Дальнейшие исследования должны быть проведены на других видах рода *Allium* L. и с использованием различных платформ визуализации для дальнейшего повышения надежности метода.

Конфликт интересов | Conflicts of Interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Настоящая работа не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов исследования.

The authors declare that there is no conflict of interest. This work does not contain any studies involving humans and animals as research objects.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бухаров А.Ф., Балеев Д.Н., Мусаев Ф.Б. (2015) Мягколучевая рентгеноскопия эффективный метод выявления «Пустосемянности» овощных зонтичных культур. *Пермский аграрный вестник*. (1 (9)): 6–11. EDN: [TNCFTL](#)
- Иванова М.И., Бухаров А.Ф., Балеев Д.Н., Бухарова А.Р., Кашлева А.И., Середин Т.М., Разин О.А. (2019) Биохимический состав листьев видов *Allium L.* в условиях Московской области. *Достижения науки и техники АПК*. **33**(5): 47–50. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10511> EDN: [ZNDOCX](#)
- Иванова М.И., Поляков А.В., Кашлева А.И. (2025) Генетические ресурсы некоторых представителей рода *Allium L.* *Овощи России*. (3): 30–37. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-30-37> EDN: [PRKYNP](#)
- Мусаев Ф.Б., Потрахов Н.Н., Архипов М.В. (2016) Рентгенография семян овощных культур. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Санкт-Петербург: 207. EDN: [ZHEGVN](#)
- Мусаев Ф.Б., Прияткин Н.С., Кузнец С.М., Иванова М.И., Архипов М.В. (2024) Цифровая морфометрия семян овощных культур (научно-методическое руководство). Издательство ФГБНУ ФНЦО. Москва: 72. EDN: [OVXNXX](#)
- Прияткин Н.С., Чесноков Ю.В. (2025) Новый ГОСТ Р 59603-2021 для растениеводства: «Семена сельскохозяйственных культур. Методы цифровой рентгенографии». В: *Сборник материалов V Международной научной конференции «Селекция и семеноводство: новые вызовы и возможности, устойчивое развитие и продовольственная безопасность»*. 27-28 марта 2025 года. Москва: 159–162.
- Baasanmunkh, S.; Lee, J.K.; Jang, J.E.; Park, M.S.; Friesen, N.; Chung, S.; Choi, H.J. (2020) Seed Morphology of *Allium L.* (Amaryllidaceae) from Central Asian Countries and Its Taxonomic Implications. *Plants*. **9**(9): 1239. <https://doi.org/10.3390/plants9091239> EDN: [ADSWZA](#)
- Bai X.D., Cao Z.G., Wang Y., Yu Z.H., Zhang X.F., Li C.N. (2013) Crop segmentation from images by morphology modeling in the CIE L*a*b* color space. *Computers and Electronics in Agriculture*. **99**: 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.022>
- Balos M.M., Sonay V., Çeçen C., Akan H. (2023) *Allium murat-sonayii* (Amaryllidaceae), a new species from Türkiye. *Phytotaxa*. **600**(1): 43–51. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.600.1.6> EDN: [TENLUT](#)
- Bednorz L., Krzywińska A., Czarna A. (2012) Seed morphology and testa sculptures of some *Allium L.* species (Alliaceae). *Acta Agrobotanica*. **64**(2): 33–38. <https://doi.org/10.5586/aa.2011.015>
- Chen X., Xun Y., Li W., Zhang J. (2010) Combining discriminant analysis and neural networks for corn variety identification. *Computers and Electronics in Agriculture*. **71**: S48–S53. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.09.003>
- Dana W., Ivo W. (2008) Computer image analysis of seed shape and seed color for flax cultivar description. *Computers and Electronics in Agriculture*. **61**(2): 126–135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.10.001>
- Eker I. (2024) *Allium serpenticola* (A. sect. *Codonoprasum*, Amaryllidaceae), a new species from Türkiye. *Phytotaxa*. **634**(2): 120–130. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.634.2.2> EDN: [HMWCDA](#)
- Friesen N., Herden T., Leweke M., Grützmacher L., Fragman-Sapir O., Hurka H., Blattner F.R., Fritsch R.M. (2024) Dated phylogeny, phylogeography, and classification of *Allium* subgenus *Amerallium* (Amaryllidaceae) from the Old World, based on six DNA fragments. *Taxon*. **73**(4): 971–991. <https://doi.org/10.1002/tax.13217> EDN: [EVSZCN](#)
- Friesen N., Smirnov S. V., Leweke M., Seregin A.P., Fritsch R.M. (2021) Taxonomy and phylogenetics of *Allium* section *Decipientia* (Amaryllidaceae): morphological characters do not reflect the evolutionary history revealed by molecular markers. *Botanical Journal of the Linnean Society*. **197**(2): 190–228. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boab023> EDN: [VLOUPO](#)
- Granitto P.M., Verdes P.F., Ceccatto H.A. (2005) Large-scale investigation of weed seed identification by machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. **47**(1): 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.003>
- Herridge R.P., Day R.C., Baldwin S., Macknight R.C. (2011) Rapid analysis of seed size in *Arabidopsis* for mutant and QTL discovery. *Plant Methods*. **7**(1): 3. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-7-3> EDN: [FUCUGC](#)
- Kasajima I. (2019) Measuring plant colors. *Plant Biotechnology*. **36**(2): 63–75. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.19.0322a>
- Khassanov F.O., Pulatov S., Asatulloev T., Ergashov I., Tojibaev K.Sh., Yusupov Z. (2023) *Allium sunhangii* – a new species from section *Brevidentia* F.O.Khass. & Iengal. (Amaryllidaceae) from Southern

- Pamir-Alay, Uzbekistan. *PhytoKeys*. **219**: 35–48. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.219.96464> EDN: UJUXFI
- Lazcano-Ramírez H.G., Gómez-Felipe A., Díaz-Ramírez D., Durán-Medina Y., Sánchez-Segura L., de Folter S., Marsch-Martínez N. (2018) Non-destructive plant morphometric and color analyses using an optoelectronic 3D color microscope. *Frontiers in Plant Science*. **9** <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01409> EDN: BXSTRJ
- Li D., Luo Y., Xue H., Sun G. (2025) Estimating radicle length of germinating elm seeds via deep learning. *Sensors*. **25**(16): 5024. <https://doi.org/10.3390/s25165024> EDN: DZNOOZ
- Munavvarov A., Yusupov Z., Ergashov I., Tojibaev K.S., Deng T., Sun H. (2022) Complete chloroplast genomes of ten species from subgenus *Allium* (*Allium*, Amaryllidaceae). *Plant Diversity of Central Asia*. **1**(2): 67–81. https://doi.org/10.54981/PDCA/vol1_iss2/a3 EDN: ZPYXCK
- Novaro P., Colucci F., Venora G., D'Egidio M.G. (2001) Image analysis of whole grains: a noninvasive method to predict semolina yield in durum wheat. *Cereal Chemistry*. **78**(3): 217–221. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.3.217>
- Pedrini S., Dixon K.W. (2020) International principles and standards for native seeds in ecological restoration. *Restoration Ecology*. **28**(S3): S286–S303. <https://doi.org/10.1111/rec.13155> EDN: PJIVOM
- Pourreza A., Pourreza H., Abbaspour-Fard M.-H., Sadrnia H. (2012) Identification of nine Iranian wheat seed varieties by textural analysis with image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*. **83**: 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.005>
- Tahir A.R., Neethirajan S., Jayas D.S., Shahin M.A., Symons S.J., White N.D.G. (2007) Evaluation of the effect of moisture content on cereal grains by digital image analysis. *Food Research International*. **40**(9): 1140–1145. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.06.009>
- Tanabata T., Shibaya T., Hori K., Ebana K., Yano M. (2012) SmartGrain: High-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. *Plant Physiology*. **160**(4): 1871–1880. <https://doi.org/10.1104/pp.112.205120>
- Whan A.P., Smith A.B., Cavanagh C.R., Ral J.-P.F., Shaw L.M., Howitt C.A., Bischof L. (2014) GrainScan: a low cost, fast method for grain size and colour measurements. *Plant Methods*. **10**(1): 23. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-10-23> EDN: IKXWPI
- Yusupov Z., Ergashov I., Volis S., Makhmudjanov D., Dekhkonov D., Khassanov F., Tojibaev K., Deng T., Sun H. (2022) Seed macro- and micromorphology in *Allium* (Amaryllidaceae) and its phylogenetic significance. *Annals of Botany*. **129**(7): 869–911. <https://doi.org/10.1093/aob/mcac067> EDN: RHGTBU
- Zapotoczny P. (2011) Discrimination of wheat grain varieties using image analysis and neural networks. Part I. Single kernel texture. *Journal of Cereal Science*. **54**(1): 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.02.012>

REFERENCES

- Bukharov A.F., Baleev D.N., Musaev F.B. (2015) Soft-ray radiography – effective method of identifying germlessness vegetable umbrella cultures. *Perm agrarian journal*. (1 (9)): 6–11. EDN: TNCFTL (in Russian)
- Ivanova M.I., Bukharov A.F., Baleev D.N., Bukharova A.R., Kashleva A.I., Seredin T.M., Razin O.A. (2019) The Biochemical Composition of *Allium* L. Leaves under the Environmental Conditions of the Moscow Region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. **33**(5): 47–50. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10511> EDN: ZNDOCX (in Russian)
- Ivanova M.I., Polyakov A.V., Kashleva A.I. (2025) Genetic resources of some representatives of the genus *Allium* L. *Vegetable crops of Russia*. (3): 30–37. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-30-37> EDN: PRKYNP (in Russian)
- Musaev F.B., Potrakhov N.N., Arkhipov M.V. (2016) X-ray of vegetable seeds [Rentgenografiya semyan ovoshchnykh kultur]. St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" Publishing. St. Petersburg: 207. EDN: ZHEGVN (in Russian)
- Musaev F.B., Priyatkin N.S., Kuznets S.M., Ivanova M.I., Arkhipov M.V. (2024) Digital morphometry of vegetable crop seeds (scientific and methodological guide) [Tsifrovaya morfometriya semyan ovoshchnykh kultur (nauchno-metodicheskoe rukovodstvo)]. Federal Scientific Center for Vegetable Growing Publishing. Moscow: 72. EDN: OVXNXX (in Russian)
- Priyatkin N.S., Chesnokov Y.V. (2025) New GOST P 59603-2021 for crop production: «Seeds of agricultural crops. Methods of digital radiography». In: *Proceedings of the V International Scientific Conference "Breeding and seed production: new challenges and opportunities, sustainable development and food security" [Sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*

- "Selektsiya i semenovodstvo: novye vyzovy i vozmozhnosti, ustoychivoe razvitie i prodovolstvennaya bezopasnost"]. 27–28 March 2025. Moscow: 159–162. (in Russian)
- Baasanmunkh, S.; Lee, J.K.; Jang, J.E.; Park, M.S.; Friesen, N.; Chung, S.; Choi, H.J. (2020) Seed Morphology of *Allium* L. (Amaryllidaceae) from Central Asian Countries and Its Taxonomic Implications. *Plants*. **9**(9): 1239. <https://doi.org/10.3390/plants9091239> EDN: ADSWZA
- Bai X.D., Cao Z.G., Wang Y., Yu Z.H., Zhang X.F., Li C.N. (2013) Crop segmentation from images by morphology modeling in the CIE L*a*b* color space. *Computers and Electronics in Agriculture*. **99**: 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.022>
- Balos M.M., Sonay V., Çeçen C., Akan H. (2023) *Allium murat-sonayii* (Amaryllidaceae), a new species from Türkiye. *Phytotaxa*. **600**(1): 43–51. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.600.1.6> EDN: TENLUT
- Bednorz L., Krzysińska A., Czarna A. (2012) Seed morphology and testa sculptures of some *Allium* L. species (Alliaceae). *Acta Agrobotanica*. **64**(2): 33–38. <https://doi.org/10.5586/aa.2011.015>
- Chen X., Xun Y., Li W., Zhang J. (2010) Combining discriminant analysis and neural networks for corn variety identification. *Computers and Electronics in Agriculture*. **71**: S48–S53. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.09.003>
- Dana W., Ivo W. (2008) Computer image analysis of seed shape and seed color for flax cultivar description. *Computers and Electronics in Agriculture*. **61**(2): 126–135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.10.001>
- Eker I. (2024) *Allium serpenticola* (A. sect. *Codonoprasum*, Amaryllidaceae), a new species from Türkiye. *Phytotaxa*. **634**(2): 120–130. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.634.2.2> EDN: HMWCDA
- Friesen N., Herden T., Leweke M., Grützmaier L., Fragman-Sapir O., Hurka H., Blattner F.R., Fritsch R.M. (2024) Dated phylogeny, phylogeography, and classification of *Allium* subgenus *Amerallium* (Amaryllidaceae) from the Old World, based on six DNA fragments. *Taxon*. **73**(4): 971–991. <https://doi.org/10.1002/tax.13217> EDN: EVSZCN
- Friesen N., Smirnov S. V., Leweke M., Seregin A.P., Fritsch R.M. (2021) Taxonomy and phylogenetics of *Allium* section *Decipientia* (Amaryllidaceae): morphological characters do not reflect the evolutionary history revealed by molecular markers. *Botanical Journal of the Linnean Society*. **197**(2): 190–228. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boab023> EDN: VLOUPO
- Granitto P.M., Verdes P.F., Ceccatto H.A. (2005) Large-scale investigation of weed seed identification by machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. **47**(1): 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.003>
- Herridge R.P., Day R.C., Baldwin S., Macknight R.C. (2011) Rapid analysis of seed size in *Arabidopsis* for mutant and QTL discovery. *Plant Methods*. **7**(1): 3. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-7-3> EDN: FUCUGC
- Kasajima I. (2019) Measuring plant colors. *Plant Biotechnology*. **36**(2): 63–75. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.19.0322a>
- Khassanov F.O., Pulatov S., Asatulloev T., Ergashov I., Tojibaev K.Sh., Yusupov Z. (2023) *Allium sunhangii* – a new species from section *Brevidentia* F.O.Khass. & Iengal. (Amaryllidaceae) from Southern Pamir-Alay, Uzbekistan. *PhytoKeys*. **219**: 35–48. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.219.96464> EDN: UJUXFI
- Lazcano-Ramírez H.G., Gómez-Felipe A., Díaz-Ramírez D., Durán-Medina Y., Sánchez-Segura L., de Folter S., Marsch-Martínez N. (2018) Non-destructive plant morphometric and color analyses using an optoelectronic 3D color microscope. *Frontiers in Plant Science*. **9** <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01409> EDN: BXSTRJ
- Li D., Luo Y., Xue H., Sun G. (2025) Estimating radicle length of germinating elm seeds via deep learning. *Sensors*. **25**(16): 5024. <https://doi.org/10.3390/s25165024> EDN: DZNOOZ
- Munavvarov A., Yusupov Z., Ergashov I., Tojibaev K.S., Deng T., Sun H. (2022) Complete chloroplast genomes of ten species from subgenus *Allium* (*Allium*, Amaryllidaceae). *Plant Diversity of Central Asia*. **1**(2): 67–81. https://doi.org/10.54981/PDCA/vol1_iss2/a3 EDN: ZPYXCK
- Novaro P., Colucci F., Venora G., D'Egidio M.G. (2001) Image analysis of whole grains: a noninvasive method to predict semolina yield in durum wheat. *Cereal Chemistry*. **78**(3): 217–221. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.3.217>
- Pedrini S., Dixon K.W. (2020) International principles and standards for native seeds in ecological restoration. *Restoration Ecology*. **28**(S3): S286–S303. <https://doi.org/10.1111/rec.13155> EDN: PJIVQM
- Pourreza A., Pourreza H., Abbaspour-Fard M.-H., Sadrnia H. (2012) Identification of nine Iranian wheat seed varieties by textural analysis with image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*. **83**: 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.005>

- Tahir A.R., Neethirajan S., Jayas D.S., Shahin M.A., Symons S.J., White N.D.G. (2007) Evaluation of the effect of moisture content on cereal grains by digital image analysis. *Food Research International*. **40**(9): 1140–1145. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.06.009>
- Tanabata T., Shibaya T., Hori K., Ebana K., Yano M. (2012) *SmartGrain*: High-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. *Plant Physiology*. **160**(4): 1871–1880. <https://doi.org/10.1104/pp.112.205120>
- Whan A.P., Smith A.B., Cavanagh C.R., Ral J.-P.F., Shaw L.M., Howitt C.A., Bischof L. (2014) GrainScan: a low cost, fast method for grain size and colour measurements. *Plant Methods*. **10**(1): 23. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-10-23> EDN: IKXWPI
- Yusupov Z., Ergashov I., Volis S., Makhmudjanov D., Dekhkonov D., Khassanov F., Tojibaev K., Deng T., Sun H. (2022) Seed macro- and micromorphology in *Allium* (Amaryllidaceae) and its phylogenetic significance. *Annals of Botany*. **129**(7): 869–911. <https://doi.org/10.1093/aob/mcac067> EDN: RHGTBU
- Zapotoczny P. (2011) Discrimination of wheat grain varieties using image analysis and neural networks. Part I. Single kernel texture. *Journal of Cereal Science*. **54**(1): 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.02.012>

Цитировать как

Мусаев Ф.Б., Прияткин Н.С., Иванова М.И., Бухаров А.Ф. (2026) Морфометрический и цветовой анализ семян рода *Allium* L. *Экобиотех*. **9**(1): 233-241. DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-19> EDN: <https://www.elibrary.ru/ogvllk>

Сведения об авторах

Фархад Багадыр оглы Мусаев, д.с.-х.н., ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», Московская обл., Одинцовский район, Россия, e-mail: musayev@bk.ru, SPIN: 5918-0757, ORCID: 0000-0001-9323-7741.

Николай Сергеевич Прияткин, д.б.н., ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: prini@mail.ru, SPIN: 9407-7573, ORCID: 0000-0002-5974-4288, WoS: C-4300-2017.

Мария Ивановна Иванова, д.с.-х.н., Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства - филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», Раменский район, Московская область, Россия, e-mail: ivanova_170@mail.ru, SPIN: 1961-9188, ORCID: 0000-0001-7326-2157, WoS: A-8536-2016, Scopus: 57205541331.

Александр Федорович Бухаров, д.с.-х.н., Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства - филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», Московская область, Раменский район, Россия, e-mail: afb@mail.ru, SPIN: 2527-3447, ORCID: 0000-0003-1910-5390, WoS: J-6605-2018, Scopus: 57193127775.

Cited as

Musayev F.B., Priyatkin N.S., Ivanova M.I., Buharov A.F. (2026) Morphometric and color analysis of *Allium* L. seeds. *Ecobiotech*. **9**(1): 233-241. DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-19> EDN: <https://www.elibrary.ru/ogvllk>

Information About the Authors

Farkhad Bagadir ogli Musayev, Doctor of Agricultural Science, Federal scientific vegetable center, Odintsovo district, Moscow region, Russia, e-mail: musayev@bk.ru, SPIN: 5918-0757, ORCID: 0000-0001-9323-7741.

Nikolay Sergeevich Priyatkin, Doctor of Biological Sciences, Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: prini@mail.ru, SPIN: 9407-7573, ORCID: 0000-0002-5974-4288, WoS: C-4300-2017.

Mariya Ivanovna Ivanova, Doctor of Agricultural Science, All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of FSBSI “Federal Scientific Vegetable Center”. Ramensky district, Moscow region, Russia, e-mail: ivanova_170@mail.ru, SPIN: 1961-9188, ORCID: 0000-0001-7326-2157, WoS: A-8536-2016, Scopus: 57205541331.

Alexander Fedorovich Buharov, Doctor of Agricultural Science, All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of “Federal Scientific Vegetable Center”. Ramensky district, Moscow region, Russia, e-mail: afb@mail.ru, SPIN: 2527-3447, ORCID: 0000-0003-1910-5390, WoS: J-6605-2018, Scopus: 57193127775.