

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Научная статья  
УДК 58.002, 004.9  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-204-212



## Оценка размеров и формы ягод с использованием программы ImageJ на примере жимолости

Д. Ю. Нохрин, Л. В. Уфимцева, Н. В. Глаз

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства, Челябинск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Денис Юрьевич Нохрин, nokhrin8@mail.ru

**Актуальность.** Несмотря на все более широкое использование в сельском хозяйстве цифровых технологий, в садоводстве и промышленном производстве плодово-ягодных культур до сих пор распространены качественные и балльные оценки морфологических показателей плодов, а измерения проводятся вручную. Цель исследования: разработка алгоритма применения программы ImageJ для быстрой и точной оценки размеров и формы ягод.

**Материалы и методы.** Материал – 190 образцов ягод трех сортов жимолости синей *Lonicera caerulea* L. селекции ЮНИИСК: 'Амазонка', 'Лазурит' и 'Ленина'. Ягоды фотографировались на белом фоне с подсветкой снизу. Анализ изображений проводился в открытом пакете ImageJ и включал автоматический поиск объектов и их измерение по семи показателям размеров и формы. Статистический анализ включал: расчет описательных статистик, коэффициента вариации, сравнение сортов по Краскелу – Уоллису, поиск типичных объектов по результатам многомерного анализа.

**Результаты.** Показано, как показатели в ImageJ соотносятся с классическими промерами в помологии, включая длину, диаметр и индекс ягоды. По всем показателям различия между сортами были высоко статистически значимыми ( $p < 0,001$ ). Обсуждаются перспективы использования показателя неровности поверхности для количественной характеристики степени отклонения плодов от естественной формы вследствие механических и иных деформаций, снижающих категорию сортности продукции.

**Заключение.** Результаты автоматического анализа изображений в программе ImageJ могут найти применение в садоводстве, селекции и производстве плодово-ягодной продукции.

**Ключевые слова:** помология, фотография, автоматический анализ, различия между сортами, прикладные аспекты

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России и Программы ФНИ государственных академий наук по направлению X 10.4, по теме № 0773-2019-0022 «Разработка и совершенствование методов селекционной работы, создание исходного материала и адаптивных сортов зерновых, зернобобовых, кормовых, плодово-ягодных, декоративных культур и картофеля».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Нохрин Д.Ю., Уфимцева Л.В., Глаз Н.В. Оценка размеров и формы ягод с использованием программы ImageJ на примере жимолости. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):204-212. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-204-212

## BRIEF REPORTS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-204-212

## Assessment of the size and shape of berries using the ImageJ program on the example of honeysuckle

Denis Yu. Nokhrin, Larisa V. Ufimtseva, Nikolai V. Glaz

*Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing, Chelyabinsk, Russia***Corresponding author:** Denis Yu. Nokhrin, [nokhrin8@mail.ru](mailto:nokhrin8@mail.ru)

**Background.** Digital technologies are increasingly used in agriculture to solve a variety of problems. However, in horticulture and industrial production of fruit and berry crops, qualitative evaluation and scoring of the most important morphological indicators of fruits are still common, and measurements are carried out manually. The aim of this study was to develop an algorithm for using the ImageJ package for quick and accurate measurements of the size and shape of berries.

**Materials and methods.** The material included 190 berries of 3 blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) cultivars: 'Amazonka', 'Lazurit', and 'Lenita'. The berries were laid out on a white sheet of paper with a ruler on top of the glass and photographed with additional lighting from below. The analysis of the obtained images was carried out using the public domain package ImageJ (v. 1.51k) and included automatic search for objects and their measurement by 7 indicators: area, perimeter, maximum and minimum Feret diameters, aspect ratio, circularity, and surface roundness (1-Solidity). Statistical analysis included the calculation of the minimum, maximum and mean values with a nonparametric 95% CI (bootstrap, percentile method), comparison of cultivars using the Kruskal–Wallis test, and search for the most typical objects based on the results of a between-group PCA.

**Results.** It was shown how the size and shape indicators from the ImageJ package related to classical measurements in pomology, including length, diameter, and berry shape index. For all indicators, the differences between cultivars were highly statistically significant ( $p < 0.001$ ). The prospects of using the surface roughness index for quantitative characterization of the degree of deviation of fruits from their natural shape due to mechanical and other deformations are discussed.

**Conclusion.** The results of the automatic image analysis in the ImageJ package can be used in horticulture, breeding, and production of fruits and berries.

**Keywords:** pomology, photography, automatic analysis, differences between cultivars, applied aspects

**Acknowledgements:** the work was carried out at the South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing, branch of the Ural Federal Agrarian Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, as part of State Task X 10.4, theme No 0773-2019-0022 entitled: "Development and improvement of breeding work methods, development of source material and adaptive cultivars of cereals, grain legumes, fodder, fruit and berry crops, ornamental plants, and potatoes". The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Nokhrin D.Yu., Ufimtseva L.V., Glaz N.V. Estimation of the size and shape of berries using the ImageJ program on the example of honeysuckle. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):204-212. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-204-212

## Введение

Успешные попытки использования цифровой фотографии для характеристик размеров и формы плодов известны с 1995 г. (White, Bailey, 1995), что совпало по времени с появлением первых и очень дорогих потребительских моделей цифровых фотокамер современного форм-фактора. Дальнейшее снижение стоимости аппаратного и программного обеспечения для обработки цифровых изображений и рост производительности компьютеров способствовали более широкому применению цифрового анализа изображений в сельском хозяйстве. В настоящее время такой анализ применяется для решения самого широкого спектра задач: визуализации и управления ростом растений, установления дефицита питательных веществ и степени повреждения вредителями, обнаружения сорняков, сортировки плодов и пр., а также входит в системы точного земледелия (Vibhute, Bodhe, 2012; Saxena, Armstrong, 2014).

В Российской Федерации переход к передовым цифровым технологиям обработки больших объемов данных является одной из приоритетных задач научно-технологического развития. Тем не менее в садоводстве и промышленном производстве плодово-ягодных культур до сих пор достаточно широко используется качественная (в том числе бальная) оценка целого ряда важнейших морфологических показателей плодов (Sedov, Ogotsova, 1999; GOST R 54778-2011..., 2020; GOST 33823-2016..., 2016; GOST R 58012-2017..., 2017; etc.). Такая оценка во многом зависит от индивидуального восприятия исследователя или контролера и является, во-первых, субъективной, а во-вторых, трудоемкой. Напротив, количественные показатели, получаемые в результате компьютерного анализа изображений, являются точными и требуют для получения намного меньше времени (Vibhute, Bodhe, 2012).

Для анализа размеров и формы объектов в биологии, медицине и сельском хозяйстве в настоящее время все шире используются специальные методы в рамках направления «геометрической морфометрии» (Vasilyev et al., 2018). Для них имеется открытое программное обеспечение, ориентированное на анализ либо размещаемых на объекте координат точек-ориентиров (ландмарк), либо непосредственно контуров объектов (аутлайнов) на основе эллиптического анализа Фурье (Iwata, Ukai, 2002; Schlager, 2017; Chuanromanee et al., 2019). Однако возможности традиционных морфометрических техник в помологии далеко не исчерпаны. Более того, для ряда традиционных задач необходимы именно стандартные промеры (длины, диаметры, индексы), но которые могут быть быстро получены, проанализированы и обобщены. Одной из самых популярных программ, позволяющих проводить такие измерения, является пакет ImageJ (ImageJ..., 2020).

ImageJ – это компьютерная программа с открытым исходным кодом для анализа и обработки изображений, написанная на языке Java командой сотрудников National Institutes of Health (США) во главе с Уэйном Расбандом. Она позволяет решать широкий круг задач: обнаруживать границы объектов, манипулировать с контрастностью и резкостью, проводить логические и арифметические операции между изображениями, анализ Фурье, медианное сглаживание, вычислять расстояния, площади, углы и многое другое. Функциональные возможности программы постоянно увеличиваются благодаря встраиваемым модулям (плагинам), написанным специалистами

ми со всего мира и находящимся в открытом доступе (ImageJ..., 2020). В настоящее время пакет широко применяется в качестве альтернативы проприетарному программному обеспечению в биомедицинских исследованиях, астрономии, географии и других дисциплинах, связанных с анализом изображений, а также все более активно используется в мировом садоводстве. Так, описан опыт применения ImageJ для анализа фенотипических вариаций листа декоративного кодиеума (Mollick, Yamasaki, 2012), оценки репродуктивных характеристик сортов винограда (Ibáñez et al., 2019), морфологии колоний патогенных штаммов бактериальной язвы киви (Jing et al., 2018) и др.

Цель данного исследования заключалась в разработке алгоритма применения программы ImageJ для быстрой и точной оценки размеров и формы ягод на примере различных сортов жимолости.

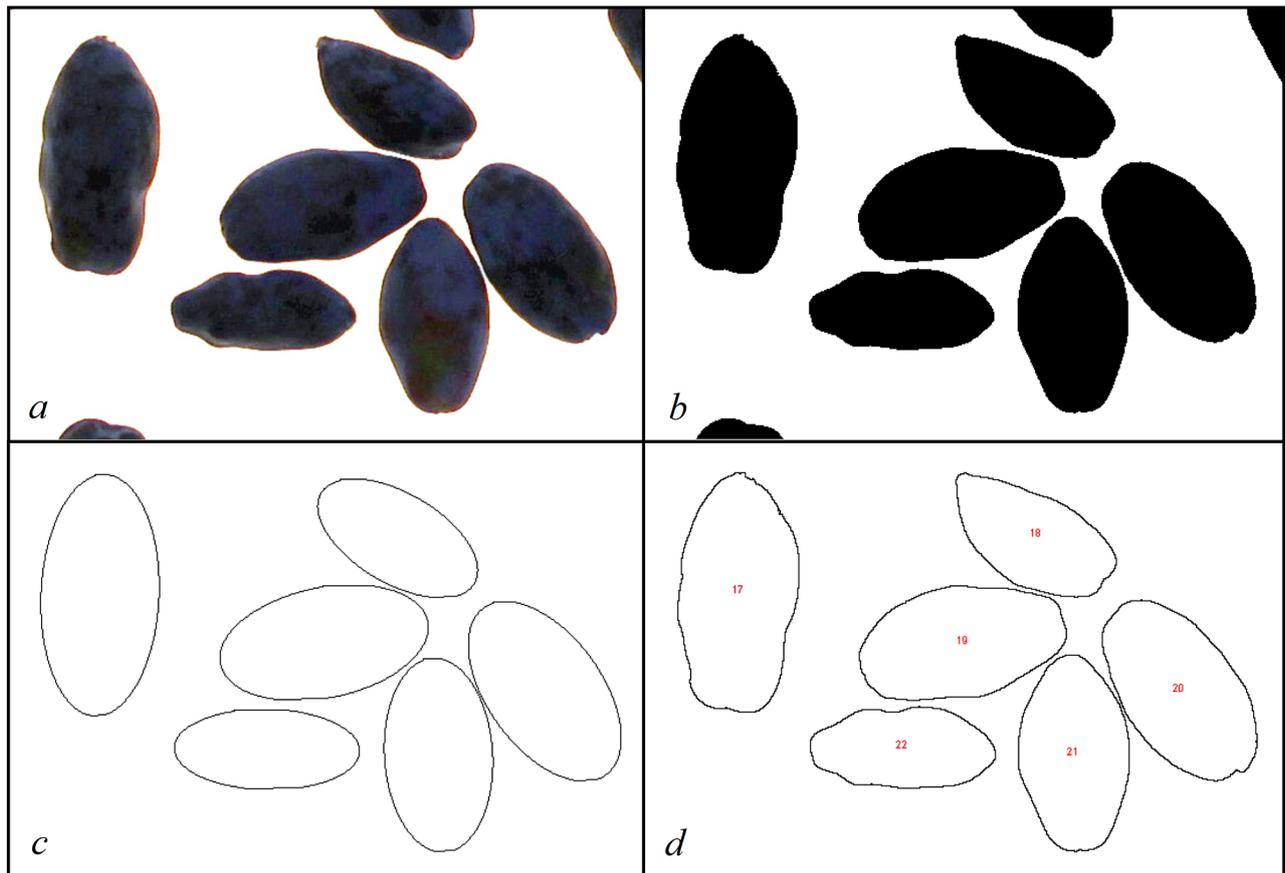
## Материалы и методы исследования

Исследования проведены в лаборатории инструментальных методов исследований Южно-Уральского научно-исследовательского института садоводства и картофелеводства (ЮУНИИСК) – филиала Уральского федерального научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (УрФАНИЦ УрО РАН). Материалом послужили 190 образцов ягод трех популярных сортов жимолости синей (*Lonicera caerulea* L.) селекции ЮУНИИСК: ‘Амазонка’, ‘Лазурит’ и ‘Ленита’.

Ягоды выкладывались на положенный поверх стекла белый лист бумаги с линейкой и распределялись так, чтобы они не соприкасались между собой. Фотоснимки делались на цифровую фотокамеру Canon EOS 1100D с расстояния 80 см сверху при равномерной подсветке снизу, обеспечивающей исключение формирования тени от ягод. Анализ полученных изображений проводился в пакете ImageJ (version 1.51k) и включал следующие этапы (рис. 1):

- 1) установка соотношения между размером объекта в пикселях и в мм (Analyze – Set Scale);
- 2) перевод цветного изображения в 8-битное в градациях серого цвета (Image – Type – 8-bit);
- 3) перевод 8-битного изображения в бинарное черно-белое (Image – Adjust – Threshold); для стандартизации обработки разных снимков использовался автоматический алгоритм нахождения порога на гистограммах распределения цвета;
- 4) задание набора показателей для измерения (Analyze – Set Measurements);
- 5) автоматическое нахождение и измерение объектов в модуле анализа частиц (Analyze – Analyze Particles);
- 6) сохранение обработанных изображений и цифровых результатов, с портированием последних в формат MS Excel и далее – в пакет PAST для статистической обработки.

В ходе статистического анализа полученных данных использовали методы описательной статистики, выборочных сравнений, корреляционный и многомерный анализ (Nokhrin, 2018). Для всех показателей размеров и формы ягоды рассчитывали: минимальное, максимальное и среднее значение с 95-процентным доверительным интервалом (95% CI), вычисленным процедурой непараметрического бутстрэпа (метод процентилей,  $n = 99999$ ), а также коэффициент вариации (CV). Сравнения сортов по всем показателям проводили с помощью *H*-критерия Краскела – Уоллиса. Для поиска наиболее ти-



**Рис. 1. Обработка изображения в пакете ImageJ:**

**a** – исходная фотография ягод; **b** – бинарное 8-битное изображение; **c** – приближение формы объектов эллипсами; **d** – контуры объектов для измерения

**Fig. 1. Image processing in the ImageJ package:**

**a** – the original photo of berries; **b** – the binary 8-bit image; **c** – the best fit ellipses of the objects; **d** – contours of objects for measurement

пичных образцов ягод каждого сорта по результатам анализа главных компонент для групповых различий (between-group PCA) находили по три объекта, факторные метки которых были наиболее близки к групповым центроидам в редуцированном до трех главных компонент пространстве. Расчеты выполнены в пакете PAST (version 4.01, (Hammer et al., 2001)). Статистически значимыми признавали различия при  $p \leq 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

#### Характеристика показателей

Для характеристики размера и формы ягоды жимолости были использованы следующие показатели (Ferreira, 2012).

1) Area – площадь проекции (сечения).  
 2) Perimeter – периметр проекции (сечения).  
 3) Feret – диаметр Ферé максимальный. Соответствует наименьшему диаметру окружности, описанной около объекта, то есть наибольшей длине объекта (рис. 2a). Инструментально такая длина получается при измерении длины штангенциркулем и в pomологии называется *наибольшим линейным диаметром, продольным диаметром или длиной* ягоды.

4) MinFeret – диаметр Ферé минимальный. Соответствует меньшей стороне прямоугольника, описанного около объекта. Может быть получен при измерении штангенциркулем *поперечного диаметра* ягоды, который

в случае совпадения продольной осевой линии с максимальным диаметром Ферé будет *наибольшим поперечным диаметром* согласно ГОСТ Р 57976-2017 «Фрукты и овощи свежие. Термины и определения» (GOST R 57976-2017..., 2017). Такое совпадение возможно для круглых или овальных плодов, для которых диаметры Ферé являются одновременно осями эллипса (рис. 2b). В случае более сложной формы плодов, наблюдающихся в частности у некоторых сортов жимолости, диаметры Ферé могут не быть строго перпендикулярными (см. рис. 2a), что указывает на необходимость совершенствования терминологического и понятийного аппарата pomологии в современных условиях цифровизации научных исследований. В данном случае это означает, что обычная практика определения осевой линии плода и точность позиционирования штангенциркуля при ручном измерении не позволяют дифференцировать диаметры Ферé от осей эллипса, а отмеченное противоречие обнаруживается только при строгом компьютерном анализе изображений.

5) AR (Aspect Ratio) – отношение большой оси (Major Axis) к малой оси (Minor Axis) эллипса, максимально подогнанного к контуру объекта (см. рис. 2b). Для круглых или овальных плодов такое *отношение длины к диаметру* часто называют *индексом*. Для идеальной сферической формы плода значение индекса составляет 1, тогда как для изученных 190 экземпляров ягод жимолости оно варьировало от 1,4 до 2,4 (таблица). Отмеченное выше различие между диаметрами Ферé и осями эллип-

са переносится и на способ вычисления индекса ягоды. Так, его можно вычислить как отношение максимального диаметра Фере к минимальному (Ferret Ratio, FR), что будет технически точным, однако не всегда будет отношением длины к перпендикулярному ей диаметру. Также в качестве индекса ягоды можно использовать значение AR напрямую, что ближе к восприятию этого показателя растениеводами, однако в случае ягоды жимолости включает элемент моделирования – приближения реальной формы эллипсоидом. По нашим данным, результаты обоих способов вычисления индекса были очень близки: коэффициент корреляции Пирсона  $r = 0,977$ ;  $p < 0,001$ ;  $AR > FR$  только на 2,7%. Поэтому в качестве индекса ягоды нами был выбран автоматически вычисляемый AR.

6) Circularity – округлость формы. Рассчитывается по формуле:

$$4\pi \times \frac{\text{Площадь}}{\text{Периметр}^2}$$

и изменяется от 0 (бесконечно вытянутый полигон) до 1 (круг). Полученные значения показателя округлости для ягод жимолости варьировали в узком диапазоне (чаще всего 0,7–0,8) и нуждались в округлении с точностью до тысячных долей единицы. Поэтому для удобства восприятия и анализа мы умножали этот показатель на 100. В таком виде он представляет собой величину округлости в процентах от идеального 100-процентного круга (см. таблицу).

7) Solidity – цельность, наполненность формы. Данный индекс представляет собой отношение площади объекта к площади выпуклого многоугольника (Convex hull), описанного около объекта (рис. 2с). Он будет тем ближе к 1, чем ровнее контур объекта, а минимальным будет для серповидных, звездчатых и прочих форм с сильно изрезанным контуром. Как и в случае с предыдущим показателем, его удобнее переводить в проценты

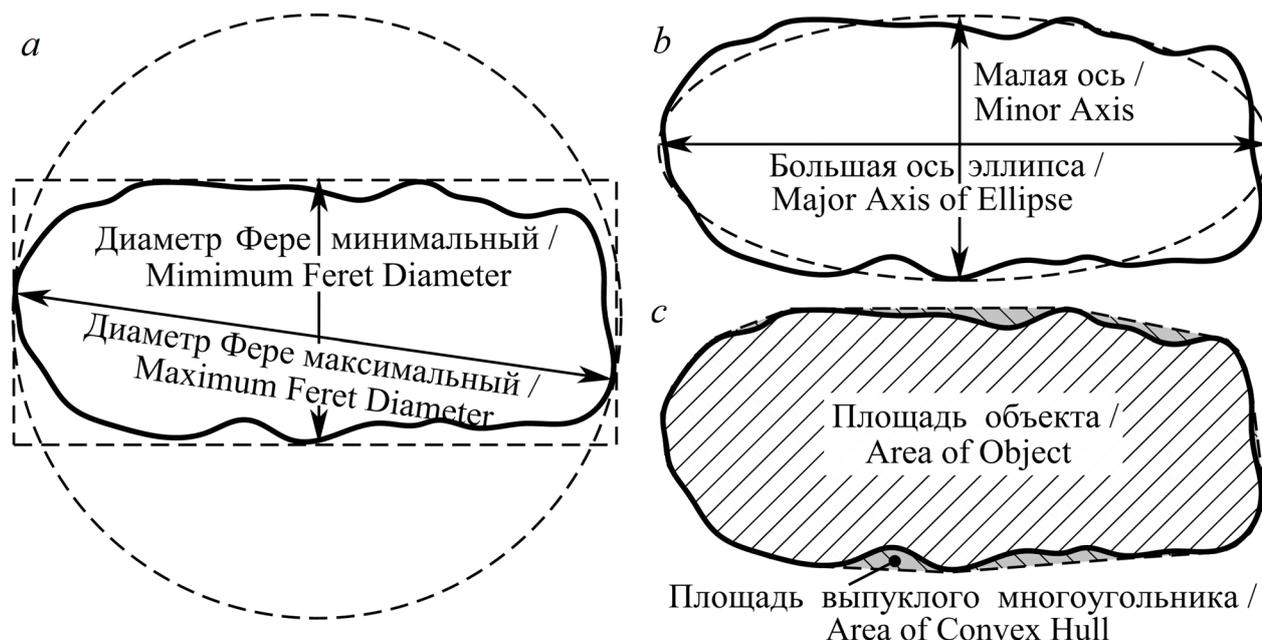
умножением на 100. Полагаем, что еще более полезным для практического использования будет противоположная величина –  $(1 - \text{Solidity}) \times 100\%$ , которая представляет собой *неровность поверхности* (в %) и на рисунке 2с закрашена серым цветом. Этот показатель будет изменяться от 0 (идеально ровный контур поверхности) в большую сторону и характеризовать генетически обусловленные или механически привнесенные деформации поверхности. Последнее представляется особенно перспективным для совершенствования технических регламентов путем дополнения или замены не всегда однозначных качественных характеристик внешнего вида строгими количественными показателями. Так, например, ГОСТ Р 58012-2017 «Жимолость свежая съедобная. Технические условия» (GOST R 5812-2017..., 2017) допускает поверхностные дефекты как для первого, так и для второго товарных сортов, а «незначительная утечка сока», являющаяся критерием для отнесения ко второму сорту, фактически наблюдалась нами даже у свежесобранных ягод, что было отчетливо видно по следам сока на белой бумаге в процессе фотографирования.

#### Различия сортов жимолости по размерам и форме ягод

Описательная статистика показателей размера и формы ягод для трех сортов жимолости по результатам автоматического анализа фотографий в программе ImageJ представлена в таблице.

По всем показателям различия были высоко статистически значимыми. По значениям *H*-критерия видно, что наиболее сильно сортовые различия проявились по индексу и округлости ягод, а менее сильно – по площади проекции. Наибольшая вариабельность (*CV*) наблюдалась по показателю неровности поверхности, а наименьшая – по округлости.

Сортовые особенности, обобщенные в таблице, хорошо видны на рисунке 3, где изображены контуры трех эк-



**Рис. 2.** Измерение размеров и формы объектов программой ImageJ: *a* – диаметры Фере; *b* – оси эллипса; *c* – площади. Пояснения – в тексте

**Fig. 2.** Measurement of the size and shape of objects using the ImageJ package: *a* – Feret diameters; *b* – axis of ellipse; *c* – area. Explanations are in the text

**Таблица. Показатели размера и формы ягод жимолости в исследовании**  
**Table. Indicators of the size and shape of honeysuckle berries in the study**

Показатели / Statistics	Амазонка / Amazonka (n = 68)	Лазурит / Lazurit (n = 54)	Ленита / Lenita (n = 68)
<b>Площадь проекции, мм<sup>2</sup> / Area of projection, mm<sup>2</sup> [<math>H_{(2)} = 18,6; p &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	72-210	102-201	66-194
$\bar{x}$	138	151	132
95% CI	131; 144	146; 157	126; 138
CV, %	18,6	13,3	20,1
<b>Периметр проекции, мм / Perimeter of projection, mm [<math>H_{(2)} = 26,7; p &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	33-62	43-59	32-56
$\bar{x}$	49,1	50,4	46,0
95% CI	47,8; 50,3	49,5; 51,4	44,8; 47,1
CV, %	10,8	7,0	10,6
<b>Диаметр продольный (длина), мм / Longitudinal diameter (length), mm [<math>H_{(2)} = 60,5; p &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	12-24	16-23	11-21
$\bar{x}$	18,9	19,6	16,7
95% CI	18,4; 19,4	19,2; 20,0	16,3; 17,1
CV, %	11,9	7,4	11,1
<b>Диаметр поперечный, мм / Cross diameter, mm [<math>H_{(2)} = 25,5; P &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	8-11	8-12	7-12
$\bar{x}$	9,5	10,3	10,0
95% CI	9,3; 9,7	10,1; 10,5	9,8; 10,3
CV, %	8,7	8,5	10,3
<b>Индекс ягоды, у.е. / Berry shape index [<math>H_{(2)} = 95,3; p &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	1,4-2,4	1,6-2,3	1,4-2,1
$\bar{x}$	2,08	1,93	1,71
95% CI	2,03; 2,12	1,89; 1,97	1,68; 1,75
CV, %	9,7	8,1	7,7

Таблица. Окончание  
Table. The end

Показатели / Statistics	Амазонка / Amazonka (n = 68)	Лазурит / Lazurit (n = 54)	Ленита / Lenita (n = 68)
<b>Округлость, % / Circularity, % [<math>H_{(2)} = 83,0; p &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	63–85	69–82	72–85
$\bar{x}$	71,4	74,6	77,8
95% CI	70,5; 72,3	73,8; 75,4	77,1; 78,5
CV, %	5,3	4,0	3,6
<b>Неровность поверхности, % / Surface roughness, % [<math>H_{(2)} = 33,7; P &lt; 0,001</math>]</b>			
$x_{\min} - x_{\max}$	1,8–6,0	1,7–6,2	1,6–5,8
$\bar{x}$	3,21	2,39	2,80
95% CI	2,99; 3,45	2,22; 2,61	2,62; 3,00
CV, %	29,8	31,2	28,7

Примечание: в квадратных скобках – значение  $H$ -критерия Краскела – Уоллиса и его значимость для различий между сортами  
Note: in square brackets is the value of the Kruskal–Wallis  $H$ -test and its significance for differences between cultivars

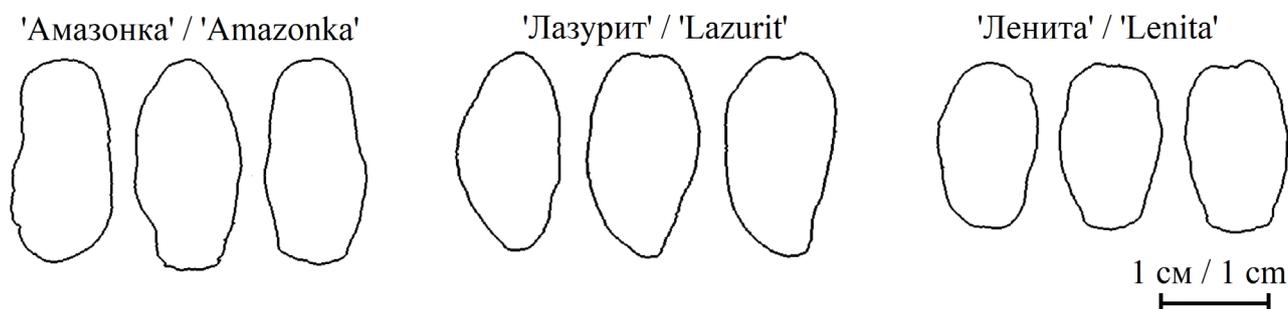


Рис. 3. Наиболее типичные экземпляры ягод жимолости по результатам многомерного анализа измерений размеров и формы в программе ImageJ

Fig. 3. The most typical specimens of honeysuckle berries according to the multivariate analysis of the size and shape measurements in ImageJ

земпляров наиболее типичных ягод каждого сорта, найденные с использованием метода главных компонент для групповых различий. Он показывает, что выполненные в пакете ImageJ автоматические измерения легко поддаются статистической обработке и хорошо визуализируются с отражением сортовых особенностей размеров и формы. Так, например, видно, что наименьшими размерами по площади проекции и длине ягоды выделялся сорт 'Ленита', а наибольшими – 'Лазурит'. При этом сорт 'Амазонка' имел наибольшую неровность поверхности (3,21%), которая в данном случае является сортовым признаком и не может рассматриваться в качестве изменения формы в результате механического повреждения. Напротив, ровно такая же величина неровности поверх-

ности для сорта 'Ленита' с естественным значением 2,80% (95% ДИ от 2,62 до 3,00) указала бы на сильную степень деформированности ягод и снижение товарного сорта продукции. Таким образом, создаются предпосылки для разработки количественных оценок сохранности естественной формы плодов в свежем виде при оценке пригодности для переработки, в первую очередь для быстрой заморозки.

#### Перспективы использования методологии автоматического анализа изображений

Перечислим кратко те направления, в которые использование описанной технологии измерения размеров и формы плодово-ягодных культур может быть, по нашему мнению, интегрировано.

**Садоводство.** Использование количественных показателей размеров и формы для установления сортовой принадлежности культуры. Садоводы-любители сталкиваются с проблемой идентификации сортов культур, уже произрастающих на приобретенных участках. На основании изучения большого количества сортов могут быть составлены общедоступные цифровые коллекции с описаниями формы плодов и разработаны дискриминантные ключи или деревья классификации для отнесения плодов к конкретному сорту или к группе близких в селекционном отношении сортов с высокой вероятностью.

**Селекция.** Размер и форма плодов являются важнейшими сортовыми признаками и определяются генотипом сорта. Результаты автоматического количественного анализа размеров и формы облегчат контроль этих показателей селекционерами для отбора наиболее перспективных кандидатов. Также эти показатели способны обогатить и конкретизировать помологические описания сортов. Еще более широкие перспективы открываются для научного сопровождения селекционного процесса с учетом взаимодействий «генотип × среда» и отбором наиболее урожайных и экологически пластичных сортов (Vasiliev, Gasymov, 2019). Поскольку условия окружающей среды оказывают большое влияние на биологические признаки, год от года происходит их значительное варьирование. Так, например, в отношении жимолости нами было установлено влияние температуры в период формирования плодов на вкусовые характеристики и биохимический состав ягод (Ufimtseva, Glaz, 2018). Несомненно, что в результате взаимодействия «генотип × среда» морфологические признаки ягод также будут изменяться, а их контроль позволит выявлять сорта с хорошо прогнозируемым качеством продукции по внешним признакам.

**Переработка.** Выше уже была отмечена возможность количественного контроля степени деформированности плодов. Такие деформации могут указывать на механические повреждения при сборе, транспортировке и упаковке продукции, а также могут быть вызваны вредителями или являться следствием болезни растения – все эти отклонения от естественной формы плода укажут на снижение товарного сорта продукции. В переработанной путем заморозки продукции возможен контроль как деформированности, так и неравномерности ягод по величине, а также их смерзания в комки. В последнем случае результаты измерений будут содержать аномально крупные объекты, которые могут быть легко выявлены уже при визуальном контроле гистограмм распределения размерных показателей продукции. С использованием статистических техник обнаружения выбросов и разделения смеси распределений доля таких аномальных объектов может быть вычислена в процентах и напрямую использоваться в классификации качества продукции согласно ГОСТ 33823-2016 «Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия» (ГОСТ 33823-2016..., 2016). Следует отметить, что в ImageJ легко реализовать и цветовой контроль продукции для выявления доли обесцвеченных и частично обесцвеченных плодов, незрелых зеленых плодов. А в части классических промеров скорость и точность автоматических измерений являются поистине революционными, поскольку анализ десятков и сотен объектов по длине, диаметру и индексу ягоды от момента получения снимка до пригодного для статистической обработки цифрового массива данных занимает несколько минут.

## Заключение

Находящаяся в открытом доступе программа ImageJ позволяет за короткое время получить данные о размерах и форме всех находящихся в кадре объектов, включая такие стандартные в помологии показатели, как длина, диаметр и индекс ягоды. Велики перспективы использования показателя неровности поверхности, поскольку он может быть использован для количественной характеристики степени отклонения плодов от естественной формы вследствие механических и иных деформаций, снижающих категорию сортности продукции. Результаты анализа изображений в программе ImageJ могут найти применение в садоводстве, селекции и переработке плодово-ягодной продукции.

## References / Литература

- Chuanromanee T.S., Cohen J.I., Gillian L. Ryan G.L. Morphological analysis of size and shape (MASS): An integrative software program for morphometric analyses of leaves. *Applications in Plant Sciences*. 2019;7(9):e11288. DOI: 10.1002/aps3.11288
- Ferreira T., Rasband W. ImageJ user guide: IJ 1.46r Revised edition. 2012. Available from: <http://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf> [accessed July 13, 2020].
- ГОСТ 33823-2016. Frozen fruits. General specifications (Frukty bystrozamorzhenyye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya). Moscow: Standartinform; 2016. [in Russian] (ГОСТ 33823-2016. Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2016). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293752/4293752544.pdf> [дата обращения: 17.03.2022].
- ГОСТ R 54778-2011. Machines for harvesting fruits and berries. Test methods (Mashiny dlya uborki plodov i yagod. Metody ispytaniy). Moscow: Standartinform; 2020. [in Russian] (ГОСТ Р 54778-2011. Машины для уборки плодов и ягод. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ; 2020). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/514/51463.pdf> [дата обращения: 17.03.2022].
- ГОСТ R 57976-2017. Fruits and vegetables. Terms and definitions (Frukty i ovoshchi svezhiye. Terminy i opredeleniya). Moscow: Standartinform, 2016. [in Russian] (ГОСТ Р 57976-2017. Фрукты и овощи свежие. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2017). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293740/4293740749.pdf> [дата обращения: 18.03.2022].
- ГОСТ R 58012-2017. Fresh edible honeysuckle. Specifications (Zhimolost svezhaya syedobnaya. Tekhnicheskiye usloviya). Moscow: Standartinform; 2011. [in Russian] (ГОСТ Р 58012-2017. Жимолость свежая съедобная. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2017). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293740/4293740841.pdf> [дата обращения: 18.03.2022].
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):4.
- Ibáñez S., Grimplet J., Baroja E., Hernaiz S., Ibáñez J. Characterization of the reproductive performance of a collection of grapevine cultivars. *Acta Horticulturae*. 2019;1248:345-352. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1248.50
- ImageJ. Image processing and analysis in Java: [site]. Available from: <https://imagej.nih.gov/ij> [accessed July 13, 2020].
- Iwata H., Ukai Y. SHAPE: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier description. *Journal of Heredity*. 2002;93(5):384-385. DOI: 10.1093/jhered/93.5.384

- Jing Z.B., Yao C.C., Liu Z.D. Isolation and identification of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* in Shaanxi Province, China. *Acta Horticulturae*. 2018;1218:279-286. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1218.38
- Mollick A.S., Yamasaki H. Phenotypic variations in croton *Codiaeum variegatum* (L.) Blume characterized by digital image-based procedure. *Acta Horticulturae*. 2012;937:393-400. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.937.48
- Nokhrin D.Yu. Laboratory workshop on biostatistics (Laboratory praktikum po biostatistike). Chelyabinsk: Chelyabinsk State University; 2018. [in Russian] (Нохрин Д.Ю. Лабораторный практикум по биостатистике. Челябинск: Челябинский государственный университет; 2018).
- Saxena L., Armstrong L. A survey of image processing techniques for agriculture. 2014. Available from: <https://ro.ecu.edu.au/ecuworkspost2013/854> [accessed July 13, 2020].
- Schlager S. Morpho and Rvcg – Shape analysis in R: R-packages for geometric morphometrics, Shape analysis and surface manipulations. In: G. Zheng, Sh. Li, G. Székely (eds). *Statistical Shape and Deformation Analysis: Methods, Implementation and Applications*. Cambridge, MA: Academic Press; 2017. p.217-256. DOI: 10.1016/B978-0-12-810493-4.00011-0
- Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds). Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Orel: VNIISPК; 1999. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999).
- Ufimtseva L.V., Glaz N.V. The influence of meteorological conditions on the biochemical composition and taste of the fruit. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2018;55:151-159. [in Russian] (Уфимцева Л.В., Глаз Н.В. Влияние метеорологических условий на биохимический состав и вкус плодов жимолости. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2018;55:151-159). DOI: 10.31676/2073-4948-2018-55-151-159
- Vasiliev A.A., Gasymov F.M. Environmental plasticity of various plum cultivars under the conditions of Chelyabinsk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(2):25-29. [in Russian] (Васильев А.А., Гасымов Ф.М. Экологическая пластичность сортов сливы в условиях Челябинской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(2):25-29). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-25-29
- Vasilyev A.G., Vasileva I.A., Shkurikhin A.O. Geometric morphometrics: from theory to practice. Moscow: КМК; 2018. [in Russian] (Васильев А.Г., Васильева И.А., Шкурихин А.О. Геометрическая морфометрия: от теории к практике. Москва: КМК; 2018).
- Vibhute A., Bodhe S.K. Applications of image processing in agriculture: A survey. *International Journal of Computer Applications*. 2012;52(2):34-40.
- White A.G., Bailey D.G. Digital imaging; A useful technique for analysing fruit shape in pears. *Fruit Varieties Journal*. 1995.49(4):224-226.

#### Информация об авторах

**Денис Юрьевич Нохрин**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства – филиал УрФАНИЦ УрО РАН, 454100 Россия, Челябинск, ул. Гидрострой, 16, nokhrin8@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4920-2338>

**Лариса Викторовна Уфимцева**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства – филиал УрФАНИЦ УрО РАН, 454100 Россия, Челябинск, ул. Гидрострой, 16, uyniisk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3457-3478>

**Николай Владимирович Глаз**, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства – филиал УрФАНИЦ УрО РАН, 454100 Россия, Челябинск, ул. Гидрострой, 16, nikolai-glaz1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6480-2828>

#### Information about the authors

**Denis Yu. Nokhrin**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing, branch of the UFARC UB RAS, 16 Gidrostroy St., Chelyabinsk 454100, Russia, nokhrin8@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4920-2338>

**Larisa V. Ufimtseva**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing, branch of the UFARC UB RAS, 16 Gidrostroy St., Chelyabinsk 454100, Russia, uyniisk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3457-3478>

**Nikolai V. Glaz**, Cand. Sci. (Agriculture), Head, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, South Ural Research Institute of Horticulture and Potato Growing, branch of the UFARC UB RAS, 16 Gidrostroy St., Chelyabinsk 454100, Russia, nikolai-glaz1975@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6480-2828>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.07.2020; одобрена после рецензирования 04.07.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 24.07.2020; approved after reviewing on 04.07.2022; accepted for publication on 06.09.2022.